

Särtryck och preliminära rapporter
Nr 5

RESULTAT FRÅN PÅLPROVNINGAR VID GÖTEBORG C

Bror Fellenius



INGENIÖRSVETENSKAPSAKADEMIEN
PÅLKOMMISSIONEN

RESULTAT FRÅN PÅLPROVNINGAR VID GÖTEBORG C

Bror Fellenius

Särtryck av meddelande nr 5 1.11.1955
utgivet av statens järnvägars centralförvaltning
geotekniska kontoret.

20 kr

List of Illustrations

- Fig. 1. Three hydraulic jacks in operation.
- Fig. 2. The tip of Pile No. 3 before driving.
- Fig. 3. Pile No. 4 during pulling out. Note the clay adhering to the girder.
- Fig. 4. Piles Nos. 5 and 6 before driving. Sheet-iron-cased piles.
- Fig. 5. Pile No. 9 before driving. The butt of the pile is capped with a wooden block.
- Fig. 6. Pile No. 10 before driving. The butt of the pile is capped with a wooden block.
- Fig. 7. Assembly of Pile No. 26. The round iron bars at the centre of the pile were used for measuring the vertical deformations of the pile below the ground level.
- Fig. 8. Pile No. 26. Measuring devices used on the surface of the ground during a loading test.
- Fig. 9. Assembly of Pile No. 28. The round iron bars at the centre of the pile were used for measuring the vertical deformations of the pile below the ground level.
- Fig. 10. Pile No. 28. The pile is jointed at the centre by means of a sheet iron sleeve. A square iron plate is inserted in the middle of the joint.
- Fig. 11. Pile group consisting of Piles Nos. 30 to 36, shown immediately after completion of concrete slab.
- Fig. 12. Pile group consisting of Piles Nos. 30 to 36. The concrete slab is submitted to a load due to 90 tons of rails.

List of Plates

- Pl. 1 Plan Showing Location of Bore Holes and Test Piles. Pl. 21 Pile No. 1 Sinking Test.
- Pl. 2 Borehole 9. Pl. 22 Pile No. 4 Sinking Test.
- Pl. 3 Borehole 10. Pl. 23 Pile No. 7 Sinking Test.
- Pl. 4 Boreholes 12 and 17. Pl. 24 Pile No. 8 Sinking Test.
- Pl. 5 Relation between Relative Strength H₃ and Shearing Strength τ . Pl. 25 Pile No. 21.
- Pl. 6 Piles A and B. Pl. 26 Pile No. 22.
- Pl. 7 Piles C and D. Pl. 27 Pile No. 23.
- Pl. 8 Piles E and F. Pl. 28 Pile No. 24.
- Pl. 9 Piles G and H. Pl. 29 Pile No. 25.
- Pl. 10 Piles K, L and M. Pl. 30 Pile No. 26.
- Pl. 11 Pile No. 1. Pl. 31 Pile No. 27.
- Pl. 12 Pile No. 2. Pl. 32 Pile No. 28.
- Pl. 13 Pile No. 3. Pl. 33 Pile No. 29.
- Pl. 14 Pile No. 4. Pl. 34 Pile No. 38.
- Pl. 15 Pile No. 5. Pl. 35 Pile No. 39.
- Pl. 16 Pile No. 6. Pl. 36 Pile No. 41.
- Pl. 17 Pile No. 7. Pl. 37 Pile No. 42.
- Pl. 18 Pile No. 8. Pl. 38 Pile No. 36.
- Pl. 19 Pile No. 9. Pl. 39 Piles Nos. 2 and 5.
- Pl. 20 Pile No. 10. Pl. 40 Pile No. 4.
- Pl. 41 Settlements of Ground at Different Depths below Ground Level.

Innehållsförteckning

Table of Contents

	Sidan Page
Figurer — List of Illustrations	3
Plancher — List of Plates	3
Förord — Preface	4
Grundundersökningarnas omfattning — Scope of Soil Exploration	5
Pålprovningarnas omfattning — Scope of Tests on Piles	5
Några tidigare utförda pålprovningarsöki Göteborgs hamn — Some Previous Tests on Piles at the Port of Gothenburg	7
Pålar A och B. Pålar med skrovlig mantelyta — Piles A and B. Piles with Rough Lateral Surface	7
Pålar C, D, E, F, G, H, K, L och M. Pålar med jämn mantelyta — Piles C, D, E, F, G, H, K, L, and M. Piles with Smooth Lateral Surface	8
Under åren 1947-1951 utförda pålprovningarsök vid Centralstationen i Göteborg — Tests on Piles Made during the Period from 1947 to 1951 at Central Station in Gothenburg	8
Första försöksserien. Pålar 1-10. Oskarvade pålar av olika material — First Test Series. Piles Nos. 1 to 10. Non-Jointed Piles Made of Various Materials.	8
Andra försöksserien. Pålar 21-23. Vattenindränkta träpålar — Second Test Series. Piles Nos. 21 to 23. Timber Piles Saturated with Water	11
Tredje försöksserien. Pålar 24 och 25. Skarvade träpålar med lös överpåle — Third Test Series. Piles Nos. 24 and 25. Jointed Timber Piles with Loose Overpile	12
Fjärde försöksserien. Pålar 26-29. Ihåliga pålar av trä och betong — Fourth Test Series. Piles Nos. 26 to 29. Hollow Timber and Concrete Piles.	13
Femte försöksserien. Pålar 38 och 39. Skarvade raka träpålar med flera skarvar — Fifth Test Series. Piles Nos. 38 and 39. Straight Multi-Joint Timber Piles.	14
Sjätte försöksserien. Pålar 40 och 42. Skarvade krokiga träpålar med flera skarvar — Sixth Test Series. Piles Nos. 41 and 42. Curved Multi-Joint Timber Piles	14
Sjunde försöksserien. Pålar 30-36. Pålgrupp på sju skarvade träpålar (en skarv i varje påle) — Seventh Test Series. Piles Nos. 30 to 36. Pile Group Consisting of Seven Single-Joint Piles.	15
Dragförsök på pålarna 2, 4 och 5 — Pulling Tests on Piles Nos. 2, 4, and 5	15
Mätning av närbelägna pålars vertikalförändringar under några provbelastningsförsök — Measurements of Vertical Displacements of Adjacent Piles in Some Loading Tests	16
Jämförelse mellan skarvade pålars beräknade och verkliga brottlast, när lerans skärhållfasthet bestämts med kon- och vingborr — Comparison between Calculated and Actual Ultimate Loads of Jointed Piles on the Assumption That the Shearing Strength of Clay Is Determined by Means of the Swedish Cone Method and with Vane Borer	16
Sammanfattning — Summary	19

Grundundersökningarnas omfattning

Dessa ha omfattat

- A) Sondborrningar för att konstatera lerlagrens maktighet och ev. belägenhet av fast botten.
- B) Upptagning av ostörda lerprover med kolvborr.
- C) Laboratorieundersökning av de upptagna lerproven varvid relativa hållfasthetstal enligt konnetoden, vattenhalt, volymvikt m m bestämts.

A Sondborrningar

Borrhålens belägenhet framgår av Pl. 1. Inalles har sondborrning utförts i 8 st borrhål av vilka 5 angivits på Pl. 1. Vid borrningarna har använts geotekniska kommissionens 19 mm sondborr. Sondborrningarna har utförts genom vridning under viktsbelastning med 100 kg. Därvid har borret kunnat neddrivas till ca 50 m under markytan. Sedan har motståndet varit så stort, att borret ej kunnat nedtryckas med lätta slag vridas, utan att risk förelåg att bryta av borret. Då det vore av intresse att få reda på belägenheten av fast botten har i borrhål nr 1 borret drivits djupare. Därvid har man gått tillväga på följande sätt.

Ett 2" foderrör nedrevs med handhejare i kombination med vattenspolning till 60 m djup. Borrningen fortsatte sedan med ett 1" rör inuti det nedslagna 2" röret. Under vattenspolning kunde 1" röret nedföras till 85,6 m. I borrhålet nedfördes sedan ett 19 mm sondborr utan spets, vilket medelst slag kunde neddrivas till 95,9 m under markytan, där borrningen avbröts.

Borret gick hela tiden genom lera, som på de större djupen blev allt fastare.

B Upptagning av lerprover med kolvborr

Med användande av kolvborr har prover (diameter 43 mm) upptagits i 9 borrhål i allmänhet på varannan meter under markytan till ett djup av ca 40 m. Djupare kunde inte borret pressas trots kraftig belastning. För att få en bild över lerans beskaffenhet även i djupare belägna delar har i två borrhål nr 9 och 10 med vissa anordningar prov upptagits från mer än 65 m under markytan. Sedan proven tagits ned till 30 m djup nedrevs ett 3" foderrör till detta djup. Sedan har borrhålet genom vattenspolning öppnats till det djup, på vilket provtagning skulle ske, varefter kolvborret nedförts i borrhålet genom 3" röret. Borret har pressats ned i leran med hjälp av en mindre kran som belastats för att få erforderlig tryckkraft. På större djup än 50 m ha prov upptagits på var 5:e meter då dessa provtagnings blir ganska tidsödande. Alla prover har upptagits med Göteborgs hamnstyrelsens borrarutrustning, då Statens Järnvägars borrarutrustning icke lämpar sig för så stora djup, varom här är fråga. Proverna ha sedan provats i hamnens jordlaboratorium, varigenom transport av proverna till Stockholm med risk för att skada proverna undvikts.

C Laboratorieundersökning av de upptagna jordproverna

Dessa ha utgjorts av bestämning medelst konnetoden av lerans relativa hållfasthetstal H_3 och H_1 , vattenhalt, volymvikt och finledstal.

