

SÄRTRYCK OCH PRELIMINÄRA
RAPPORTER NR 31

Friktionspålning för brostöd nr 2
vid Albysjön, Tunnelbana 2 SV,
BOTKYRKABANAN

Sven-Erik Rehnman^{x)}



INGENIÖRSVETENSKAPSAKADEMIEN
PÅLKOMMISSIONEN

SÄRTRYCK OCH PRELIMINÄRA
RAPPORTER NR 31

Friktionspålning för brostöd nr 2
vid Albysjön, Tunnelbana 2 SV,
BOTKYRKABANAN

Sven-Erik Rehnman^{x)}

x) Statens Geotekniska Institut

Stockholm juni 1971

De i rapporten framförda åsikterna är författarens
och behöver icke vara pålkommissionens ståndpunkt.

Pris 25:-

<u>Innehållsförteckning</u>	Sid
I INLEDNING	1
II GRUNDFÖRHÅLLANDEN	2
III PÅSLAGNING VID STÖD 2	3
:1 Allmänt	3
:2 Påslagningskontroll	4
:3 Påslagningsdiagram	5
:4 Jämförelser med Kreügers formel	17
:5 Jämförelse mellan neddrivningsmotstånd och antal slagna pålar inom gruppen	19
:6 Uppmätt sättning i markytan	22
:7 Viktsondering före och efter påslagning	23
IV PROVBELASTNINGRESULTAT	24
:1 Allmänt	24
:2 Provbelastade pålar i stödläge 2	24
:3 Jämförelse mellan beräknade och uppmätta brottlaster	26
V SÄTTNINGSMÄTNINGAR	30
VI SAMMANFATTNING	32

FRIKTIONSPÅLNING FÖR BROSTÖD NR 2 VID ALBYSJÖN. TUNNELBANA 2 SV, BOTKYRKABANAN

I INLEDNING

I denna rapport ges en sammanfattning av friktionspålgruppens undersökningar i samband med pålningsarbeten för en tunnelbanebro över Albysjön vid Fittja söder om Stockholm (Fig 1).

Under hösten 1967 påbörjades en provpålning för tunnelbanebron i tre stödlägen. På grund av svåra slagningsförhållanden vid stöd 2 slogs 11 provpålar vid fyra olika tillfällen i detta stödläge. Totalt har 15 provpålar slagits varav 6 har provbelastats (jfr SGI utlåtande K 9199). Inom IVA:s pålkommission bildades på våren 1968 en s k friktionspålgrupp som bl a fick till uppgift att följa de fortsatta pålningsarbetena vid Albysjön. Gruppen har förutom att den följt pålningsarbetet i stort även fört noggranna påslagningsprotokoll i samband med att 53 pålar slogs i stöd 2. Denna rapport omfattar en bearbetning av protokollen från stöd 2 samt en jämförelse mellan provbelastningsresultat från provpålar och från pålar som ingår i de olika pålgrupperna. De senare provbelastningsresultaten har redovisats i SGI utlåtande K 9575. Avslutningsvis redovisas i rapporten en preliminär sammanställning av de sättningsmätningar som utförts vid stöd 2.

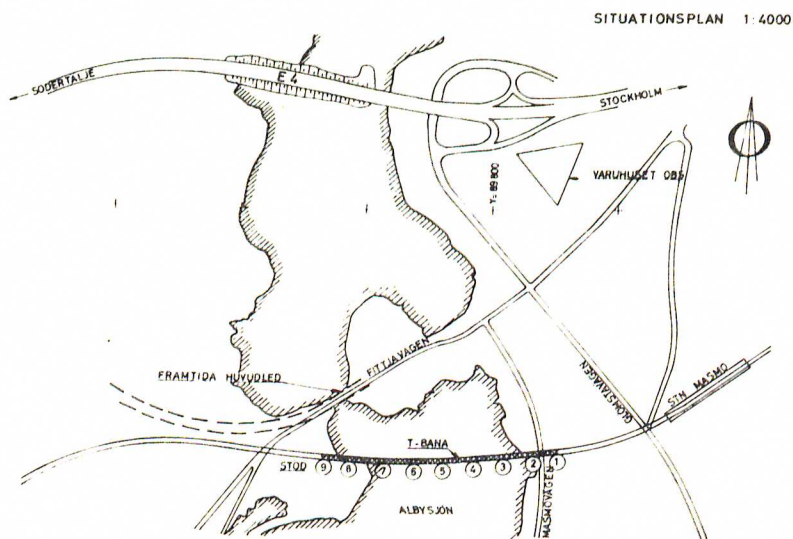


Fig 1. Situationsplan över tunnelbanebron vid Albysjön

II GRUNDFÖRHÅLLANDEN

Grundförhållandena för bron har utretts av Gatukontorets geotekniska sektion och redovisas på grundundersökningsritningarna nummer 67150 och 254925 från Gatukontorets utredningsavdelning.

Sammanfattningsvis kan nämnas att jorden på ömse sidor om Albysjön består av sand och grus (åsmaterial) till stort djup (60 - 80 m). Dock förefaller stenhalten vara större på västra sidan än på östra. Jordens lagring bedömes med ledning av sonderingsresultaten vara lös. I sjön, som är maximalt 15 m djup, överlagras åsmaterialet av ett ca 10 m mäktigt lager av kohesionsjord, som innehåller skikt av friktionsmaterial. Figur 2 visar en sammanställning över grundförhållandena i stöd 2.

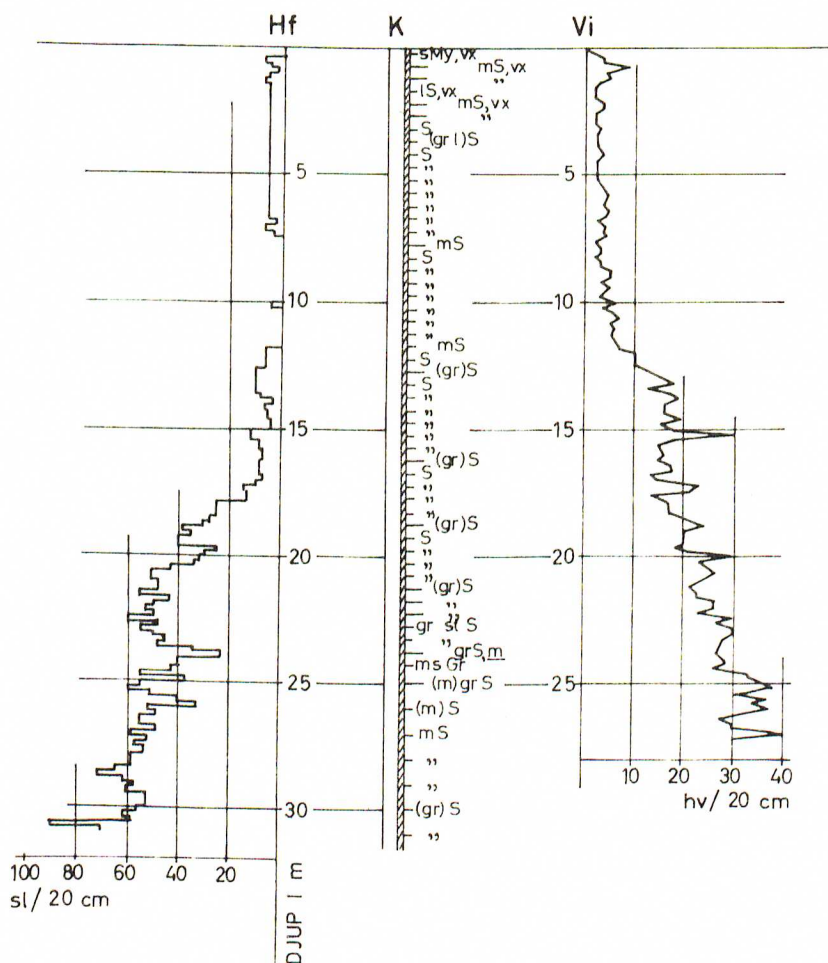


Fig 2. Grundförhållanden vid stöd 2

III PÅLSLAGNING VID STÖD 2

III:1 Allmänt

Pålningssarbetet i stöd 2 påbörjades den 11 mars och avslutades den 28 april 1969. Sammanlagt skulle 42 pålar slås men med ersättningspålar blev antalet 53. Figur 3 visar en plan med samtliga pålar numrerade i slagningsordning.

Betongpålarna (25 x 25 cm) var försedda med bergspets och skarvbeslag av typ ABB. Vid slagningen var pållängden för påle 1 t o m nr 51 10,3 m (inkl bergspets) + 10,1 m + 7,1 m = 27,5 m. Påle 52 och 53, som senare skulle provbelastas, var 10,3 m + 10,1 m + 10,1 m = 30,5 m.

Pålningssarbetet utfördes av AB Stabilator och pålarna slogs hela tiden med 4 tons hejare i "enkel part" och fallhöjden skulle vara 40 cm. Varje påle, med undantag av påle 52 och 53, knektades ner ca 3 m under markytan. Vid knektningen användes en 30 x 30 cm stål-knekt som var 4,5 m lång och vägde 950 kg.

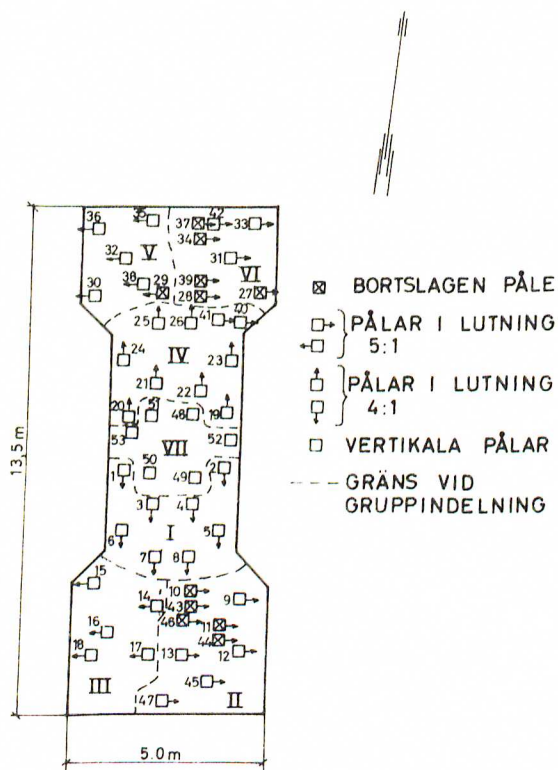


Fig 3. Samtliga pålar i stöd 2 numrerade i slagningsordning

III:2 Pålslagningskontroll

För att erhålla så utförliga påslagningsprotokoll som möjligt uppdrog Pålkommissionen åt ingenjör E G Karlsson SGI att på plats följa pålningsarbetet i stöd 2. På samtliga pålar markerades var 20:e cm och vid slagningen antecknades i protokollet totalt antal slag som funktion av pålspetsens djup under markytan för varje 20 cm streck som försvann under referensnivån (markytan). Räkningen av antalet slag underlättades genom att montera ett räkneverk på utsidan av pålkranen (Fig 4). Räkneverket kopplades till pålkranens "spak" och kunde stängas av när pålarna restes etc.

När pålspetsen nått 26 m djup under markytan utfördes fjädrings- och sjunkningsmätning på samtliga pålar utom nr 52 och 53, för vilka mätningen istället utfördes när spetsen nått 29 m djup (fullt djup).