Resultatet av grundundersökningarna framgår av Pl. 2, 3 och 4. Som synes utgöres grunden av lera, vars hållfasthetstal kraftigt växer med djupet. Sambandet mellan dessa hållfasthetstal och lerans skärhållfasthet har empiriskt bestämts genom jämförelse med inträffade skred och ett stort antal provbelastningar. Detta samband framgår för en lera av Göteborgstyp av kurvan Pl. 5. Kurvan är åtminstone för de lägre hållfasthetstalen ganska tillförlitlig.

I samband med dessa undersökningar har statens geotekniska institut utfört försök med sitt vingborr (Pl. 2 och 3). Dessa försök utfördes intill borrhålen 9 och 10.

Pålprovningarnas omfattning

I samband med utförandet av Gullbergskajen i Göteborgs hamn år 1935 företogs en provbelastning av pälår besprutade med cementbruk. En påle besprutades över hela sin yta med ett ca 7 1/2 cm tjockt lager av cementbruk och en annan med ringar av samma material på ca 2 m avstånd. Tanken var att genom den skrovlighet, som pålarna genom besprutningen erhölet, en ökad bärlighet skulle erhållas. Resultatet av dessa försök redovisas här under beteckningar påle A och B på Pl. 6. Dessa försök visar, att skrovligheten hos pålarna minskar bärligheten i stället för att öka densamma. En undersökning av bärligheten hos pälår med särskilt slät mantelyta vore då av intresse såsom jämförelse. Författaren utförde därför i samband med andra undersökningar för den senare utförda s k Lindholmshamnen under åren 1935 - 1937 några provbelastningsförsök med pälår, vars mantelytor huggits jämna med yxa. Dessa pälår har i denna redogörelse betecknats med bokstäverna C, D, E, F, G, H, K, L och M. Resultatet av dessa försök tyder på att bärligheten blir större ju slätare pålens

Förord

I samband med att frågan om en ombyggnad av Centralstationen i Göteborg blev aktuell blev det nödvändigt att söka klarlägga grundförhållandena och att angiva lämplig grundkonstruktion för byggnaden.

Platsen är belägen invid den nuvarande stationsbyggnaden. Grunden består av lösa mäktiga huvudsakligen postglaciala leravlagringar med fast botten sannolikt belägen på mer än 100 m djup under markytan. Leran är av lös beskaffenhet med en vattenhalt, som i allmänhet överstiger 60 volymprocent. Mineralkornen i leran är mycket små - delvis mindre än μ - vilket allt ger leran ett fett utseende och en plastisk konsistens. Leran är något gytjehaltig och har mycket liten vattengenomsläpplighet. Markytan befinner sig i en långsam fortgående sjunkning beroende på att leran ännu icke är färdigkonsoliderad.

Någon grundläggning på fast botten är knappast tänkbar. Grundläggning på i leran svävande pälår - "kohesionspälår" - torde vara det grundläggningssätt som här bör komma till användning. Då det för en så stor byggnad eller kanske rättare byggnadskomplexvarom här är fråga är av största vikt att sättningarna blir så små och så jämna som möjligt, blev det nödvändigt att utföra grundundersökningar och påprovningsförsök i rätt stor omfattning. Dessa försök och resultaten därav har ett allmänt intresse. Järnvägstyrelsens geotekniska avdelning vill därför genom följande redogörelse över försöken och dess resultat sprida kännedom om dessa.

Försöken har letts av undertecknad föreståndare för geotekniska avdelningen och som medhjälpare har tjänstgjort avdelningens personal, - bland vilken särskilt bör omnämnas byråingenjör Rune Lundström och ingenjören W. Pejrud - med biträde av personal från 5 bandsektionen i Göteborg.

Göteborgs hamnstyrelse har välvilligt ställt sitt material från tidigare försök till förfogande och i den mån de intressera i detta sammanhang givit sitt tillstånd till publicering av dessa resultat i detta meddelande. Hamnstyrelsen har även på Statens järnvägars uppdrag utfört borrningar och provningar av upptagna jordprov.

Slutligen har Statens geotekniska institut i samråd med järnvägstyrelsens geotekniska avdelning utfört vissa jämförande försök med sitt vingborr. Dessa försök har tidigare publicerats i Royal Swedish Geotechnical Institut Proceedings no 2 "The vane borer" Stockholm 1950 § 8:13 fig 61 och 62 samt Table 11, och medtages i denna redogörelse endast för jämförelse.

Försöken igångsattes i september år 1947 och avslutades år 1951.

Stockholm den 1. 11 1955

Bror Fellenius

mantelyta är. Pl. 7, 8, 9 och 10. I samband med dessa försök utförde författaren även provbelastningar av i lera nedpressade järnrör med 2" resp 3" invändig diameter. Vissa rör var försedda med invändiga muffar alltså fullständigt släta på utsidan och andra rör var försedda med utvändiga muffar. Det visade sig, att brotlasten hos rören med invändiga muffar, som alltså var helt släta på utsidan, blev större än hos de med utvändiga muffar. Dessa försök som bl a även utfordes för att utröna faran för knäckning ileran beskrives inte närmare här utan hänvisas till författarens artikel "Provbelastningar av i lera nedpressade järnrör" publicerad i häfte 10 den 28 okt 1938 i Teknisk Tidskrift.

De försök, som nu utförts genom Statens järnvägars geotekniska avdelnings försorg för att bedöma grundläggningssättet för den planerade stationsbyggnaden i Göteborg, är närmast att betrakta som en fortsättning på de tidigare utförda försöken. Inalles har 26 stycken provpålar provats, nämligen

Prov- Påltyp samt speciella anordningar

Första försöksserien

1. Betongpåle 20x20 cm, l = 15 m, Pl. 11 och 21.
2. Betongpåle 20x20 cm, l = 15 m, Pl. 12.
3. Betongpåle med X sektion, yttermått 25x25 cm, l = 15 m, Pl. 13.
4. Järnbalk I NP 30, l = 14 m, Pl. 14 och 22.
5. Träpåle 15, 5 m/6", plåtbeklädd, toppen ned, Pl. 15.
6. Träpåle 15, 6 m/6", plåtbeklädd, roten ned, Pl. 16.
7. Träpåle 15, 6 m/6", toppen ned, Pl. 17 och 23.
8. Träpåle 15, 6 m/6", roten ned, Pl. 18 och 24.
9. Träpåle 15, 6 m/6", kloss vid toppen, toppen ned, Pl. 19.
10. Träpåle 15, 6 m/6", kloss vid roten, roten ned, Pl. 20.

(11- Skarvade träpålar. Ej redovisade.
12)

Andra försöksserien

21. Träpåle 15 m/6", vattenindränkt med toppen ned, Pl. 25.
22. Träpåle 15, 6 m/6", vattenindränkt med toppen ned, Pl. 26.
23. Skarvad vattenindränkt träpåle. Överpåle 10, 3 m/7", underpåle 15, 6 m/6". Skarvad rot mot rot, Pl. 27.

Tredje försöksserien

24. Skarvad träpåle rot mot topp. Överpåle 10, 6 m/6", underpåle 15, 6 m/6", Pl. 28.
25. Skarvad träpåle rot mot rot. Överpåle 10, 5 m/6", underpåle 15, 6 m/6", Pl. 29.
- Fjärde försöksserien
26. Ihålig träpåle av 2" plank, 20 m/25x25 cm, Pl. 30.
27. Ihålig träpåle av 2" plank, 20 m/25x25 cm, med kloss på mitten, Pl. 31.
28. Ihålig betongpåle, 20 m/25x25 cm, med kloss på mitten, Pl. 32.
29. Ihålig betongpåle, 20 m/25x25 cm, Pl. 33.

Femte försökssefien

- (37). Skarvad träpåle, rot mot rot, underpåle 19, 9 m/5", mellanpåle 15, 5 m/8", överpåle 7 m/8". Sammanlagd längd 42, 4 m. Ej redovisad.
38. Skarvad träpåle, rot mot rot, underpåle 19, 7 m/5", två mellanpålar 9 m/10", överpåle 9 m/10". Sammanlagd längd 46, 8 m, Pl. 34.
39. Skarvad träpåle, rot mot topp, underpåle 20 m/5", tre mellanpålar 9 m/10", överpåle 9 m/10". Sammanlagd längd 55, 9 m, Pl. 35.

Prov- påle

Påltyp samt speciella anordningar.

Sjätte försöksserien

- (40). Skarvad träpåle, rot mot rot, underpåle 20 m/5", mellanpåle 15 m/8", överpåle 12 m/8". Sammanlagd längd 47, 07 m. Ej redovisad.
- 41- Skarvade träpålar, rot mot rot, underpåle 20 m/5", mellanpåle 15 m/8", överpåle 7 m/8". Pålarna ha valts med en viss krokighet. Sammanlagd längd 42 m, Pl. 36 och 37.

Sjunde försöksserien

- 30- Pålgrupp på sju skarvade träpålar - rot mot rot -, av vilka sex äro placerade i form av en regelbunden sexhörning med l, 5 m sida. Över pålarna har gjutits en betongplatta, vilken belastats med råler. Den sjunde pålen är placerad i sexhörningens centrum och går upp genom plattan i en ursparing. Pålarnas dimensioner, nr 30-35: underpålar och överpålar 15 m/6", nr 36: underpåle 15 m/6", överpåle 16 m/7", Pl. 38.

Något resultat av värde från provningarna av provpålarna nr 11, 12, 37 och 40 erhöles icke, då de redan vid första provbelastningen förstördes på grund av brott i träaterialet. Påkänningen i träet i pålens överdel uppgick nämligen för dessa pålar till över 200 kg/cm², varför resultatet icke har något intresse i detta sammanhang, och därför icke redovisas i denna redogörelse.

Belastningen på pålarna har påförts med användande av den på sin tid av ingenjör Wendel i Göteborg konstruerade pålprovningssapparaten. *) Denna utgöres av en hydraulisk domkraft, som placeras på provpålen. Mothåll erhålles från 4 st dragpålar, vilka medelst 4 stag står i förbindelse med domkraften. Vid försöken har geotekniska avdelningens pålprovningssapparat använts och dessutom har Göteborgs hamnstyrelses två liknande apparater förhyrts. Fig 1 visar en bild från provningarna. Pålkraften avläses på domkraftens manometer och pålens sjunkning mätes på måtklockor i förhållande till nedslagna mätpålar. Belastningen har i allmänhet påförts med 1 ton var 5:e minut och de diagram, som uppritats över provningarna har angivits med tidskala i horisontalld och sättningsdiagram. När pålens sjunkning under en 5 minutersperiod, under vilken ingen belastningsökning äger rum, överstiger 3 mm har brott ansetts föreligga. Erfarenheten från flera tidigare provbelastningar har visat att en sådan behandling av en träpåle icke märkbart stör vidhäftningen mellan pålen och den omgivande leran. När brott sålunda inträffat har snabb avlastning skett, varefter mätning av pålskallens uppfjädring utförts. Pålbelastningsdiagrammen blir genom den diakon-tinuerligt påförda lasten ojämna, men för vissa pålar har inlagts en medellinje för att göra bilden överskådligare. Vid uppritandet av diagrammen för provbelastningen för de skarvade pålarna har emellertid kurvans exakta utseende uppritats.

Den beräknade brotlasten har beräknats som summan av produkten av arean av ett ytelement på pålens mantelyta och den skärhållfasthet leran har på den nivå ytelementet befinner sig. Lerans skärhållfasthet har därvid bestämts enligt konmetoden.

Pålarnas brottilaster har beräknats med ledning av den skärhållfasthet i leran som erhållits från lerproven för provpålarna 1-36 i borrhål 17 (Pl. 4) och för provpålarna 37-42 i borrhål 9 (Pl. 2).

Några tidigare pålprovningförsök utförda i Göteborgs hamn

Pålar A och B.

Båda pålarna utgöres av träpålar. Påle A hade besprutats med cementbruk över praktiskt taget hela sin mantelyta. Ytan blev skrovlig men relativt jämn. Påle B besprutades så att ett antal ringar av cementbruk uppstod runt pålen på några meters avstånd. Mellan dessa ringar var pålen således utan cementbrukshölje. Pålens mantelyta blev således mycket ojämn. (Pl 6). Pålarna nedslogs på vanligt sätt med fallhejare. Det för nedslagningen erforderliga slagarbetet var stort men var för påle A avsevärt mindre än för påle B. Pålarna provbelastades 1 månad resp tre veckor efter nedslagningen. Därvid befanns brottilasten för den relativt släta pålen, påle A, vara c:a 70 % av den med hänsyn till lerans skärhållfasthet beräknade brottilasten. Förpål B, dvs pålen med ringar, blev brottilasten mindre än hälften av den med ledning av skärhållfastheten i leran beräknade. Dessa försök visar att en påle med ojämn och skrovlig mantelyta får - åtminstone till en början - lägre brottilast än en slät påle med

*) Ernst Wendel: Om provbelastning av pålar med tillämpning deraf på grundläggningförhållandena i Göteborg (separattryck ur Tekn. Samf. Handlingar tryckt år 1906).

samma dimensioner. Avsikten var att försöken skulle upprepas, när pålarna stått en längre tid i leran, men detta blev icke möjligt, då pålgruppen - som stod ute i älven - blev påkörd av ett fartyg, varvid pålarna bröts av.

Pålar C, D, E, F, G, H, K, L och M

Nyssnärda försök gav emellertid sådana resultat, att det fanns all anledning att fortsätta dessa undersökningar. Författaren utförde då förut omnämnda försök med särskilt slätthuggna träpålar. Pålarna har huggits så att de möjligaste mån fått en rätlinjigt tillväxande diameter från spetsen upp till rotänden. Pålarna E, F och M har skräts cylindriska, de är alltså inte som de andra koniska. Pålarna har provbelastats ca tre veckor till en månad efter nedslagningen. Upprepade provbelastningsförsök har sedan utförts under den följande tiden. Av resultaten från dessa försök må särskilt följande framhållas. Pl. 7, 8, 9 och 10.

Överensstämmelsen med den brottlast som kan beräknas med utgångspunkt från lerans skärhållfasthet och de verkligt uppnådda brottlastresultaten är i allmänhet utomordentligt god. Pålarna G och H (Pl. 9), som slagits med rotänden nedåt, visar dock en bärighet, som endast utgör ca två tredjedelar av den beräknade bärigheten. Pålarna C, D, E och F (Pl. 7 och 8), av vilka pålarna E och F är cylindriska, visar god överensstämmelse med den beräknade brottlasten. Pålarna K, L och M (Pl. 10) är skarvade pålar. Underpålen består av någon av de övriga pålarna och överpålen består av, vid påle K av den tidigare undersökta pålen G, som dragits upp och placerats ovanpå påle C. Till påle L och M har tillverkats nya överpålar, som i stort sett har samma form och dimension som pålarna G och H. Tanken med dessa försök med de skarvade pålarna var, att man skulle kunna få reda på hur stor del av brottlasten, som uppbars av underpålen och av överpålen, då man tidigare vid påle G och H fått brottlasten för dessa pålar, som vid de skarvade pålarna representerade överpålarna. Som synes är överensstämmelsen vid påle K och L mellan den beräknade brottlasten och den erhållna brottlasten ganska god. Vid den oskarvade pålen G erhöles en brottlast på c:a 8 ton. Vid den skarvade pålen K erhöles en brottlast på c:a 29 ton. Teoretiskt skulle underpålen bära 19,7 ton och överpålen 10 ton, d v s tillhopa 29,7 ton. Om man från den erhållna brottlasten 29 ton drar bort överpålens verkliga brottlast - enligt påle G = 8 ton - blir således underpålen 21 ton (som nedan anges är påspetsens bärighet ringa varför den kan försummas), vilket är något mer än den beräknade brottlasten för underpålen 19,7 ton. Provbelastningsresultaten från pålarna K och L borde ha givit till resultat en något lägre brottbelastning än den beräknade, då pålarna G och H visar lägre brottlast än den beräknade. Resultaten har emellertid inte blivit så, men avvikelsen är icke stor. Vid påle M däremot, som är cylindrisk, har den verkliga brottlasten blivit lägre än den beräknade, vilket knappast var väntat vid jämförelse med försöket med påle E. Annars är det ganska klart att brottlasten för en skarvad påle bör bli mindre än summan av brottlasten för de olika pålarna slagna var för sig, då överpålen befinner sig i en lera, som blivit omörd icke blott av överpålen utan även utav underpålen vid dennas passage genom leran.

Dessa försök med pålarna A till M visar, att en påles brottlast i lera i hög grad är beroende på mantelytans jämnhet. Pålarnas koniska form har föga inverkan, under förutsättning att pålarna icke har klenare diameter uppåt än nedåt. Att en påle slagen med rotänden nedåt får mindre brottlast än den beräknade är ganska naturligt, då den grövre rotänden och mantelytan överhuvudtaget river upp ett större hål i leran än vad pålen fyller ut, och leran närmast pålen härav bör bli mera skadad med därav följande nedsättning av hållfastheten. Pålarna C, F och H har förvarats flytande i vatten under ca 1/2 månads tid före nedslagningen. De var sålunda våta - ehuru icke genomdränkta - vid nedslagningen. Detta synes inte ha haft någon märkbar inverkan på resp pålars bärighet.

Under åren 1947—1951 utförda pålprovningförsök vid Centralstationen i Göteborg

Första försöksserien. Pålar 1 - 10.

Försöken med påle 1 och 2 (Pl. 11 och 12), som utföres av betongpålar med tvärsektion ca 20 x 20 cm, visar att god överensstämmelse mellan den beräknade och den verkliga pållasten erhålles, när en tid av ca 3 månader förflutit från det pålen nedslagits. Av pålbelastningsdiagrammen framgår vidare, att pålens nedsjunkning för samma last minskar allt efter som pålens ålder ökar - ett förhållande som kan iakttagas vid de flesta av de utförda försöken.

Påle 2 har sedan försöken avslutats uppdragits och bl a har tjockleken av det lerlager, som haftat vid pålen mätts. För dessa undersökningar redogöres nedan.

Påle 3 är av betong och har x-format sektion, Fig 2 och Pl. 13. Vid en ålder på pålen över 3 år har en brottlast på 33 ton erhållits. Räkna man med brott i leran utmed den omskrivna kvadratens yta får man en brottlast på ca 29 ton, vilken last vid försöken erhållits efter en ålder på pålen av ca 1 månad. Räkna man med att brott sker efter betongsektionens x-formade mantelyta, vilket icke kan ske om inte vidhäftningen mellan betong och lera är avsevärt lägre än lerans skärhållfasthet, får man en beräknad brottlast på ca 35 ton. Den verkliga brottlasten (33 ton) överstiger emellertid den beräknade vid brott efter den omskrivna kvadratens yta (29 ton). Sannolikt har leran närmast pålen konsoliderats t ex genom vattenavgivning till betongens porer, så att leran närmast mantelytan fått större skär-

hållfasthet än före pålens nedslagning. Att så inte i samma omfattning inträffat vid påle 1 och 2 kan möjligen förklaras av att mantelytan vid påle 3 är relativt sett större genom den x-formade tvärsektionen och därigenom har möjligheterna för vattenabsorption i pålen ökats.