Innan knektningen av en påle började släpptes en lodstång ner i pålens inspektionsrör för kontroll av att pålen var hel. Stången (tolken) var 2,8 m lång och 35 mm i diameter medan inspektionsröret var $\varnothing$ 41 mm invändigt. När pålen knektats till avsett djup kunde däremot ingen "tolkning" av pålen utföras.



Fig 4. Pålcran med utvändigt monterat räkneverk för summering av antalet slag.

III:3 Pålslagningsdiagram

Vid bearbetning av protokollen har samtliga slagningsdiagram ritats upp på det sätt som Figurerna 5a - 5h visar. Av utrymmesskäl kan dock ej samtliga diagram redovisas i denna rapport. Vid val av här redovisade diagram har avsikten varit att ge en så representativ bild som möjligt av slagningsförhållandena för hela pålgruppen.

Kommentarer till slagningsdiagrammen

Allmänt gäller att på diagrammen redovisas antal slag/20 cm sjunkning samt en summakurva som funktion av pålspetsens djup under markytan. Den fyllda kvadraten på pålplanen markerar den påle som diagrammet avser. Ofyllda kvadrater avser redan slagna pålar. Vidare har olika anmärkningar förts in i diagrammen på den nivå där pålspetsen befunnit sig när respektive anmärkning gjorts.

På diagrammen har även angivits kvarstående sjunkning e (cm/slag) och uppmätt fjädring c (cm/slag). I de fall då "tolken" fastnade i pålen och inte kunde komma ner till pålspetsen har detta markerats på slagningsdiagrammen.

Påle nr 3 (Fig 5a). Markerad ökning av "neddrivningsmotståndet" erhöles i samband med att pålen skarvades och nytt trä mellanlägg lades i dynan. Efter uppehåll under natten märktes en viss "fastväxtnings-effekt" när pålslagningen fortsatte. I samband med fjädringsmätningen noterades en tillfällig ökning av antalet slag/20 cm och när sedan knekten sattes på ökade "motståndet" märkbart.

Påle nr 9 (Fig 5b). - Markerad ökning av antalet slag/20 cm sjunkning uppmättes i samband med skarvning och knektning. Viss kortvarig ökning av "neddrivningsmotståndet" erhöles i samband med fjädrings- och sjunkningsmätningen.

Påle nr 17 (Fig 5c). - Markerad ökning av antalet slag/20 cm sjunkning uppmättes vid skarvning och i samband med byte av trä mellanlägg och dynträ. Kortare rast har inte haft någon större inverkan. Vid fjädrings- och sjunkningsmätningen ökade "neddrivningsmotståndet" tillfälligt.

Påle nr 24 (Fig 5d). - Kraftig ökning av antalet slag/20 cm sjunkning uppmättes när pålen skarvades och nytt trä mellanlägg och dynträ samtidigt lades in. Likaledes erhöles en kraftig ökning när knektningen började. Även vid fjädringsmätningen ökade antalet slag/20 cm sjunkning. En kortvarig rast tycks däremot inte ha påverkat "neddrivningsmotståndet".

Påle nr 30 (Fig 5e). - Samma neddrivningsförlopp som för påle 24 men med mycket markerad ökning av "neddrivningsmotståndet" när knekten sattes på.

Påle nr 40 (Fig 5f). - Samma iakttagelser gjordes som för påle 24, dock bör det observeras att ökningen av "neddrivningsmotståndet" kom successivt vid andra skarvningen.

Påle nr 52 (Fig 5g). - Någonting inträffade i samband med andra skarvningen. Effekten av nytt trä mellanlägg kvarstod under ca 700 slag (jfr 26,4 m nivå).

Påle nr 53 (Fig 5h). - Jämför skillnaden mellan Fig 5g och Fig 5h vid andra skarvningen.

I tabell I redovisas en sammanställning över observerad ökning av pålarnas neddrivningsmotstånd vid skarvning, knektning samt inverkan av nytt trä mellanlägg. Som jämförelsevärden användes det neddrivningsmotstånd som uppmättes omedelbart innan slagningen avbröts för skarvning eller knektning. Observationerna har sammanställts för följande arbetsmoment.

1. Skarvning med 10 m pålelement när pålspetsen var 9 m under markytan. Jämförelsevärde = 12 slag/20 cm sjunkning.

2. Nytt trä mellanlägg i slagdynan och samtidig skarvning med 7 m pålelement när pålspetsen var 19 m under markytan. Jämförelsevärde = 39 slag/20 cm sjunkning.
3. Nytt trä mellanlägg i slagdynan och samtidig knektning när pålspetsen var 26 m under markytan. Jämförelsevärde 67 slag/20 cm sjunkning.

Sammanställningen visar att vid varje tillfälle som pålarna skarvades erhöles i allmänhet en kvarstående ökning av neddrivningsmotståndet med 50 till 60 %, medan den momentana ökningen, dvs inverkan av skarvningen och nytt trä mellanlägg, blev väsentligt större. Medianvärdet av ökningen låg på 154 % medan maximumvärdet uppgick till 451%. Den kvarstående ökningen vid knektning uppmättes till 45 % (medianvärde) medan den momentana ökningen blev ca 300 % (medianvärden).

TABELL I

	Pålspetsens djup under my	Antal mätvärden	Ökning av neddrivningsmotståndet									
			Undre kvar-tilen		Medianvärden		Övre kvar-tilen		Maxvärden		Minvärden	
			sl	%	sl	%	sl	%	sl	%	sl	%
Kvarstående effekt av skarvning med 10 m pålelement	9 m	48	5	42	7	58	9	75	12	100	0	0
Momentan effekt av skarvning och nytt trä mellanlägg	19 m	38	48	123	60	154	86	220	176	451	34	87
Kvarstående effekt av skarvning med 7 m pålelement	19 m	41	19	49	22	56	29	74	52	133	5	13
Momentan effekt av påsättning av knekt + nytt trä mellanlägg	26 m	35	100	149	195	291	124	185	395	590	26	39
Kvarstående effekt av 4,5 m knekt	26 m	22	19	28	30	45	33	49	60	90	0	0

Sammanfattande synpunkter på slagningsdiagrammen

De redovisade slagningsdiagrammen visar tydligt att "neddrivningsmotståndet" till stor del bestäms av andra faktorer än jordens egenskaper. Exempel på sådana faktorer är skarvning, nytt trämelanlägg, nytt dynträ, knektning samt längre uppehåll. Vid en bedömning av slagningsdiagrammen måste man därför ta hänsyn till dessa faktorer men även komma ihåg att variationer i hejarens fallhöjd förekommer.

Vissa försök har gjorts att finna relationstal mellan exempelvis hejarsondering och påslagning. Så länge som "yttre" faktorer påverkar såväl hejarsonderingsdiagrammet som påslagningsdiagrammet torde sådan jämförelse inte kunna ge några entydiga resultat.

PÅLE NR 3
LUTNING 3,9:1

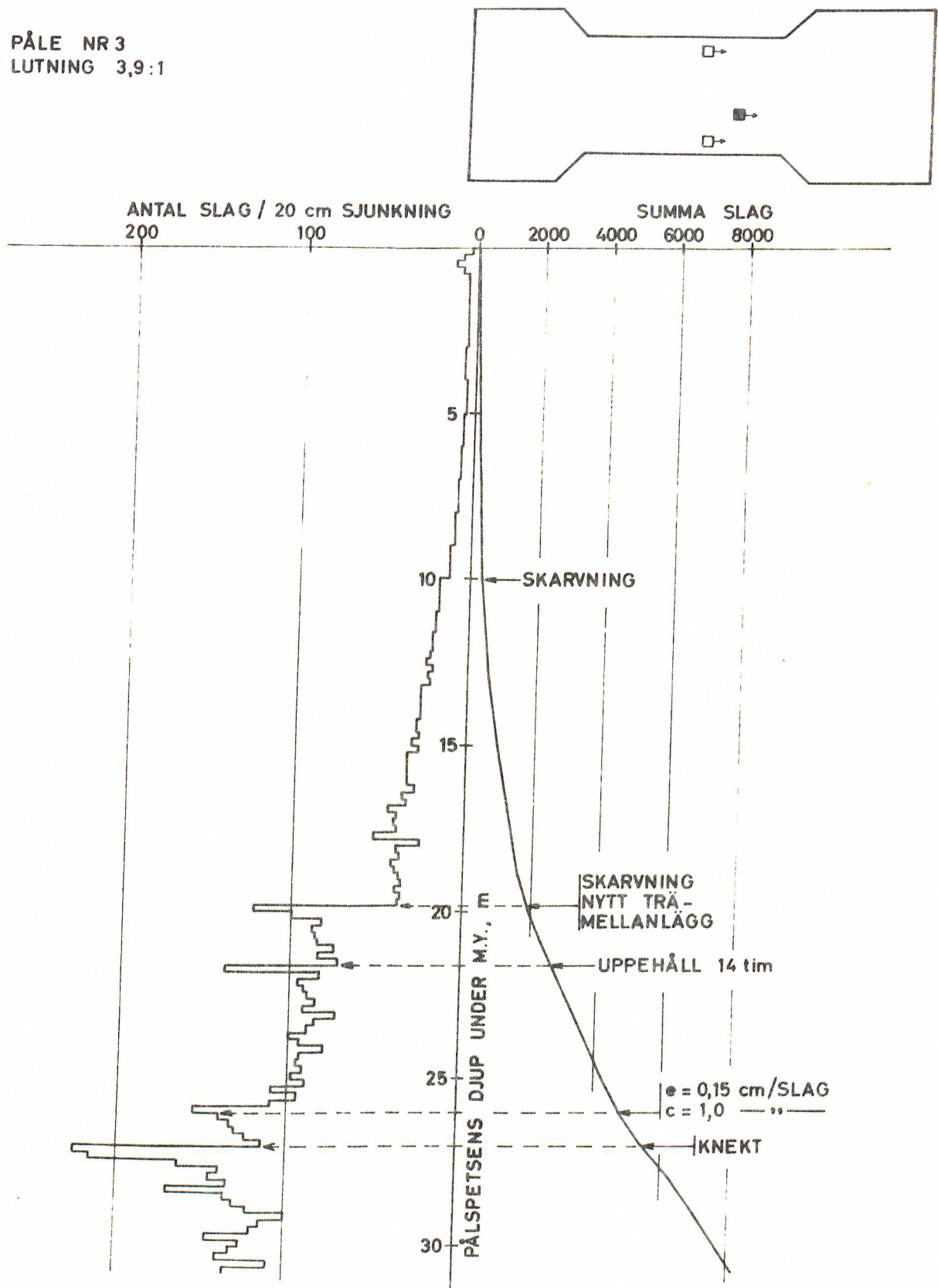


Fig 5a. Slagningsdiagram för påle nr 3

PÅLE NR 9
LUTNING 5,1:1

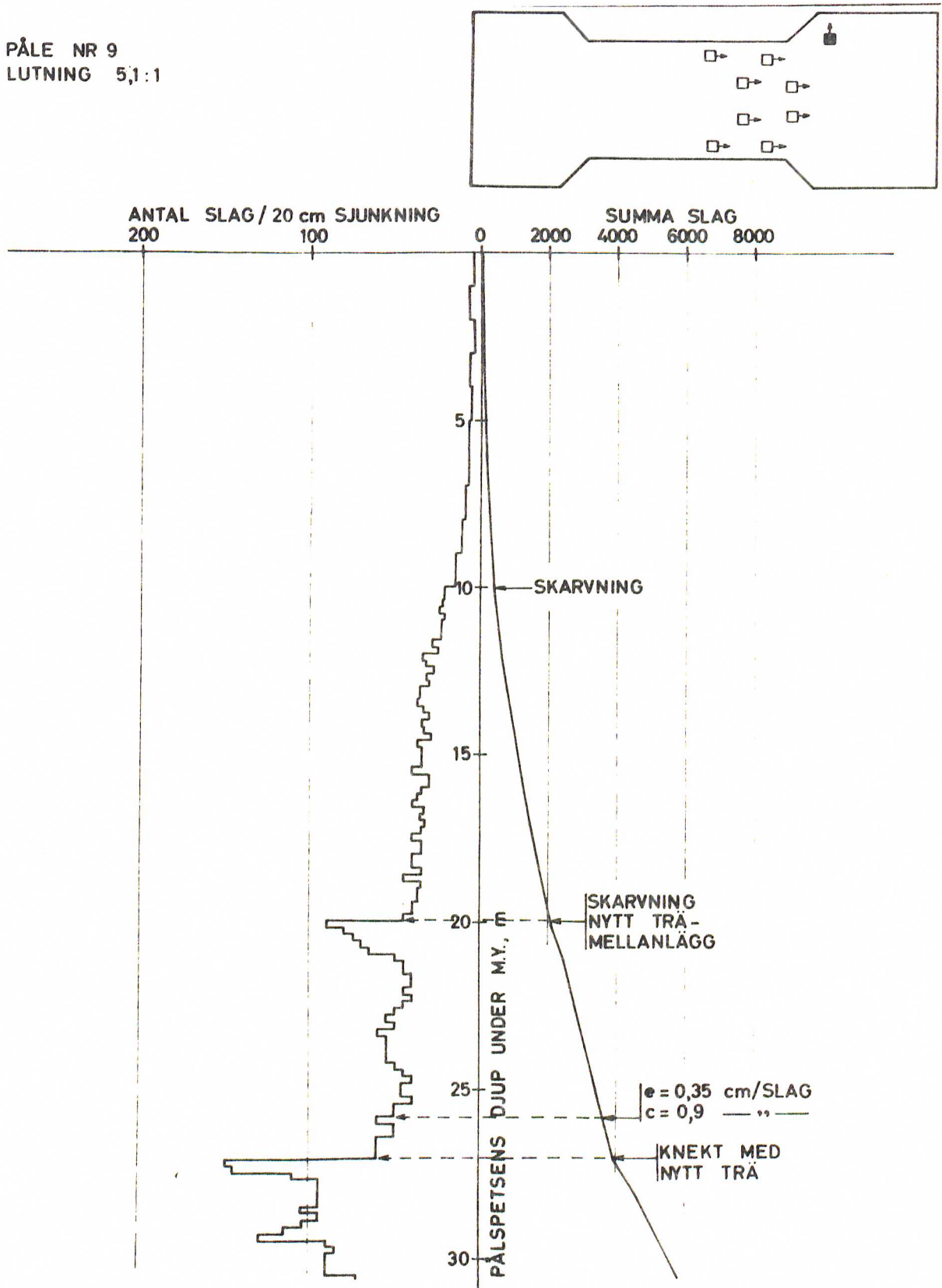


Fig 5b. Slagningsdiagram för påle nr 9

PÅLE NR 17
LUTNING 5:1

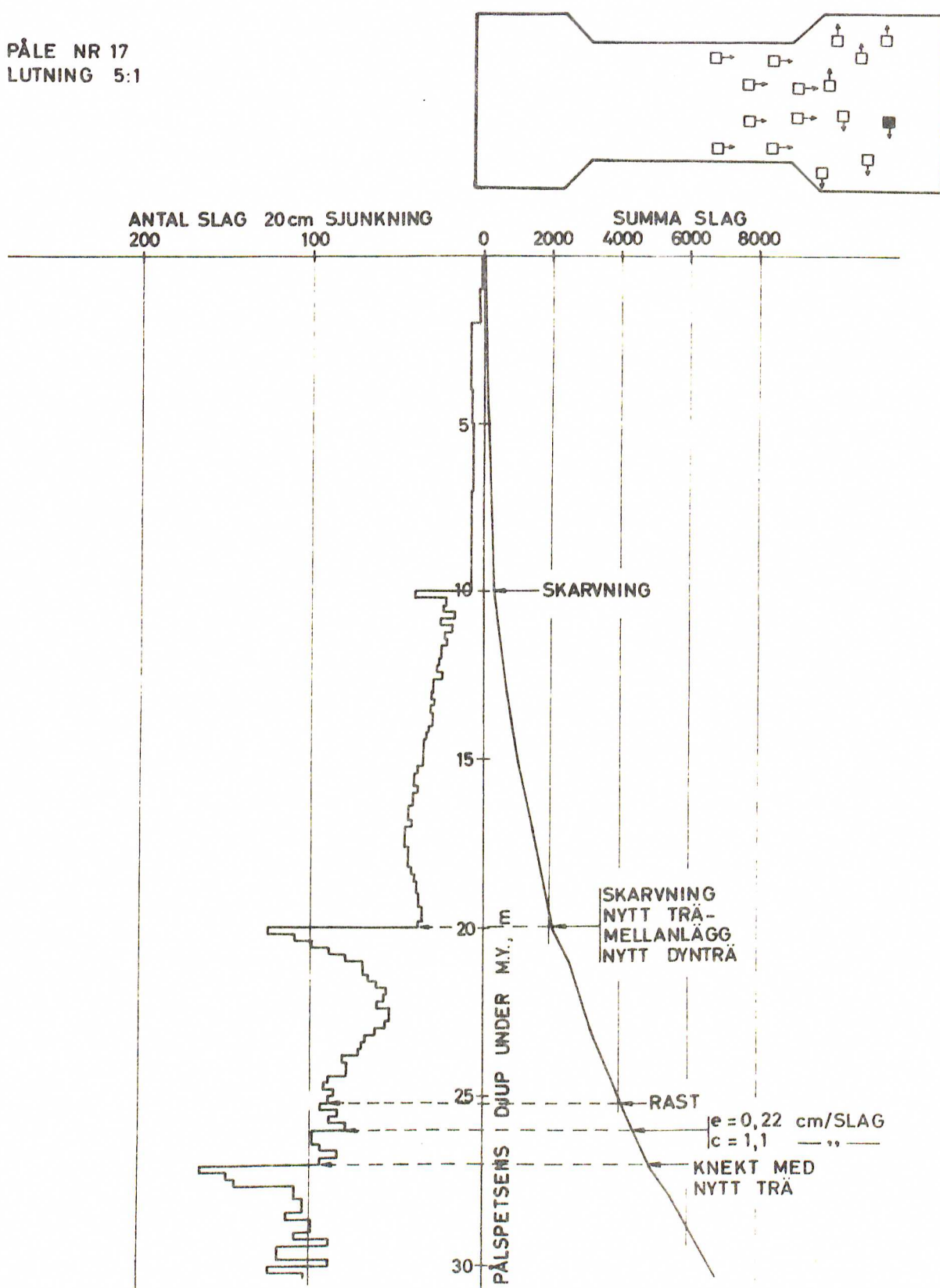


Fig 5c. Slagningsdiagram för påle nr 17

PÅLE NR 24
LUTNING 3,9:1

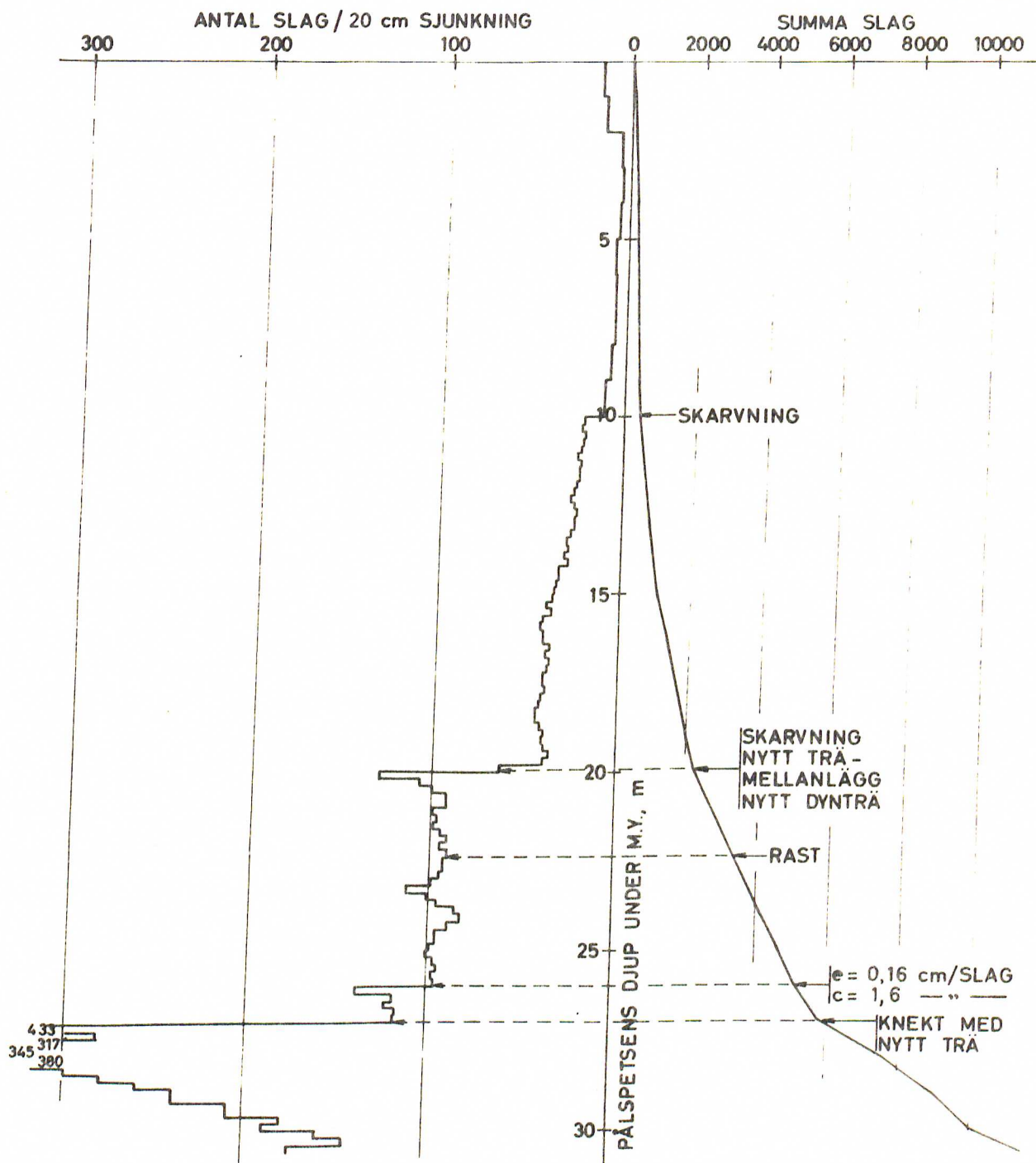
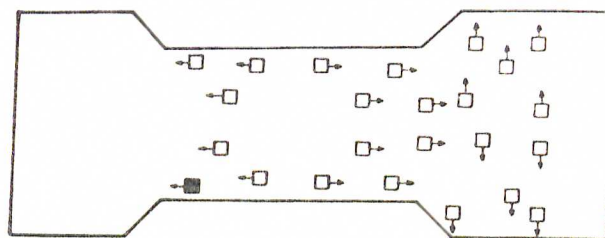