Påle 4 I balk NP 30 (Pl. 14). Räkna man med att brott sker utmed den omskrivna rektangelns yta får man en beräknad brottlast på 23,1 ton. Sker brott utefter stältytan blir den beräknade brottlasten 28 ton. Ännu efter 3 års ålder har brottbelastningen vid försöken icke uppgått till mer än 22 ton.

I Teknisk Tidskrift häfte nr 10 av den 22 oktober 1938 har författaren publicerat en artikel över resultat av några provbelastningar av i lera nedpressade järnrör, som utförts vid Göteborgs hamn. Dessa försök gav bland annat till resultat, att ett utvändigt slätt stålror svävande i lera har en brottlast som endast utgör ca 60 % av den beräknade brottlasten (fig 10 i artikeln). Därvid är att märka att tiden mellan rörens nedpressning och provbelastning vid dessa försök i allmänhet var ca 1 1/2 månad.

Resultatet av provbelastningarna på påle 4 visar en brottlast efter 29 dagar på 20 ton och efter mer än 3 år på 22 ton. Tänker man sig en brottyta utefter ett tvärsnitt av pålen, som utgöres av den omskrivna rektangeln, fås en brottyta mellan stål och lera utmed flänsarna och en brottyta i lera utmed långsidorna. Den största last, som kan beräknas bli överförd längs långsidorna, är 16,9 ton och längs flänsarna 7,0 ton (2 23,9 ton). Vid 29-dagars ålder erhöles en brottlast av 20 ton var till bör läggas balkens vikt 0,8 ton, d v s 20,8 ton. Om härifrån drages 16,9 ton överför sålunda flänsarna 3,9 ton, vilket är ca 56 % av beräknade 7,0 ton. Detta värde stämmer sålunda ganska bra med värdet 60 % ovan. Vid mer än 3 års ålder på pålen var brottlasten 22 + 0,8 = 22,8 ton och den överförda kraften på långsidorna antages fortfarande = 16,9 ton. Längs flänsarna överfördes då 5,9 ton, vilket utgör ca 84 % av beräknade 7,0 ton. Här har sålunda sannolikt en ökning av vidhäftningsförmågan mellan stål och lera ägt rum.

Sedan försöken avslutats har järnbalken dragits upp och därvid har på varje meter av pålen uppmätts, huru leran vid uppdragningen var fäst vid pålen. Detta har upprättats och framgår av Pl. 40 och fig 3. Även om den vidhäftande leran kan ha blivit skadad vid uppdragningen synes formen på den vidhäftande leran tyda på att brott skett efter en yta, som är ett mellanling mellan den omskrivna rektangelns yta och l-balkens yta. Brott sker efter den yta, som ger minsta brottlast. Brottytans form beror på till vilken grad leran återvunnit sin hållfasthet efter nedslagningen av pålen. Härvid kan även den jonvandring mellan stålet och leran, som sannolikt äger rum, ha viss inverkan.

Påle 5 utgöres utav en träpåle, vilken bekläts med tunn plåt runt hela sin mantelyta, fig 4 och Pl. 15. Plåten har icke svetsats ihop utan endast spikats fast vid mantelytan. Resultatet av provbelastningarna blev oväntat. Man hade väntat att få en brottlast, som skulle vara lägre än den beräknade brottlasten. Försöken har emellertid i stället visat, att brottlasten har blivit större än den beräknade värdet. Orsaken till detta resultat är icke lätt att finna. Då skarvarna i plåten ej är vattentäta kan en dränering av porvatten från leran genom pålen ha ägt rum (se nedan). Pålen har även genom plåtbeklädnaden fått en mycket jämn mantelyta (Fig 4), varigenom lerstrukturen närmast pålen blivit mindre störd. Detta ger emellertid knappast förklaring till varför brottlasten blivit större än den beräknade.

Påle 5 har liksom pålarna 2 och 4 uppdragits sedan försöken avslutats och för resultaten av dessa undersökningar redogöres nedan.

Påle 6 är en på samma sätt plåtbeklädd påle, men slagen med rotänden nedåt, fig 4 och Pl. 16. Den visar en bärighet, som är ungefär 2/3 av den beräknade, vilket stämmer med försöken med påle G och H.

Den erhållna brottlasten för pålarna 5 och 6 visar emellertid mindre tillväxthastighet än för liknande pålar utan plåtbeklädnad. (Jämför pålar C; D och 7 samt G; H och 8.)

Påle 7 och påle 8 är vanliga träpålar (Pl. 17 och 18). Pålen 7 är slagen med spetsen nedåt och pålen 8 med rotänden nedåt. Man finner vid påle 7 d v s en vanlig träpåle slagen med toppen nedåt en god överensstämmelse mellan beräknad och verklig brottlast. Vid påle 8 finner man samma förhållande, som vid de tidigare försöken med de skrädda pålarna G och H, att bär förmågan reduceras med ca 1/3, när pålen slås med rotänden nedåt.

De övre lerlagren i Göteborg är ännu icke färdigkonsoliderade. Markytan sjunker långsamt. För att få en uppfattning om hur denna sjunkning i de övre jordlagren sker, har en enkel anordning monterats intill platsen för dessa provpålar. Anordningen utgöres av ett antal rör med allt större diameter av olika längd och placerade inuti varandra. I mitten av det klenaste röret är ett 19 mm rundjärn nedfört. Av Pl. 41 framgår hur rören placerats och resultaten av de hittills utförda mätningarna. Under tiden 1952-1955 har markytan sjunkit 6 mm men sättningarna på 25 m djup är endast 3 mm. De uppmätta rörelserna är mätta med precisionsavvägning från en bergfix ca 400 m från platsen.

En lång påle nedslagen i leran får sålunda efter någon tid icke blott uppbära sin belastning på pålskallen - från en byggnad tex - utan får, genom att de övre lerlagren sammanpressas

och sjunker och därvid hänger upp sig på den övre delen av pålen, uppåra en del av vikten av dessa övre lerlager. Denna belastning blir ofta så stor, att pålens nedre del ej kan upp- bära densamma, utan pålen sjunker långsamt. Orsaken till pålens sjunkning är sålunda i viss mån sättningar i de övre lerlagren. Det ligger då nära till hands att studera, huru mantel- ytans form på en påle inverkar på en pålens vidhäftning i den omgivande leran. Genom att konstruera en skarvad påle så, att dess överpåle erhåller dålig vidhäftning med leran, skulle inverkan på pålen av en sättning i de övre lerlagren kunna minskas och därmed pålens sjunk- ning kunna reduceras.

Två pålar 9 och 10 Pl. 19 och 20 har i sin nedre ände försetts med en kloss, som har en tjocklek av 5 cm runt om pålen, fig 5 och 6. Klossens diameter blir sålunda 10 cm större än diametern på pålens nedre ände. Denna kloss borde under pålens nedslagnings riva sönder le- ran och på så sätt försämra pålens bärlighet. Försöken har emellertid icke givit ett sådant resultat. För påle 9 märks dock en skillnad i jämförelse med påle 7. Den beräknade brott- lasten av pålen är 23,5 ton under det att den uppnådda brotthastigheten efter fyra veckor är 18 ton. Men efter 3 års ålder har brotthastigheten stigit till 22 ton och det är all anledning att för- moda att denna kommer att uppnå den beräknade så småningom. Påle 10 med rotänden nedåt har en något större brotthastighet i jämförelse med påle 8, som icke försetts med kloss. Rotän- dens diameter är ganska stor och genom den påspikade klossen blir rotänden ännu grövre.

En sådan grov rotände som denna får en bärlighet, som icke kan försummas. Vid de försök, som författaren utförde med järnrör - se ovannämnda artikel i Teknisk Tidsskrift -, har på- visats, att spetsens bärlighet vid normala pålar är av underordnad betydelse. Spetsens bä- rlighet erhålls vid dessa försök i stort sett till 2 y h - fig 6 i artikeln - d v s till den dubbla vikten per ytenhet av ovanför liggande lera. Om man använder detta värde i föreliggande fall kommer man till att den påspikade klossen ökat pålens brotthastighet med något mer än 3 ton. Minskar man den erhållna brotthastigheten med dessa 3 ton kommer man till, att den verkliga brotthastigheten för påle 10, om den icke försetts med kloss, skulle blivit ca 2/3 av den beräk- nade, vilket stämmer med resultaten från provningarna av pålarna G; H och 8. Försöken med pålarna 9 och 10 visar sålunda, att anordningen med påspikade klossar icke nämnvärt ökat omrörningen av leran närmast pålen, utan endast vidgat utrymmet för pålen. Leran har se- dan långsamt av jordtrycket pressats mot pålens mantelyta utan att lerstrukturen ytterligare förstörts. Pålarna 27 och 28 Pl. 31 och 32 är också försedda med kloss (se nedan) och re- sultatet visar också där, att klossen inte synes ha haft nämnvärd inverkan. Skall man åstad- komma en effektiv omrörning av leran omkring en påle måste hela eller en större del av mantelytan göras skrovlig. Det är sålunda icke tillräckligt med endast en kloss i pålens nedre del. (Jämför pålarna A och B ovan.)