Fig 5d. Slagningsdiagram för påle nr 24

PÅLE NR 30
LUTNING 5:1

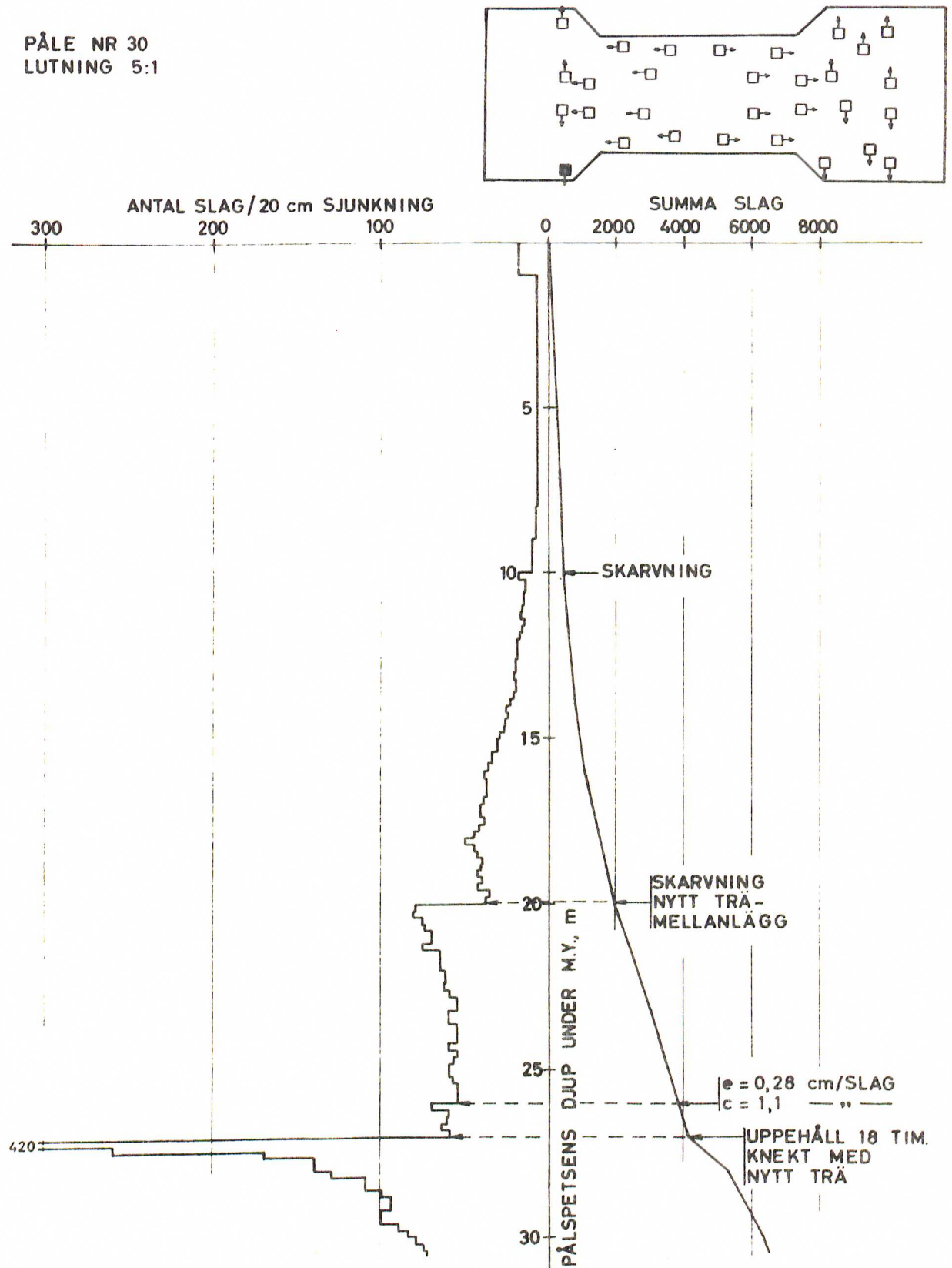


Fig 5e. Slagningsdiagram för påle nr 30

PÅLE NR 40
LUTNING 5,1:1

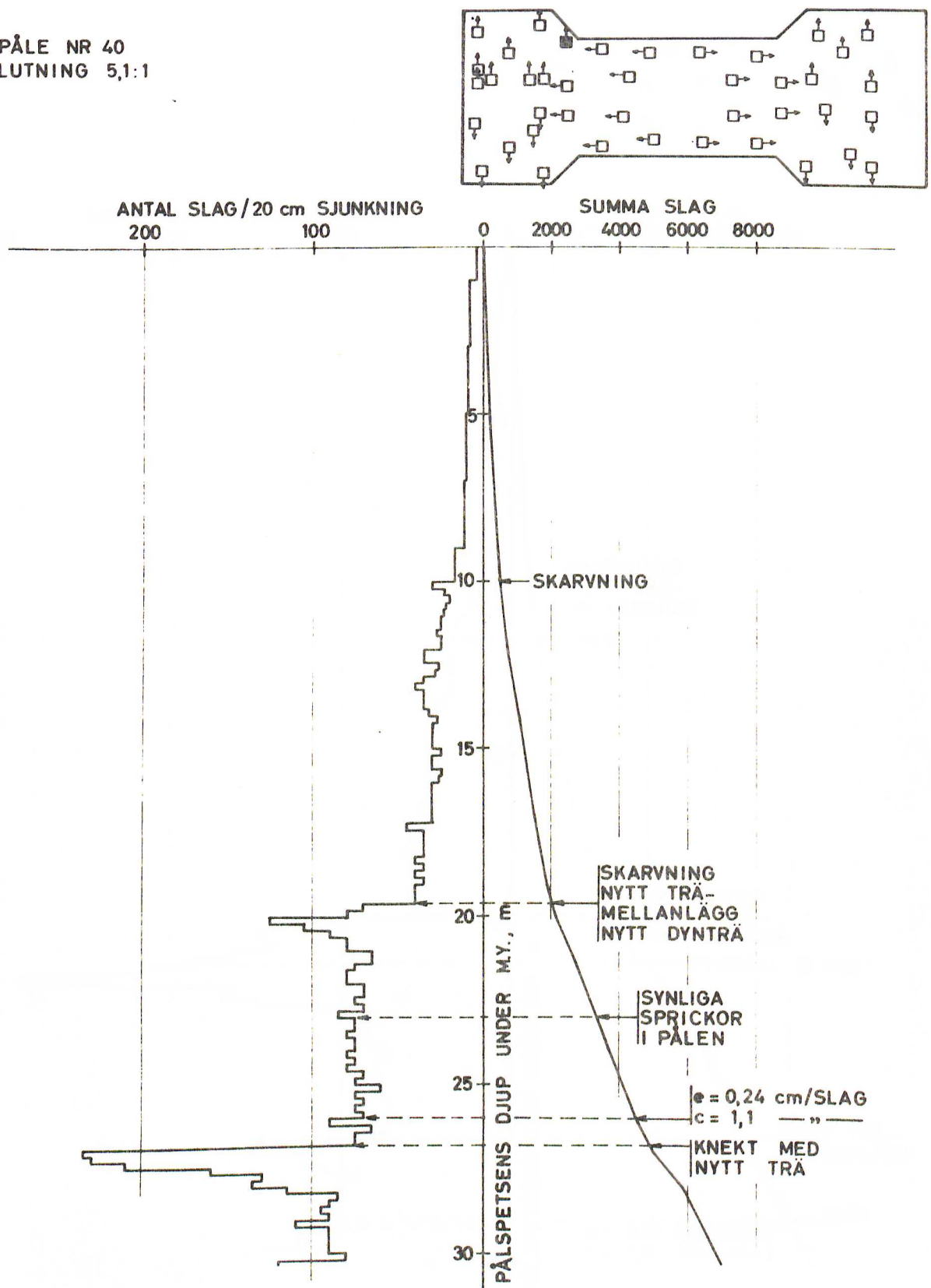


Fig 5f. Slagningsdiagram för påle nr 40

PÅLE NR 52
VERTIKAL

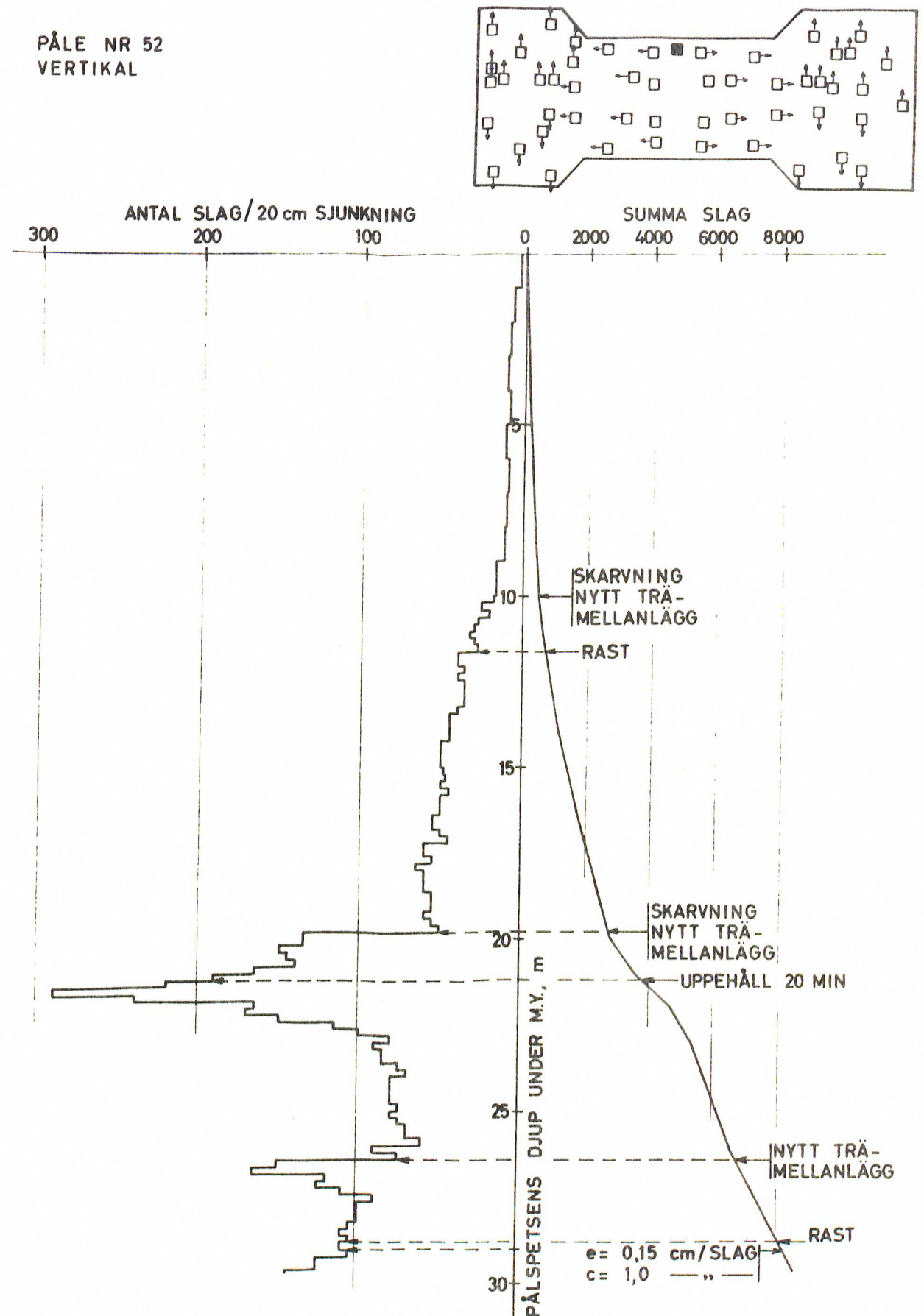


Fig 5g. Slagningsdiagram för påle nr 52

PÅLE NR 53
VERTIKAL

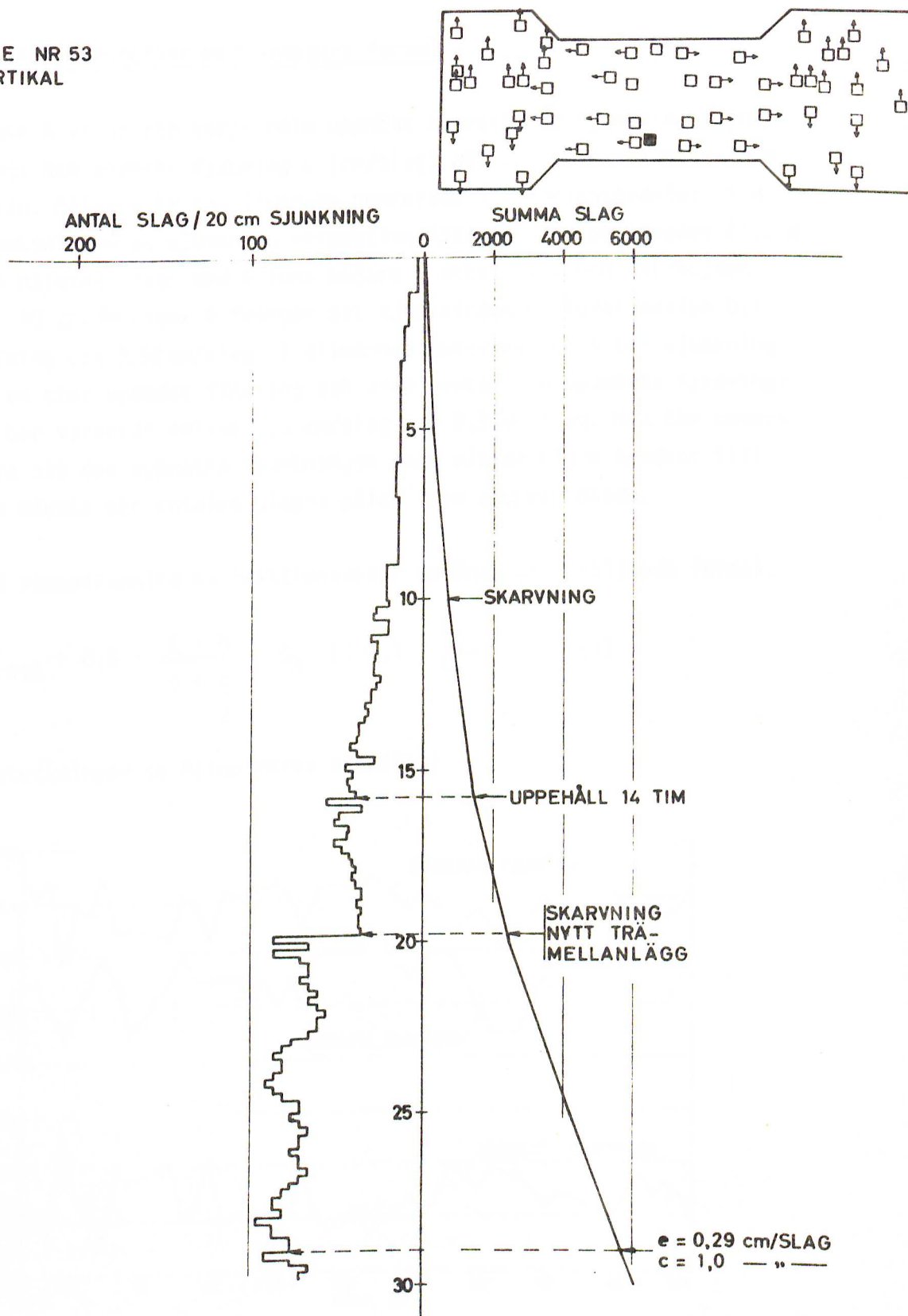


Fig 5h. Slagningsdiagram för påle nr 53

III:4 Jämförelser med Kreügers formel

Figur 6 visar för varje påle uppmätt kvarstående sjunkning e (cm/slag) och uppmätt fjädring c (cm/slag) när pålspetsarna nått 26 m nivån. Pålarna är som tidigare numrerade i slagningsordning. Vid uppmätningen av sjunkning respektive fjädring var pållängden 27,5 m och pålarna slogs med 4 tons hejare i enkel part och fallhöjden var 40 cm. Av Figur 6 framgår att sjunkningen varierat mellan 0,1 cm/slag och 0,52 cm/slag. I allmänhet motsvaras en liten sjunkning av en stor uppmätt fjädring och vice versa. Den uppmätta fjädringen har varierat mellan 1,3 cm/slag och 0,9 cm/slag. Man bör observera att den uppmätta sjunkningen inte visade någon tendens till att minska när antalet slagna pålar inom gruppen ökade.

Vid stoppslagning av friktionspålar används ofta följande formel.

$$P_{\text{brott}} = 0,8 \cdot \frac{k \cdot h}{e + \frac{c}{2}} \cdot Q_h \left(1 - 0,1 \cdot \frac{Q_p}{Q_h} \right) \dots (1)$$

(beteckningar se Pålnormerna 23:6471a)

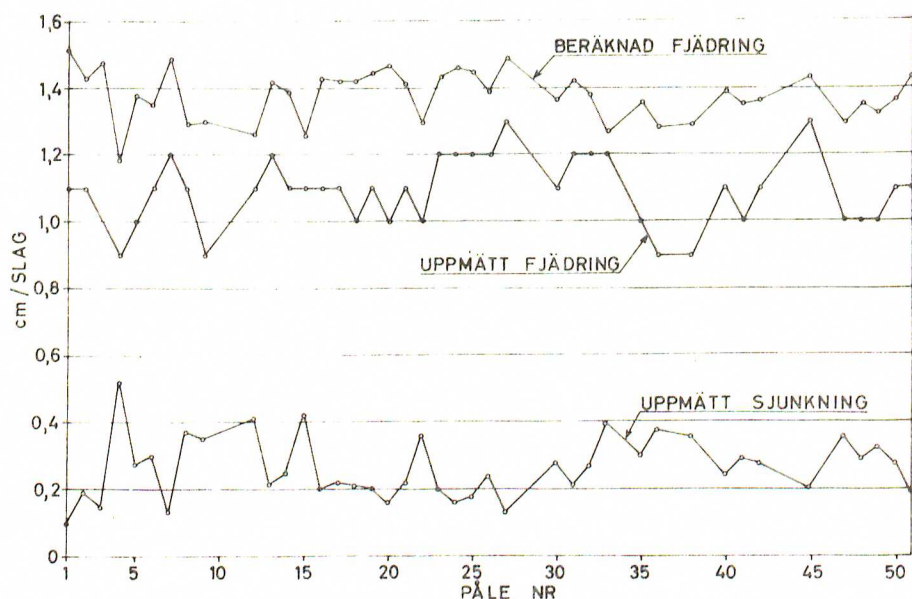


Fig 6. Uppmätt fjädring och sjunkning när pålspetsarna nått 26 m djup samt beräknad fjädring enligt Kreügers formel vid motsvarande spetsnivå.

När fjädringen c av olika skäl inte uppmättes beräknas den normalt enligt följande formel.

$$c = \frac{P_{\text{brott}} \cdot L_E \cdot 10^5}{A_p \cdot E_p} \quad \dots\dots\dots (2)$$

Elimineras P_{brott} mellan ekv (1) och (2) erhålles

$$c^2 + 2c \cdot e - 2 \cdot K_1 \cdot K_2 = 0 \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$\text{där } K_1 = 0,8 \cdot k \cdot h \cdot Q_h \left(1 - 0,1 \cdot \frac{Q_p}{Q_h}\right)$$

$$K_2 = \frac{E \cdot 10^5}{A_p \cdot E_p}$$

Ur ekvation 3 kan fjädringen c beräknas för olika värden på den uppmätta sjunkningen e (villkor $e \leq 0,44$ cm/slag). Resultatet redovisas i Figur 6 som visar att den uppmätta fjädringen är ca 80 % av den enligt ekv 3 beräknade. Den ekvivalenta pållängden L_E i ekv 2 är oberoende av den verkliga pållängden och har beräknats ur

$$L_E = \frac{Q_h}{q_p} = 26,7 \text{ m (i detta fall)}$$

dvs den ekvivalenta pållängden är något kortare än den verkliga pållängden. En bättre överensstämmelse medan uppmätt och beräknad fjädring i detta fall erhålles om den ekvivalenta pållängden i stället beräknas ur

$$L_E = 0,7 \cdot \frac{Q_h}{q_p} = 18,7 \text{ m}$$

En jämförelse mellan brottlaster beräknad enligt Krügers formel och uppmätt brottlaster vid provbelastning framgår av tabell II. Vid jämförelsen användes resultaten från de provbelastade pålarna 52 och 53.

Tabell II

Påle nr	52	53
Total längd (m)	30,5	30,5
Pålspetsens djup under m y (m)	29,0	29,0
Uppmätt sjunkning cm/slag	0,15	0,29
Uppmätt fjädring cm/slag	1,0	0,95
Beräknad fjädring enligt ekv 3 (cm)	1,47	1,34
Beräknad brottlast (Mp) enl ekv 1 med uppmätt fjädring	140	119
Beräknad brottlast (Mp) enl ekv 1 och 2, $L_E = \frac{Q_h}{Q_p}$	103	95
Beräknad brottlast (Mp) enl ekv 1 och 2, $L_E = 0,7 \frac{Q_h}{Q_p}$	121	109
Ur provbelastning uppskattad brottlast (Mp)	130-170	150-200

Av tabell II och Figur 6 framgår att den uppmätta fjädringen hos långa friktionspålar i allmänhet är mindre än den beräknade. Detta kan till viss del förklara varför Krügers formel (ekv 1) för långa friktionspålar ger en beräknad brottlast som är mindre än den verkliga brottlasten. Man bör därför i största möjliga utsträckning försöka mäta pålarnas fjädring. Det är då givetvis nödvändigt att utföra fjädringsmätningen så nära pålhuvudet som möjligt.

III:5 Jämförelse mellan neddrivningsmotståndet och antalet slag på pålar inom gruppen.

Grundundersökningarna i stöd 2 har visat att undergrunden (Fig 2) består av löst lagrat friktionsmaterial till stort djup. Provpålningen visade att en kraftig sättning (0,7 m) av markytan närmast provpålarna erhöles, vilket tydde på att friktionsmaterialet packades i samband med slagningen. Diametern på den "sänkningsträtt"

som uppstod var ca 8 m. När sedan de egentliga pålningsarbetena för stöd 2 påbörjades kunde man därför misstänka att neddrivningsmotståndet skulle öka successivt med antalet slagna pålar i gruppen.