Man vet av erfarenhet att i Göteborg en byggnad, som står på svävande pålar, blir utsatt för sättningar, även om dessa sättningar icke blir så stora, som om byggnaden hade grund- lagts direkt på marken utan pållning. Pålarna under en sådan byggnad är i allmänhet icke be- lastade till brott. Man frågar sig då, vad orsaken är till dessa sättningar. En orsak är ovan- nämnda konsolidering av leran, men med en del utav de provpålar, som nyss beskrivits, har vissa försök utförts, som tyder på, att även andra orsaker finnes. Pålarna 1, 4, 7 och 8 har långsamt pressats ned i leran med viss hastighet och den härfor erforderliga kraften har uppmätts. Resultatet av dessa undersökningar framgår av Pl. 21-24. Före nedpressningen har pålarna provbelastats på vanligt sätt och efter nedpressningen har åter en provbelast- ning på samma sätt ägt rum. Påle 1, som är en betongpåle, har en konstaterad brotthastighet på 25 ton. Den har pressats ned med olika hastigheter som närmare framgår av Pl. 21. Efter en total nedpressning på närmare 1 m, under vilken den erforderliga kraften successivt sjunkit från 23 ton och ned till något över 16 ton, har pålen provbelastats och därvid visat sig ha en brotthastighet på endast 16 ton. Denna påle har således, genom den behandling den ut- satts för, störts i sitt förhållande till leran. Påle nr 4 d v s järnbalken NP 30 har provats på samma sätt och försöken har givit i stort sett samma resultat som vid påle nr 1 (Pl. 22).

Påle 7 är en vanlig tråpål. Den har totalt pressats ned ungefär 90 cm med hastigheter varie- rande från 0,25 mm per min till 1,0 mm per min (Pl. 23). Pålen hade före nedpressningen en brotthastighet på 21 ton. Under nedpressningen har använts en kraft av max ca 19 ton. Vid den lägsta hastigheten har endast ca 17 ton varit erforderligt. Omedelbart efter det att nedpress- ningen avslutats har pålen provbelastats igen och visat sig då fortfarande ha en brotthastighet på 21 ton. Pålen har sålunda icke störts i förhållande till den omgivande leran, utan är alltså intakt, trots att pålen, som ovan nämnts, nedpressats 90 cm i leran. Påle 8, som är en trä- påle men med rotänden nedåt, har däremot visat sig genom den motsvarande nedpressningen bliva så störd, att den avsevärt rubbats i förhållande till leran (Pl. 24).

Dessa försök är naturligtvis alldeles för få för att kunna säga någonting generellt, men de visar dock att bindningen mellan betong och järn i förhållande till lera är sprödare än mellan trä och lera. Påle 7 har ju visat sig kunna tåla en mycket kraftig nedpressning utan att rubbas.

Av resultaten från dessa nedpressningsförsök vill jag fästa uppmärksamheten på följande. För påle 1, 4 och 8 har den erforderliga nedpressningskraften i stort sett minskat när ned- pressningshastigheten ökat. Dessa pålar har genom nedpressningen "lossnat". Den omgi- vande leran har successivt blivit alltmera omrörd. För påle 7 är förhållandet i allmänhet det omvända, d v s ju större nedpressningshastighet desto större nedpressningskraft. Denna

påle har ej "lossnat". Leran förhåller sig här som en tjockflytande vätska. Påle 1 och 8 vi- sar utan undantag mindre kraft vid större hastighet. Påle 4 (1-balk) är mera oregebbunden i detta avseende. Här sker ju rörelser sannolikt till viss del i orörd lera, vilket kanske för- klarar detta förhållande.

När de använda nedpressningshastigheterna relativt sett mycket stora. En sättningshastig- het av 0,25 mm per min motsvarar en sättning per år av något mer än 130 m. Den behand- lingen, som pålarna utsatts för genom denna nedpressning, är sålunda ganska våldsam. I verkligheten torde sättningshastigheter på byggnader grundlagda på pålar i denna lera över- stigande någon dm per år vara sällsynta. Det torde därför vara ganska säkert, att de sätt- ningsrörelser som sker i praktiken, icke kan ge anledning till att sambandet mellan leran och pålen störes, även om pålarna skulle utgöras av betong eller stål. Försöket är emeller- tid ur andra synpunkter intressant. Det kan i denna lera varom här är fråga knappast vara tal om, att sättningarna är försakade av konsolidering av leran. Resultatet av pressnings- försöket med påle 7 ger anledning till förmodan, att de sättningar som sker i en byggnad grundlagd på svävande pålar till en del är ett plastiskt fenomen och visar att hänsyn till le- rans plastiska egenskaper även måste tagas vid studium av sättningsproblemen.

Andra försöksserien. Pålar 21, 22 och 23.

Erfarenheten visar, att vid pållningsarbeten med tråpålar det inte möter några olägenheter att använda färska pålar d v s pålar, som är direkt tagna från skogen och i vilka trävirket är ganska fuktigt. Försök med provbelastning av tråpålar i naturfuktigt tillstånd, d v s där virket har legat uppe någon tid i luft, innan pålen slagits ned, har tidigare utförts och därvid har man kunnat konstatera en ganska god överensstämmelse mellan beräknad brotthastighet och verklig brotthastighet. Tidigare omnämnda pålar C, F och H var våta men icke indränkta. Här erhöles inte någon skillnad i jämförelse med pålarna D, E och G. För att emellertid få när- mare kunskap om hur virkets fuktighet inverkar på en tråpålens brotthastighet, har utförts några försök med pålar (21, 22 och 23), som fullständigt indränkts med vatten. Dessa pålar har före nedslagningen helt impregnerats med färskt vatten i Göteborgs hamns impregneringsanlägg- ning. Pålarna har placerats i en tank, utsatts för vacuum och sedan för högt tryck med vat- ten. Pålarna hade tidigare naturlig fuktighet men var icke torra. Resultatet av dessa prov- ningar framgår av Pl. 25 och 26, pålar 21 och 22. Den beräknade brotthastigheten för dessa pålar är ca 22 ton. Redan innan två veckor förflutit efter nedslagningen har pålarna burit en brott- last, som överskrider den beräknade och efter 3 år har båda pålarna en brotthastighet på 26 till 27 ton, d v s brotthastigheten överstiger den beräknade med ca 20%.

Påle 23 utgöres av en skarvad påle, skarvad rot mot rot (Pl. 27). Dessa pålar har också vattenindränkts på samma sätt som påle 21 och 22. Den beräknade brotthastigheten är ca 40 ton. Trots av vad som tidigare framhållits och att de nedan följande försöksresultaten visar, att överpålen icke bär lika stor last som den beräknade, fick denna påle vid försöken en brott- last på 43 ton. Denna brotthastighet har erhållits redan innan pålen stått 2 veckor i jorden.*)

Påle 26 och 27 (Pl. 30 och 31) - varom mera nedan - utgöres av en ihålig kvadratisk påle till- verkad av fyra stycken 2" tråplankor. Omedelbart efter nedslagningen fylldes håligheten i pålens inre med grundvattnet. Trävirket blev sålunda mycket snabbt genomdränkt med vatten. Där uppträder samma fenomen. Den beräknade brotthastigheten var något mer än 43 ton, men den verkliga brotthastigheten har uppgått till över 50 ton.

De utförda försöken är ganska få, men försöken pekar tydligt i bestämd riktning. En tråpål av genomfuktigt virke får större bärlörmåga än en tråpål av naturfuktigt virke. Förklaringen härtill kan vara följande. En naturfuktig påle innehåller luft. I begränsningsytan mellan lera och luft uppstår ytspänningsfenomen o d i vattnet. Detta förhindrar eller fördröjer en drä- nering eller konsolidering av den runt pålen befintliga omrörda leran. När pålen är helt ge- nomdränkt med vatten uppstår icke detta fenomen. Vattengenomsyringen från leran till pålen går därför snabbare. Vid pållningen uppstår i leran närmast pålens mantelyta ett kraf- tigt övertryck. Detta övertryck är av relativt kort varaktighet. Vatten avledes härvid dels till pålen och dels till angränsande lera. Vid en påle, som innehåller luft, avledes mindre mängd vatten till pålen. Vid en helt vattenindränkt påle avledes vatten lättare genom pålen, varigenom en relativt mindre del av vattnet sprider sig i den omgivande leran. Den omrörda leran närmast pålen konsolideras härigenom kraftigare. Skärhållfastheten i denna omrörda leran rekonsolide- rade lera kan to m tänkas bliva större än i den övriga leran. Vid provbelastningen sker kanske brott i en yta utanför pålens mantel. Denna yta är större än pålens, varför bärligheten blir större än den beräknade, som ju är erhållen med utgångspunkt från pålens mantelyta.

I samband med de försök med järnrör, som utfördes av författaren i Göteborg och som tidi- gare omnämnts, utfördes ett prov med en gammal och torr påle, som i detta sammanhang kan ha sitt intresse.

Sedan ett av de provbelastade 2"-rören dragits upp, nedslags en 12 m lång torr tråpål 7" i topp på den plats, där 2"-röret varit placerat. Denna påle hade legat torrt i luft under flera år. Barken var avlägsnad och virket hade grå färg i ytan, som virke brukar få, när det legat länge i luft. Denna påle nedslags den 28.2.1938. Den beräknade brotthastigheten utgjorde 12 ton. Resultaten av provbelastningen framgår av följande tabell.

*) Påle 23 skarvades rot mot rot med fyra plattjärn fastsatta med genomgående bultar. Vid nedslagningen kom underpålen av någon anledning att lita. Överpålen placerades i lod. Härigenom fick skarven mellan pålarna en brytning. Vid senare provbelastningsförsök gick skarven sönder sannolikt på grund av denna brytning och överpålen trycktes ned vid sidan av underpålen. Därför kunde inga provbelastningsförsök av värde utföras senare än i månad efter nedslagningen.