En jämförelse mellan neddrivningsmotstånden för de 53 pålarna redovisas i Figur 7. Jämförelsen avser tre olika spetsdjup. Nämligen när pålspetsarna befann sig 9, 19 och 26 m under markytan. Nivåerna har valts med hänsyn till att effekter från skarvning, nytt trämelanlägg etc skall ha inverkat så lite som möjligt. Som mått på neddrivningsmotståndet användes antalet slag/20 cm sjunkning. I Figur 3 visas pålarnas placering och numrering. Pålarna är slagna i nummerföljd.

I medeltal har neddrivningsmotståndet varit 12 slag/20 cm när pålspetsarna befunnit sig 9 m under markytan. Spridningen är relativt liten och någon tydlig tendens till att neddrivningsmotståndet skulle ha ökat med antalet slagna pålar kan inte märkas. När det gäller kurvan för 19 m djup är spridningen större, men någon tendens till ökat neddrivningsmotstånd kan inte märkas. Medelvärdet för denna nivå är 39 slag/20 cm sjunkning. Den största spridningen har

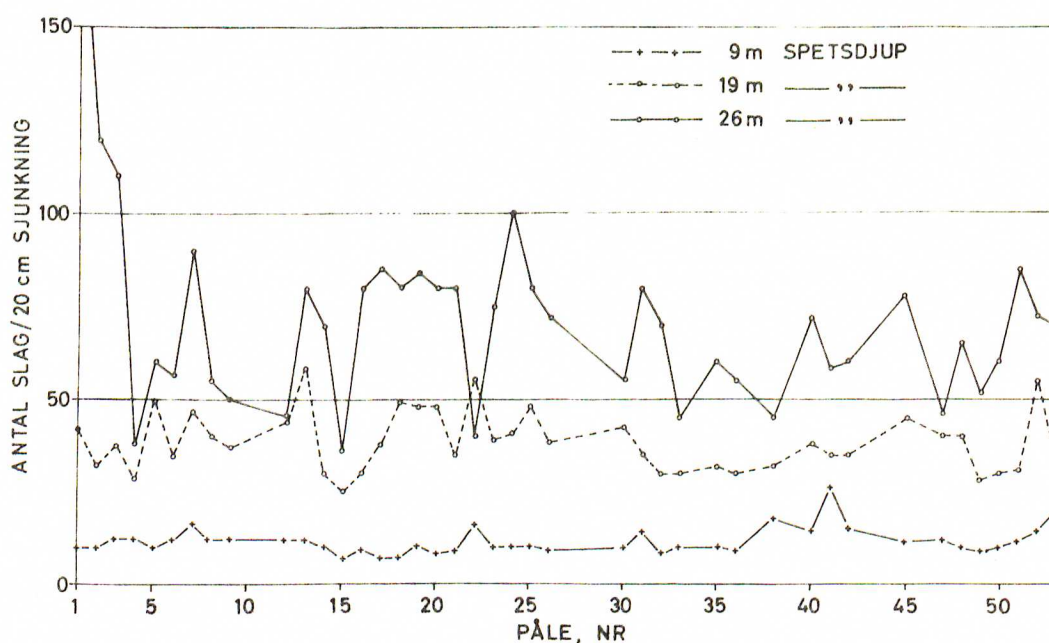


Fig 7. Uppmätt neddrivningsmotstånd vid olika spetsdjup.

erhållits för 26 m nivån, där medelvärdet är 67 slag/20 cm sjunkning, men inte heller här förefaller neddrivningsmotståndet att ha ökat med antalet slagna pålar i gruppen.

Resultaten i Figur 7 kan grupperas om något så att pålar slagna in till varandra bildar grupper (jfr Figur 3). Grupperna är numrerade från I till VII. Om man som tidigare avsetter neddrivningsmotståndet för varje påle vid olika spetsdjup (Figur 8) framgår inte heller nu någon tendens till att det skulle varit svårare att slå ner de sista pålarna inom varje grupp än de första. Möjligen har neddrivningsmotståndet hos de vertikala pålarna (grupp VII) ökat med antalet slagna pålar.

Emellertid kan man göra en annan intressant iakttagelse i Figur 3 och 8. Inom grupp II och VI har fler pålar slagits sönder än inom övriga grupper. Man kunde därför misstänka att de pålar inom grupperna II och VI som inte slagits sönder skulle visa ett avsevärt större neddrivningsmotstånd än pålarna i övriga grupper. Av Figur 8 framgår dock att så inte är fallet utan grupperna II och VI visar i stort sett samma neddrivningsmotstånd som övriga grupper. Förmodligen har de flesta pålar som slagits sönder, kolliderat med pålar som slagits vid en tidigare provpålning.

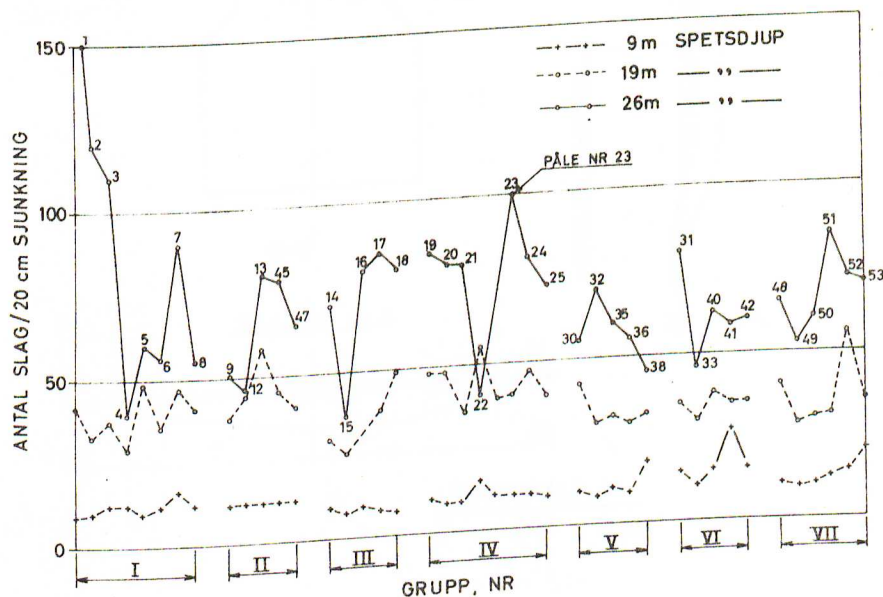


Fig 8. Uppmätt neddrivningsmotstånd vid olika spetsdjup. Pålarna är grupperade med avseende på slagningsriktning.

III:6 Uppmätt sättning i markytan

Markytan vid stöd 2 avvägdes dels före påslagningens början och dels efter att samtliga 53 pålar slagits. I Figur 9 redovisas den ursprungliga markytans läge samt den totala sättningen. Avvägningsresultaten har korrigerats med hänsyn till den uppfyllning med grus som utfördes i samband med pålningen. Markytans sättning blev 30 - 50 cm inom det område som pålgruppen täckte.

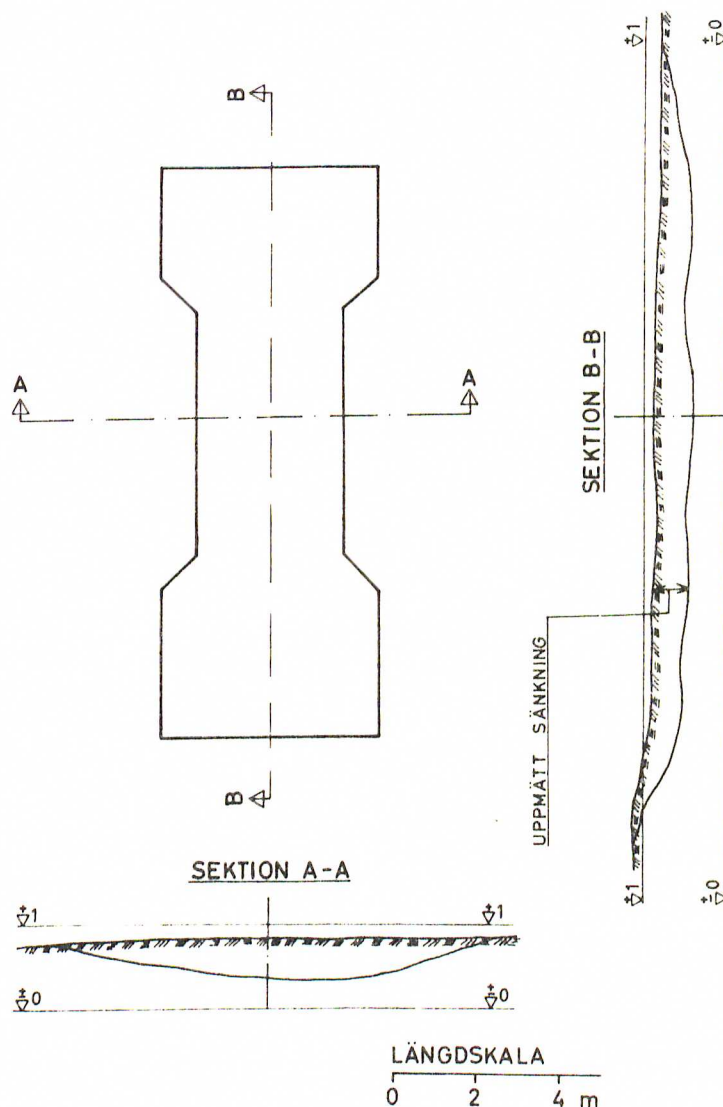


Fig 9. Uppmätt sänkningsträtt runt pålgruppen orsakad av friktionsmaterialets sammanpackning vid påslagningen.

III:7 Viktsondering före och efter påslagning

För att undersöka om en förändring i jordens lagringstäthet inträffat i samband med påslagningen utfördes tre viktsonderingar efter avslutad pålning. Figur 10 visar en sammanställning av de tre viktsonderingsdiagrammen (A, B och C). I figuren finns även inlagd en viktsondering som utfördes innan någon påle slagits i stöd 2. Diagrammen visar att den största förändringen av sonderingsmotståndet erhöles mitt i pålgruppen på ca 10 m djup. I punkt A, 13 m från centrum, erhöles ingen märkbar ökning av sonderingsmotståndet, medan i punkt B, 5 m från centrum, motståndet hade ökat märkbart mellan 15 och 20 m djup. Slutresultatet blir att påslagningen på denna plats endast ökat jordens lagringstäthet inom en relativt begränsad volym.

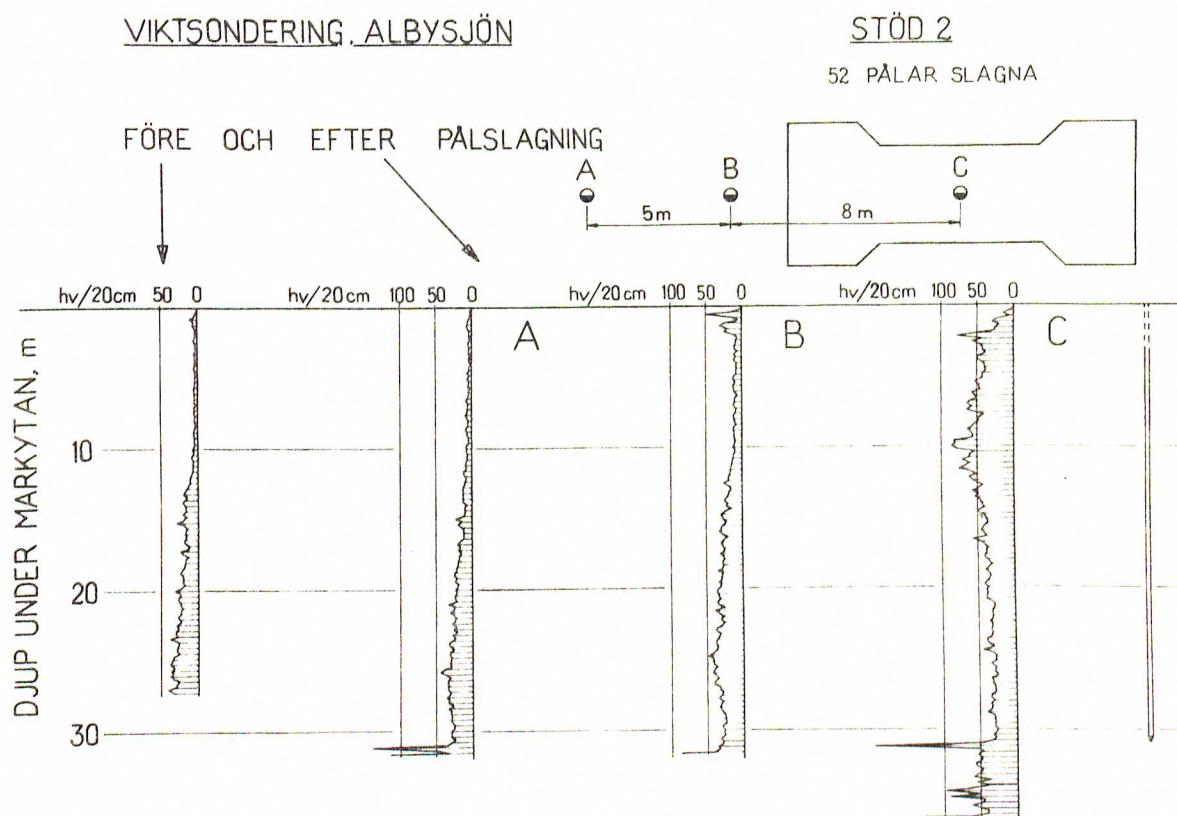


Fig 10. Jämförelse mellan viktsonderingsresultat före och efter påslagningen i stöd 2.

IV PROVBELASTNINGRESULTAT

IV:1 Allmänt

Totalt har 20 pålar provbelastats vid Albysjön. Av dessa pålar provbelastades 6 st i samband med provpålningen. Övriga pålar provbelastades efter det att pålningen för de olika stöden avslutats och ingår i de flesta fall i stödkonstruktionerna.

Vid utvärderingen av pålarnas brottlaster har en av de 6 provpålarna inte tagits med eftersom pålen gått av i samband med slagningen. För de fall då pålarna belastats till brott har den s k 90 %-regeln använts för att bestämma brottvärdet. (Jfr Särtryck och Preliminära rapporter nr 11). Av de 14 pålar som provbelastats efter att samtliga pålar i grupperna slagits är det en som inte ingår i någon stödkonstruktion och som därför belastats till brott. För övriga pålar har brottlasten uppskattats genom extrapolering av provbelastningskurvorna och anges i tabell III med ett intervall.

IV:2 Provbelastade pålar i stödläge 2

Provpålarna A, B och C (Fig 11) provbelastades innan pålningen för

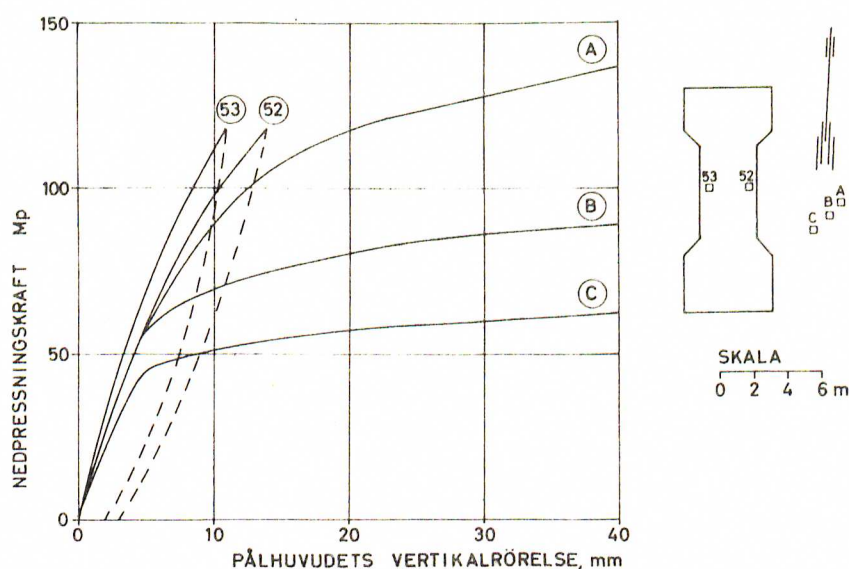


Fig 11. Jämförelse mellan provbelastningskurvor för provpålar och pålar ingående i stöd 2.

stöd 2 utfördes. Av dessa pålar är det i första hand påle A som bör jämföras med påle 52 och 53 i stöd 2, eftersom de slagits till ungefär samma djup och har ungefär lika stor omkrets som påle A. Pålarna 52 och 53 provbelastades efter det att samtliga pålar i stöd 2 slagits till avsett djup. Av nedanstående sammanställning framgår uppmätt (uppskattad) brottlast i Mp per m² mantelyta för de olika pålarna.

Påle, nr	A	B	C	52	53
Omkrets, m	0,91	0,91	1,20	1,00	1,00
Längd, m	28,0	23,0	16,7	28,9	28,9
Brottlast, Mp	130	90	65	(130-170)	(150-200)
<u>Brottlast, Mp</u>	5,1	4,3	3,2	4,5-5,9	5,2-6,9
Mantelyta m ²					

Sammanställningen ovan och Figur 11 visar att bärförmågan var något större för pålarna 52 och 53, som ingick i pålgruppen, än för provpåle A. Vid 50 Mp belastning uppmättes dock vid pålhuvudet i stort sett samma vertikallrörelse för pålarna 52, 53 och provpåle A. Vertikallrörelsen var vid denna belastning ca 4 mm, vilket motsvarar en beräknad elastisk sammantryckning av ett pålelement med tvärsnittsarean 625 cm² och längden 15 m.

IV:3 Jämförelse mellan beräknade och uppmätta brottlaster

Friktionspålars bärförmåga beräknas ofta med någon slagningsformel, t ex Krügers formel, på så sätt att en påle anses stoppslagen när den kvarstående sjunkningen/slag under vissa givna förutsättningar underskrider ett på förhand givet värde. En sådan uppskattning av pålens bärförmåga med utgångspunkt från slagningsdata blir mycket osäker, eftersom en ökning av neddrivningsmotståndet ofta är skenbar, vilket berörts tidigare i denna rapport. Vidare har konstaterats (Pålkommissionens särtryck och preliminära rapporter nr 16) att man med "Kreügers formel" underskattar bärförmågan hos långa friktionspålars ($L > 20$ m) medan bärförmågan överskattas hos korta friktionspålars ($L < 20$ m).

Mot denna bakgrund torde det vara bättre att med ledning av i förväg utförda grundundersökningar och eventuella provbelastningar bestämma till vilket djup pålarna skall drivas för att med en given säkerhetsfaktor kunna uppbära avsedd last. Härvid bestäms erforderlig pällängd med utgångspunkt från en viss antagen fördelning och storlek av skjuvspänningen längs pålens mantelyta samt en viss antagen spetsbärighet.

Som tidigare beskrivits har sammanlagt 19 friktionspålars provbelastats för tunnelbanebron över Albysjön. Visserligen har endast en del av pålarna belastats till brott men resultaten torde ändå kunna användas för en jämförelse mellan olika beräkningsmetoder.

Två beräkningsmetoder skall här användas. Metod A förutsätter att skjuvspänningarna längs pålens mantelyta ökar linjärt med djupet. Den andra metoden, metod B, förutsätter en linjär ökning av skjuvspänningarna tills dessa beräkningsmässigt uppnår värdet 5 Mp/m^2 och därefter antas skjuvspänningarna vara konstanta $= 5 \text{ Mp/m}^2$ ner till pålens spets.

Metod A

$$P_{\text{brott}} = N \cdot \bar{\sigma}_{\text{spets}} \cdot A_{\text{spets}} + \int_0^L K \cdot \tan \delta \cdot \bar{\sigma}_z \cdot U_z \cdot dz$$

Metod B

$$P_{\text{brott}} = N \cdot \bar{\sigma}_{\text{spets}} \cdot A_{\text{spets}} + \int_0^{z_{\text{krit}}} K \cdot \tan \delta \cdot \bar{\sigma}_z \cdot U_z \cdot dz + \int_{z_{\text{krit}}}^L 5 \cdot U_z \cdot dz$$

P_{brott} (Mp) = beräknad statisk brottlast

N = dimensionslös koefficient, i detta fall = 8

$\bar{\sigma}_{\text{spets}}$ (Mp/m²) = effektiva överlagringstrycket i jorden vid pålspetsens nivå

A_{spets} (m²) = pålspetsens tvärsnittsarea

K = dimensionslös jordtryckskoefficient

$\tan \delta$ = friktionskoefficient betongpåle - jord

$K \cdot \tan \delta$ = 0,35 i detta fall

$\bar{\sigma}_z$ (Mp/m²) = effektiva vertikalktrycket på djupet z under markytan. I detta fall beräknat med effektiva volymvikterna

1,8 Mp/m³ för friktionsmaterial ovan gvy

1,0 "- under "

0,7 "- kohesionsmaterial under gvy

U_z (m) = pålens omkrets

L (m) = pålens längd i friktionsmaterial

z_{krit} (m) = det djup under markytan där

$$\bar{\sigma}_z \cdot K \cdot \tan \delta = 5 \text{ Mp/m}^2$$

I tabell III redovisas för de provbelastade pålarna dels uppmätt (uppskattad) brottlast och dels beräknad brottlast enligt metod A och B. Av tabellen framgår att metod A för längre pålar överskattar bärförmågan medan metod B bättre överensstämmer med provbelastningsresultaten.

Tabell III

Påle nr	Stöd nr	Tvärsnitts- area cm ²	Längd i frikt. mtr m	Beräknad brottlast Mp		Uppmätt brottlast Mp
				Met A	Met B	
Provp A	2	600	28,2	140	109	130
" B	2	600	23,4	98	85	90
" C	2	900	15,8	64	59	65
" D	5	900	31,4	278	189	200
" E	7A	900	33,7	262	183	230
Extrapåle	1	625	22,7	132	106	157
52	2	625	28,9	190	138	130-170
53	2	625	28,9	190	138	150-200
1	3	625	24,7	132	108	130-170
34	3	625	24,7	132	108	130-160
4	4	900	28,5	205	154	150-170
33	4	900	28,5	205	154	140-160
4	5	900	26,5	199	152	160-200
33	5	900	26,5	199	152	160-200
29	6	900	24,8	147	124	180-240
32	6	900	24,8	147	124	170-250
4	7	900	22,4	157	129	180-230
4	8	900	27,5	196	151	160-190
32	8	900	27,5	196	151	210-230

x Uppskattad brottlast anges med ett intervall för pålar som ej provbelastats till brott.