Tid efter nedslagningen		Erhållen brottlast	
	ton	% av beräknad brottlast (12 ton)	
2 tim	7,5	62	
5 "	11	92	
9 "	13	108	
15	15	125	
1 dygn	17	142	
2 "	18	150	
3 "	18	150	
4 "	18	150	
5 "	18	150	
7 "	18	150	

Resultaten visar att pålens brottlast mycket snabbt ökade med tiden och att brottlasten avsevärt översteg den beräknade. Här har sålunda den omgivande leran avgivit vatten till pålen trots att denna var mycket torr och sålunda hade stort luftinnehåll. Förklaringen torde vara att pålens yta var mycket porös. Vatten från leran sögs av kapillärkraften in i pålen och bidrog till en snabb konsolidering av leran närmast pålen. Vid en påle med friskt virke sker en sådan vattenabsorption långsammare. Färskt virke som placeras i vatten flyter längre tid än gammalt virke.

Tredje försöksserien. Pål 24 och 25.

Påle 24 (Pl. 28) utgöres av en skarvad träpåle där överpålen nedslagits med spetsen nedåt. Påle 25 (Pl. 29) utgöres av en likadan påle men med överpålen slagen med rotänden nedåt. Dessa försök är utförda för att försöka utröna bärigheten hos överpålen vid en skarvad träpåle i jämförelse med en oskarvad påle. Skillnaden mellan den oskarvade pålen och den skarvade pålens överpål är ju den, att den skarvade pålens överpål är nedslagen i en lera, som tidigare omrörts av den nedslagna underpålen. Brottlasten för en skarvad påles överpål bör sålunda bli mindre än för en vanlig enkel påle. Vid påle 7, som bestod av en enkel träpål slagen med spetsen nedåt, befanns att överensstämmelsen mellan den beräknade brottlasten och den verkliga brottlasten var mycket god. Vid påle 24, som är en skarvad påle, har skarven utformats som en stälcyllinder, i vilken överpålen löst placerats. Sedan pålen slagits ned, har överpålen dragits upp ett litet stycke, så att den icke längre villar på underpålen. Påle 24 har sedan provats varvid först sålunda belastningen endast överfördes till överpålen. Därvid har en brottbelastning på 4 ton erhållits efter en ålder på pålen av 1 månad. Den teoretiska brottlasten på överpålen utgör ungefär 12 1/2 ton. Här har sålunda en kraftig reducering av bärförmågan inträffat. Sedan överpålen sålunda provats tillsammans pressats ned tills den träffat underpålen och sedan har såväl över- som underpålen tillsammans provats. Därvid har en brottbelastning på 28 ton erhållits. Underpålens brottlast har beräknats till ca 23 1/2 ton. Minskar man den totalt erhållna brottbelastningen 28 ton med överpålens verkliga brottlast 4 ton erhålles underpålens verkliga bärförmåga till 28-4 = 24 ton, vilket stämmer bra överens med den beräknade brottlasten hos underpålen. Sedan detta försök utförts har överpålen åter dragits upp ett litet stycke. När pålen haft en ålder på ca 3 månader har en ny provbelastning utförts. Av provbelastningsdiagrammet framgår, att brott inträffat i överpålen vid ungefär 6 tons belastning. Försöket har denna gång icke avbrutits, utan belastningen på pålen har successivt ökats, så att underpålen har börjat upptaga last. Brottlasten för den skarvade pålen har erhållits till 29 ton. Frändrages från 29 ton överpålens bärförmåga med 6 ton erhålles 23 ton vilket också stämmer väl med underpålens beräknade brottlast.

Påle 25 är utförd likadan som påle 24 med den skillnaden, att överpålen nu slagits med rotänden nedåt. Pålen är alltså skarvad med rotände mot rotände. Vid provningen en månad efter nedslagningen har en brottlast på överpålen på 8 ton erhållits. Nedpressningen av pålen synes emellertid vid detta försök ha drivits väl långt, varför den verkliga brottlasten torde varit omkring 6 ton. Brottlasten hos överpål och underpål tillhopa har vid följande försök erhållits till 25 ton, av vilka sålunda underpålen uppbär 19 ton. Den beräknade brottlasten på underpålen är något under 23 ton. Här stämmer sålunda försöksresultaten icke så bra som vid påle 24. Efter tre månaders ålder provades pålen ånyo. Överpålen befanns därvid ha en brottlast på ca 4 ton och överpål och underpål tillsammans hade en brottlast av 22 ton, d v s underpålen hade då en brottlast av 18 ton. Efter 6 månader har överpålen visat sig ha en brottlast av 3 ton och den skarvade pålens totala brottlast blev 24 ton, d v s underpålen bar nu 21 ton. Vid påle 8, som utgöres av en enkel oskarvad påle slagen med rotänden nedåt, kan den erhållna brottlasten sägas vara 60 % utav den beräknade brottlasten. Vid påle 25 är överpålens beräknade brottlast ca 13 ton och 60 % härav utgör 8 ton. Försöket vid 6 månaders ålder på pålen visar att överpålen endast hade en bärförmåga av 3 ton. Här framkommer inverkan utav omrörningen i leran på grund av att så väl underpålen som överpålen passerat genom den lera, som omsluter överpålen.

Enligt diagrammen från provbelastningarna på Pl. 28 och 29, har sättningarna på pålens överdel blivit ganska stora. Detta kan förklaras med, att lera trängt in i plåtcylindern i skarven och under belastningen successivt pressats ut varvid överpålens sjunkning blivit för stor. Sättningarna är därför med största sannolikhet för stora. Men de erhållna värdena på brottlasterna är tillförlitliga.

Vid påle 36 (se nedan Pl. 38), som utgöres av en skarvad påle har den beräknade brottlasten 50,7 ton blivit ungefär densamma som den verkliga (46 - 49 ton). Detta försök stämmer sålunda inte med försöket med pålarna 24 och 25. Vid påle 36 är emellertid överpålen av betydligt grövre dimensioner i förhållande till underpålen än vid pålarna 24 och 25, vilket delvis kan förklara de olika resultaten.

Fjärde försöksserien. Pål 26, 27, 28 och 29.

För att undersöka kraftöverföringen mellan en pålens mantelyta och den omgivande leran har försök med 4 st pålar utförts. Pålarna 26 och 27 består av 4 st hopspikade 2" träplankor, fig 7. I pålen finnes sålunda ett hålrum, vilket använts för nedsättande av olika måtanordningar. Påle 28 och 29 är skarvade på mitten och består av 2 hopsatta betonghalvor med u-sektion, så att även i dessa betongpålär erhålles ett hål i mitten för måtanordningarna, fig 9. De båda halvorna har sammanfogats med helt försänkta bultar. Pålarna är 20 m långa. Mätningarna av pålarnas vertikala rörelser har utförts på 5, 10, 15 resp 20 m djup under markytan. På dessa punkter har insatts dubbar, vid vilka fästs rundjärnsstänger $\varnothing$ 19 mm, som gått upp till markytan. Vid övre änden av vardera av dessa järnstänger har fastsatts en horisontell konsol. Rörelserna har mätts från yttre änden av dessa konsoler, fig 8. Det har emellertid under försökets gång visat sig, att pålen stundom får en liten krökning. Det kan nämligen med de försöksanordningar, som använts, icke undvikas, att lasten kan bli något excentrisk. Därigenom har de uppmätta rörelserna i vertikall förstorats eller förminskats, då rörelsen mätts på en från järnstängens i pålens inre utgående hävarm, och utrymmet i pålens hållighet varit så litet, att järnstängerna i stort sett följt pålens krökning. Försöksresultaten har därför i viss mån blivit felaktiga. Men i princip har emellertid försöket givit vissa resultat, varför det kan ha ett visst intresse att här redogöra för dem.

Påle 26 (Pl. 30) är utvändigt helt slät och påle 27 (Pl. 31) är på mitten försedd med en kloss av trä, som är 2" tjock. Avsikten med denna kloss var att studera om bärigheten på påle 27 skulle bli mindre än på påle 26, därigenom att leran ovanför klossen skulle bli mera omrörd. (Jämför försöken med pålar 9 och 10.) Försöken har emellertid visat, att pålarnas bärighet är ungefär densamma. Klossen har sålunda inte gjort någon sådan inverkan.

Man lägger märke till att pålarnas 26 och 27 brottlast är större än den beräknade. Detta har tidigare berörts under andra försöksserien.

Vid några av belastningsproven på påle 27 har försöket avbrutits innan brott uppnåtts. Detta har skett, på grund av att fästet mellan stagen från domkraften och dragpålarna börjat giva efter. Försöket med pålarna 26 och 27 slog i allmänhet ganska väl ut. Man ser av försöksresultaten, att pålspetsen 20 m ner i markytan under försökets gång icke får någon vertikalförörelse förrän ungefär halva brottlasten pålagts. Detta förhållande har tidigare påvisats vid försöken med järnrör i författarens ovannämnda artikel i Teknisk Tidskrift av år 1938. När försöket avslutats och en viss tid efter det belastningen borttagits borde samtliga mätpunkter åter mötas i en punkt. Vid det första försöket, som ägde rum, när pålen var en månad gammal, är spridningen efter uppfjädringen ganska stor. I de följande försöken är emellertid förhållandena bättre i detta avseende. Detta beror sannolikt på att de skarvar, som finnes i pålen (varje plankor är skarvad för sig med stum anliggning), under detta försök klämtas ihop och därför förorsakat vissa permanenta skillnader i de olika mätpunkternas vertikallägen. (Detta förhållande kan även iakttagas vid pålarna 28 och 29.) Den spridning, som trots allt kvarstår även efter försöken, när pålen uppnått högre ålder, tyder dock på vissa kvarstående krafter mellan träpålen och den omgivande leran. Detta är ju rätt naturligt, när pålen efter belastningens borttagande försöker förlänga sig. Studerar man hur pålens nederände rört sig under belastningsförsöket finner man att nederändan något höjer sig i början av varje försök. Detta framträder mycket svagt på de provbelastningsdiagram, som utfördes när pålen var relativt ung, men vid de försök, när pålen uppnått 1/2 års ålder eller mera framträder detta förhållande tydligare. Särskilt vid påle 27 vid den provbelastning, som utfördes vid 1 års ålder, framträder nederändans höjning ganska markerat. Detta förhållande är sannolikt inte riktigt, utan torde bero på att de mätpålär, varifrån rörelserna mätts, sjunkit allteftersom provpålens belastning ökat. (Mera därom nedan.)