För att närmare belysa hur pålens längd i friktionsmaterial påverkar kvoten mellan uppmätt och beräknad brottlast har resultaten i tabell III även redovisats i Figur 12. Av figuren framgår dels skillnaden mellan metod A och metod B och dels skillnaden mellan provbelastad singelpåle och påle ingående i pålgrupp. Beräkningsmetod B gav för singelpålarna en kvot mellan uppmätt och beräknad brottlast som varierade mellan 1,06 och 1,26, medan motsvarande kvot för pålarna ingående i en pålgrupp varierade mellan 0,97 och 1,69. Me-

metod A gav en beräknad brottlast som för pålar längre än ca 26 m i friktionsmaterial överstiger den uppmätta, dvs bärförmågan hos långa pålar överskattas.

En jämförelse mellan singelpålarna och pålarna ingående i pålgrupper visar att ju tätare pålarna i gruppen står desto större blir skillnaden mellan provbelastningsresultaten för singelpåle och påle ingående i pålgrupp. De pålar som Figur 12 representerar ingår i pålgrupper med i huvudsak lutande pålar och står därför tätare vid markytan än på större djup. Detta återspeglas i resultaten på så sätt att kvoten mellan uppmätt och beräknad brottlast för pålarna i de undersökta pålgrupperna minskar med ökad pållängd i friktionsmaterial om såväl metod A som metod B användes.

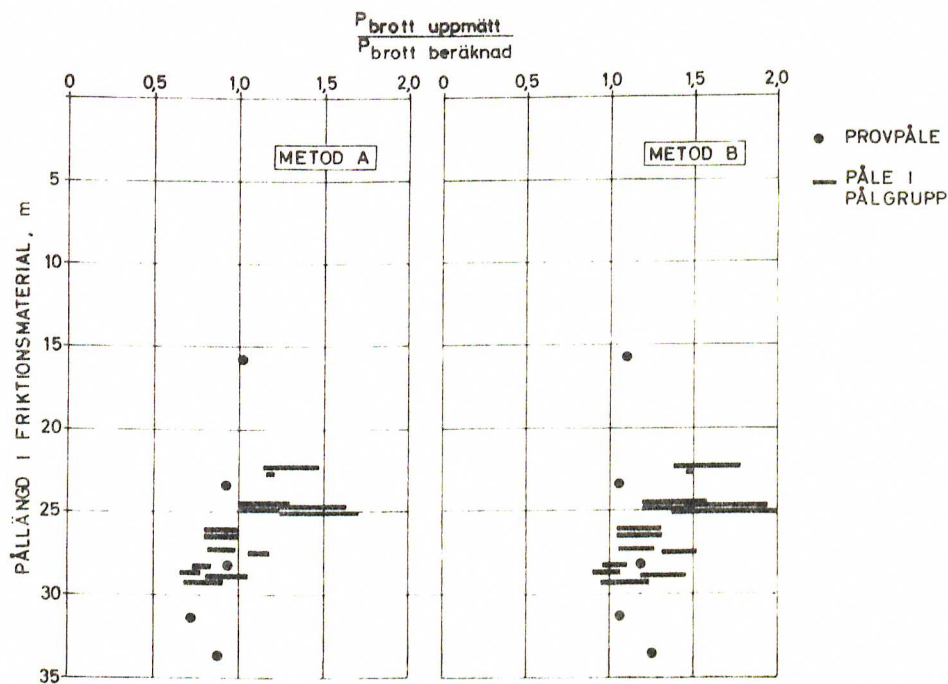


Fig 12. Kvoten mellan uppmätt och beräknad brottlast som funktion av pållängden i friktionsmaterial. Två något olika skjuvspänningsfördelningar har antagits (metod A resp metod B). För påle i pålgrupp har den "uppmätta" brottlasten i allmänhet erhållits genom extrapolering av provbelastningskurvorna och den beräknade kvoten har därför angivits med ett intervall för att antyda tänkbart variationsområde.

V SÄTTNINGSMÄTNINGAR

Pålslagningen i stöd 2 avslutades den 28 april 1969. Knappt ett år senare gjöts pålplattan och pelaren för stödet varvid även fyra avvagningsdubbar monterades i pelaren så att avvägningarna kunde påbörjas. Till en början användes som fix en provpåle som slagits ned till 25 m djup i närheten av stöd 1. När sedan (24.10.1970) brobygget fortskridit så långt att även stöd 1 började uppta last, utgick avvägningarna istället från en bergfix några hundra meter ifrån stöd 2 för att eventuella rörelser i provpålen (fixen) inte skulle påverka sättningsmätningarna i stöd 2. Noggrannheten i mätningarna med bergfixen som utgångspunkt uppskattas till $\pm 0,5$ mm.

De hittills utförda sättningsmätningarna redovisas i Figur 13 där medelvärdet av de fyra avvagningsdubbarnas vertikāl rörelse har avsatts som funktion av tiden. I diagrammet har även angivits beräknad vertikallast på pålgruppen. Redovisningen av totallasten är mycket schematisk. Bl a har lastökningen redovisats som om den inträffat momentant trots att belastningen påförts succesivt under vissa tider. Vidare har hänsyn inte tagits till inverkan av lanserfackverk och gjutformar samt deras placering vid olika tillfällen. En utförligare redovisning skall utföras så snart sättningsmätningarna är avslutade. Avsikten är att mätningarna skall pågå tills tunnelbanebron varit i drift ett tag.

Av Figur 13 framgår att totala sättningen under tiden 13.4.1970 till 13.5.1971 uppgått till 4 mm. Under denna tid har totala lasten på pålgruppen ökat från 350 Mp till 870 Mp, vilket motsvarar en ökning av medelpållasten från 8,3 Mp till 20,7 Mp beräknat på 42 pålar. För motsvarande lastökning erhöll provpåle A i samband med provbelastningen en rörelse av 1 mm vid pålhuvudet. Emellertid är det för tidigt att redan nu dra några bestämda slutsatser ur resultaten. Detta får anstå tills sättningsmätningarna är avslutade.

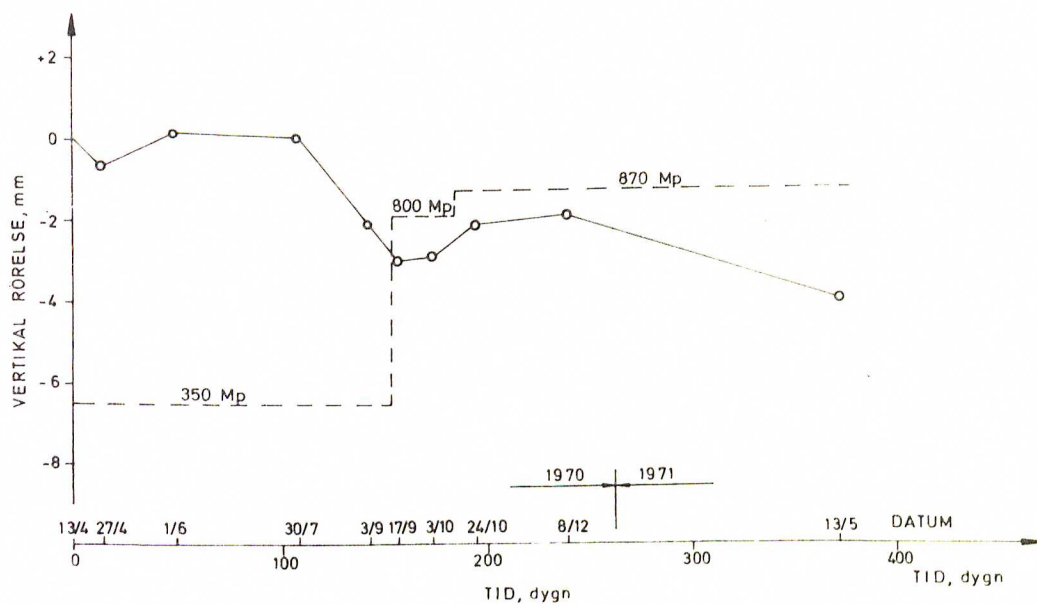


Fig 13. Uppmätt vertikalrörelse hos stöd 2 sedan pelare och päl-platta gjutits. I diagrammet redovisas även total last i stöd 2 under observationstiden.

VI SAMMANFATTNING

I denna rapport redogörs för Pålkommisionens uppföljning av pålningsarbetena för brostöd nr 2 vid Albysjön, Fittja. Bron ingår i tunnelbana 2 SV, den s k Botkyrkabanan. Undergrunden vid stöd 2, som är grundlagt på 27 m långa friktionspålar, består av löst lagrad sand och grus till stort djup.

Undersökningen har omfattat en noggrann protokollföring i samband med påslagningen, som omfattat 53 pålar inklusive ersättningspålar. Pålarna, 25 x 25 cm betongpålar, slogs med 4 tons fallhejare och 40 cm fallhöjd. Vidare har undersökningen omfattat en sammanställning av de provbelastningar som utförts dels i provpålningsstadiet och dels efter avslutad pålning. Även förändringar i undergrundens lagringstäthet har studerats. För närvarande pågår mätning av brostödet vertikallrörelser i samband med brobyggandet och en preliminär redovisning ges i denna rapport.

De resultat som erhållits vid bearbetningen av undersökningsmaterialet kan enklast sammanfattas i följande punkter.

1. Neddrivningsmotståndet för friktionspålarna i stöd 2, mätt som antal slag/20 cm sjunkning, influerades starkt av sådana faktorer som skarvning, byte av trä mellanlägg, slagningsuppehåll m m. Pålar slagna intill varandra kunde uppvisa helt olika slagningsdiagram. De sammanställda slagningsdiagrammen visar tydligt att neddrivningsmotståndet ofta inte är något bra mått på friktionspålars bärförmåga.
2. Neddrivningsmotståndet visade ingen tendens till att öka när antalet slagna pålar inom pålgruppen blev fler.
3. Viktsondering innan pålningen i stöd 2 påbörjades och viktsondering efter avslutad pålning visade att sonderingsmotståndet ökat relativt kraftigt ner till 10 m djup till följd av påslagningen. På djupare nivåer hade soneringsmotståndet inte förändrats nämnvärt.

4. Jämförelse mellan provbelastade singelpålar och pålar ingående i pålgrupp visar att singelpålarna i allmänhet erhöll något lägre bärförmåga.
5. När de provbelastade singelpålarnas brottlaster beräknades under antagande att mantelskjuvspänningen ökar linjärt med djupet överskattades bärförmågan något hos de långa friktionspålar-
na ($L > 20 - 25$ m). Bättre överensstämmelse mellan beräknade och uppmätta brottlaster erhöles om mantelskjuvspänningen be-
gränsades till 5 Mp/m^2 , dvs skjuvspänningen längs pålarnas
mantelyta antogs öka linjärt tills 5 Mp/m^2 uppnåddes och un-
der denna nivå antogs spänningen vara konstant = 5 Mp/m^2 .
6. De hittills utförda sättningsmätningarna visar att den totala
sättningen efter 400 dygn uppgick till ca 4 mm. Under denna
tid har medelpållasten ökat från 8,3 Mp till 20,7 Mp, beräknat
på 42 pålar.