Påle 28 och 29 (Pl. 32 och 33) är liknande pålar som påle 26 och 27, men utförda av betong, fig 9. Påle 28 har en kloss på mitten gjord av 15 mm tjock plåt, se fig 10. Av provningsresultaten finner man att den beräknade brottlasten 41 ton aldrig uppnåtts vid provbelastningarna, även vid provningar utförda över 2 år efter det pålen nedslagits. Någon skillnad i bärighet mellan påle 28 och 29 kan man icke finna. Den plåtkloss, som placerats mitt på påle 28, synes icke heller här ha gjort någon nämnvärd inverkan. Det visade sig under provbelastningarna av dessa pålar vara mycket svårt att få belastningen centrisk. Pålen förflyttade sig därför något i sidled, varvid mätresultaten blev felaktiga, vilket ovan berörts. Därav följer att på vissa diagram mätningarna vid nederändan 20 m under markytan visat större sjunkning än vid t ex 15 m djup, vilket ju inte kan vara riktigt. De relativt primitiva anordningar, som använts vid dessa försök har icke varit tillfyllest. Man får emellertid en bild av förhållandena och finner även här, att pålspetsen icke nämnvärt börjar reagera för belastningen, förrän denna uppgått till icke oväsentlig storlek.

Den skenbara höjning av underändan, som uppmätts vid pålarna 26 och 27 kan även här observeras vid några av försöken.

Då tidigare veterligen icke försök gjorts med pålär med flera skarvar och då undersökningarna utfördes för en byggnad, som sannolikt skulle komma att uppföras på sådana pålär, har även försök utförts med några pålär bestående av 4 och 5 stycken olika pålär på varandra. Påle 38 (Pl. 34) utgöres av 4 stycken träpålär skarvade rot vid rot och topp vid topp med en total pållängd i lera av 44,6 m. Pålens beräknade brottlast är 136 ton, av vilka underpålens beräknades bära något mer än 72 ton. Vid det första provbelastningsförsöket, som utfördes 34 dagar efter pålens nedslagning erhöles en brottbelastning på 75 ton. Vid de följande försöken har pålen icke pressats till brott, då man därigenom kunde riskera dels att påkänningen i träet skulle bli så stor i pålens överdel, att brott i träet kunde befaras, dels att dragpålarna skulle giva efter. En träpåle uppnår i allmänhet sin maximibrottlast redan 3-4 veckor efter nedslagningen. Här är fråga om en exceptionellt lång påle, varför man möjligen kan tänka sig en något långsammare tillväxthastighet, därigenom att mellan- och överpålarna så småningom kan uppbära större last. Man kan därför beräkna, att hela pålens verkliga brottlast två år efter nedslagningen uppgår till 90-95 ton, vilket även förefaller troligt om provbelastningskurvorna förlänges. Då underpålens beräknade brottlast är ca 72 ton skulle de övriga 3 överpålarna tillsammans endast uppbära omkring 18-23 ton.

Påle 39 (Pl. 35) består av 5 stycken pålär på varandra - skarvade rot mot topp - med en total längd i lera av 53,75 m. Avsikten med en så lång påle var även att undersöka, om det mötte några svårigheter att slå ned densamma. Det visade sig vid nedslagningen att slagarbetet per m påle i stort sett inte blev större genom pålens ökade längd. Några svårigheter att slå ned en sådan påle i lera av denna typ föreligger sålunda icke. Av resultatet från provbelastningen en månad efter slagningen av påle 39 kan man uppskatta brottlasten till 85-90 ton. Den beräknade brottlasten är 175 ton, till vilket underpålen bidrar med ca 74 ton. Av samma skäl som vid påle 38 har icke pålen pressats till brott. Man torde emellertid kunna på samma sätt antaga att brottlasten två år efter nedslagningen icke gärna kan vara högre än 100 à 105 ton. Då underpålens brottlast beräknas till 74 ton betyder det, att de ovanför belägna fyra pålärna na tillhoppa icke skulle bära mer än ungefär 25-30 ton. Dessa försök tillsammans med de tidigare omnämnda vid skarvade pålär visar ganska tydligt att överpålarnas bärlighet är relativt liten.

Sjätte försöksserien. Pålär 41 och 42.

Försöken med de i början av denna redogörelse omnämnda pålärna A-M visar att mantel-tytans släthet hos en påle spelar stor roll för en påles bärlighet. Den som studerat hur en träpåle beter sig vid nedslagningen i lös lera har kanske märkt att, om pålen inte är alldeles rak, pålen flyttar sig i sidled vid nedslagningen. Sådana förflyttningar kan bli ganska avsevärda särskilt vid skarvade pålär och det måste ju föra med sig en ganska våldsam omrörning av den omkring pålen belägna leran. En påles raket bör därför även ha betydelse. För att studera detta har försök med påle 41 och 42 utförts. Enligt väg- och vattenbyggnadsstyrelsens bestämmelser i Sverige må en påles mittlinje mellan två godtyckligt valda mätpunkter avvika från rätta linjen högst 1/100 av längden mellan mätpunkterna. Samtliga de pålär, för vilka tidigare här har redogjorts, har utgjorts av utvalt raka pålär. De kan betraktas som praktiskt taget absolut raka.

Påle 41 utgöres av en skarvad träpåle med 2 skarvar, underpåle, mellanpåle och överpåle med en total längd i lera av 39,48 m (Pl. 36). Underpålen i påle 41 som är 19,8 m lång avviker endast 10 cm från rätta linjen mellan pålspets och rot. Den är sålunda fullt godtagbar enligt de bestämmelser, som för närvarande finnes. Mellanpålen är också av liknande raket. Påle 41 har en beräknad brottlast av ca 117 ton varav underpålen beräknas bära 72 ton. Vid provbelastningarna har den uppburit högst 50 ton. Här har tydligen, då pålärna icke varit raka, leran omrörts i så hög grad vid nedslagningen, att lerans skärhållfästhet icke återvunnits.

Vid påle 42, som utgöres av en liknande påle som påle 41 med en total längd av 39,78 m i lera, är pålarnas krokighet något större (Pl. 37). Underpålen avviker sålunda högst 15 cm ifrån centrumlinjen mellan topp och rot. Även denna påle uppfyller nuvarande bestämmelser på raket. Den beräknade brottlasten är här för hela pålen ca 122 ton varav för underpålen ca 74 ton. Den provbelastning, som utfördes 1 månad efter nedslagningen, visade en brottlast på 51 ton, men vid de följande provbelastningarna uppnåddes aldrig detta värde. Brott skedde 2 år efter pålens nedslagning till och med redan vid 31 ton. Ju äldre pålen varit desto lägre brottlast har erhölets. Förklaringen till att så ej skett är svår att finna. Det är föga sannolikt att någon utböjning eller knäckning av pålärna ägt rum. Möjligen kan skarvarna ha blivit försvagade genom torsion i de olika påldelarna. Om underpålen är krökt åt ett håll och mellanpålen åt ett annat kan en vridning tänkas äga rum, som skadar skarven. Denna skada bör dock huvudsakligen ha inträffat vid slagningen och ej vid provningen, varför den lägre brottlasten vid högre ålder ej helt kan förklaras med detta.

Båda pålärna 41 och 42 visar större vertikalarbörelser för samma last ju högre ålder de har.

Resultaten av provningarna av påle 41 och 42 visar tydligt nödvändigheten av att skarvade pålär är raka. Väg- och vattenbyggnadsstyrelsens krav på raket är vad beträffar skarvade

svävande pålär icke tillfyllest. Att man vid provbelastningar ofta erhåller så olika resultat beror sannolikt till stor del på, att man icke beaktat inverkan av pålarnas krokighet.

Sjunde försöksserien. Pålär 30-36

Försök har utförts med en pålgrupp bestående av sex pålär 30-35 slagna i hörnen på en reoljär sexhörning med 1,5 m sida. I sexhörningens mitt har en sjunde påle 36 nedslagits. Pålärna 30-35 har ingjutits i en betongplatta 4 x 5 x 0,5 m, fig 11. Påle 36 är icke ingjuten i plattan utan står fritt i ett håll i betongplattans mitt. Pålärna 30-35 är praktiskt taget av samma dimensioner, skarvade med en skarv och med över- och underpåle vardera av 15 m längd. Påle 36 har något grövre överpåle men är i övrigt av samma längd som de övriga.

Vid provbelastning av påle 36 fästes dragstagen från domkraften i betongplattan.

Avsikten med dessa försök var i första hand att undersöka, om bärligheten av påle 36 förändrades, då de omkringliggande pålärna var eller varit belastade.

Detta mycket intressanta försök misslyckades emellertid delvis, på grund av ett förhållande, som tyvärr icke förutsågs. På platsen för försöken består markytan överst av ca 2 m grusfyllning varunder lera vidtager. För att förhindra att provningsresultaten förrycktes genom friktionskrafter mellan grusfyllningen och pålen placerades varje provpåle i en trätrumma, som gick ned runt om pålen genom grusfyllningen, så att pålen stod fritt från lerans överyta och upp till markytan. Så gjordes icke vid dessa pålär 30-36, då man ville ha god sidostabilitet. I gränsskiktet mellan leran och gruset framträdde emellertid på denna plats grundvattnen. Genom grusfyllningen bibehölls en större fuktighet i pålen ovanför grundvattnenytan, vilket gjorde att pålärna i gränsen mellan leran och grusfyllningen utsattes för mycket kraftiga rötangrepp, varför pålärna 30-36 redan något mer än 1 år efter nedslagningen blivit så angripna av röta, att hela belastningsanordningen med betongplatta och ovanpåliggande räls kollapsade. Betongplattan som vägde 25 ton var vid detta tillfälle belastad med 90 ton räls, fig 12. Pålärna 30-35 hade då en belastning på ca 19 ton vardera. Några provbelastningar hade emellertid hunnit utföras före olyckan. Resultatet från dessa provbelastningar av påle 36 mitt i pålgruppen framlägges här då dessa kan ha ett visst intresse (Pl. 38).

De periferer pålärna 30-35 uppbar först endast betongplattans vikt och hade då en belastning av ca 4 ton/st. Den första provbelastningen skedde 1 månad och 8 dagar efter slagningen och resultatet framgår av kurva I på Pl. 38. Försöket avbröts vid en belastning av 42 ton, för att icke få för stor dragning i de periferer pålärnas skarvar. Nästa försök utfördes 16 dagar senare, när de periferer pålärna före försöket hade en last av vardera 7,5 ton (kurva II). Ett tredje provbelastningsförsök utfördes 3 mån och 12 dagar efter nedslagningen, när de periferer pålärna varit belastade med vardera 19 ton under 1 månads tid. (Kurva III.) Det utfördes även provbelastningar senare. Dessa visar emellertid avsevärt större sjunkningar och även mindre brottlast, varför det är sannolikt att deformationer i det ruttnande virket inverkat. De har därför ej redovisats här. Under hela tiden efter betongplattans gjutning följdes de periferer pålärnas sättningsrörelser. Dessa rörelser (icke här redovisade) visar en jämnt avtagande rörelse, som i juni 1949, alltså ungefär ett år efter slagningen, börjar öka. (Pålärna krossades omkring månadsskiftet augusti-september 1949.) Vissa rötangrepp började väl under sommaren 1948, men det var sannolikt först under våren och sommaren 1949, då lufttemperaturen var högre, som rötangreppen tog fart och i juni 1949 var angreppen tydligen så stora, att för en belastning av 19 ton flytningar inträffade i trävirket. Det är därför högst osannolikt att några nämnvärda rötangrepp kan ha uppstått under de närmaste tre månaderna efter pålarnas nedslagning. Kurvorna I, II och III från de först utförda försöken torde därför vara riktiga. Man ser att vertikalarbörelserna blir större, när de periferer pålärna belastats en längre tid. Detta synes bekräfta upptäckningen, att en plint får större sättningar än en enstaka påle, om samtliga pålär har samma belastning.

Dragförsök på pålärna 2, 4 och 5

I samband med uppröjningsarbetena på platsen, sedan provbelastningsförsöken avslutats, har några undersökningar utförts.

Pålärna 2, 4 och 5 har dragits upp. Den erforderliga uppdragningskraften för att lossa pålen och tjockleken av det lerlager, som varit häftat vid pålens mantelyta efter det att pålen dragits upp har uppmätts.

Den brottyta, som uppstår vid brottbelastning av en påle ilera ligger i allmänhet något utanför pålens mantelyta. Vid uppdragning av pålen avskrapas sannolikt en del av den lera, som ligger innanför denna brottyta. Ett studium av huru mycket lera, som häftar vid pålen vid uppdragningen, ger dock en viss uppfattning om var brottytan ligger. Resultatet av de utförda mätningarna framgår av Pl. 39 och 40. Vid påle 2 (betongpåle) är det vidhäftade lerlagrets tjocklek i medeltal 3,4 mm och vid påle 5 (plåtbeklädd träpåle) 3,7 mm. Den vidhäftande leran vid påle 4 (I-balk) har uppritats på varje meter av pålen och har ovan beskrivits i samband med redogörelsen för resultaten av provbelastningarna.

Påle 2. Pålen är uppdragen 4 år och en månad efter nedslagningen. Vid provtryckningen 3 år 1 månad och 18 dagar efter nedslagningen erhöles en brottlast på 24 ton (Pl. 12). Ökas denna last med pålens egen vikt 1,6 ton fås sålunda den last som pålen uppbar = 25,6 ton. Den verkliga dragkraften har vid dragförsöket uppmätts till 24 ton. Härifrån bör avdragas pålens vikt 1,6 ton. Dessutom bör man antaga att vakuum råder vid uppdragningen under pålspetsen. Ytterligare avdrag med ca 0,4 ton bör därför göras. Den vid dragförsöket erhållna kohe-sionskraften i mantelytan blir då 24 - 1,6 - 0,4 = 22 ton. Pålspetsens bärlighet skulle sålunda vara 3,6 ton, ett värde som synes väl högt och måste vara osäkert då såväl drag- som tryck-kraftens värde kan ha rätt stora felmarginaler. Kraften avläses på manometer och ett fel på 0,5 - 1 ton är icke uteslutet.

Påle 4. Pålen är uppdragen 4 år 1 månad och 15 dagar efter nedslagningen. Vid provtryck-ningen 3 år 1 månad och 17 dagar efter nedslagningen erhöles en brottlast på 22 ton, som bör ökas med pålens egen vikt = 0,8 ton. Summa 22,8 ton. Dragkraften har vid försöket upp-mätts till 24 ton eller efter avdrag av pålens egen vikt = 23,2 ton. Den mothållande kraft, som kan beräknas uppstå vid pålspetsen på grund av vakuum, kan uppskattas till ca 0,2 ton. Återstår 23,0 ton, vilket är praktiskt taget samma värde som erhöles vid provtryckningen (22,8 ton). Detta pekar på att spetsen praktiskt taget icke bär något alls, vilket är rätt na-turligt, då det är fråga om en I-balk och pålspetsens yta är liten.

Påle 5. Pålen är uppdragen efter 4 år 1 månad och 12 dagar. Vid provtryckningen 3 år 2 månader och 17 dagar efter nedslagningen erhöles en brottlast på 33 ton. Pålen som är av trä men plåtbeklädd har slagits med toppen nedåt. Den dragkraft som erfordrades vid upp-dragningen uppgick till endast ca 20 ton. Det kan synas som om pålens koniska form här skulle ha spelat roll. Dragkraften 20 ton är i stort sett 2/3 av tryckbrottlasten, vilket är samma resultat, som erhöles vid provtryckning av en träpåle slagen med rotänden nedåt.

Detta resultat stämmer emellertid icke med erfarenheter från tidigare utförda dragförsök på träpålar. Man har i allmänhet funnit att den erforderliga dragbrottkraften i stort sett blir densamma som tryckbrottlasten.

Vid uppdragningen av påle 5 kapades pålen allteftersom den drogs upp. Därvid gjordes den iakttagelsen, att träverket i pålen var fullständigt genomblött. (När pålen kapades uppstod fritt vatten i snittytan.) Pålen var vid nedslagningen naturligt torr. Detta är en iakttagelse som bekräftar att det försiggått en vattenabsorption i pålen sannolikt från den omgivande leran, trots att pålen varit plåtbeklädd. Skarvarna i plåten, som inte var vattentäta, har uppenbarligen släppt igenom vatten. Avståndet mellan de horisontella skarvarna var 1 m.

Mätning av närbelägna pålars vertikala rörelser under några provbelastningsförsök

Den vertikala lasten har vid samtliga provningar erhöles genom mothåll i fyra stycken dragpålar. Dragpålarne är placerade i hörnen på en kvadrat med ca 2 m sida. Provpålen är placerad i diagonalernas skärningspunkt. Det är ofrånkomligt, att vissa rörelser i leran måste uppstå, när en påle utsättes för en belastning. För att undersöka detta gjordes i sam-band med provbelastning av påle 26 och 27 vissa mätningar av rörelser på närbelägna på-lar.

Man finner av resultatet från dessa mätningar (ej här redovisade) att rörelser sker på rela-tivt stort avstånd från den belastade pålen. Rörelserna är oregelbundna men relativt obetyd-liga. Deras absoluta storlek och riktning är osäker, då rörelserna icke mäts från någon fast punkt utan i förhållande till andra pålar, som i sin tur sannolikt också rört sig. Den största relativa rörelse, som uppmätts på 3 m avstånd från påle 26 och 27, har varit 1 mm, när pålarna 26 och 27 belastats med 39 resp 45 ton (de sista provningarna på Pl. 30 och 31).

De rörelser, som uppmätts i samtliga i denna redogörelse omnämnda försök, har mätts från särskilda mätpålar belägna på sådant avstånd (2 & 3 m) från provpålen, att vissa rörel-ser i mätpålarne måste ha uppstått. De uppmätta rörelserna är sålunda ej fullt korrekt, men detta har inte större betydelse vid jämförelse mellan de olika resultaten, då mätpålarne rörelser är relativt små.

Jämförelse mellan skarvade pålars beräknade och verkliga brottlast, när lerans skärhåll-fästhet bestämts med kon och vingborr

Resultatet av de ovannämnda försöken med vingborr som Statens geotekniska institut utfört på samma plats som pålprovningarna framgår av Pl. 2 och 3, på vilka även resultaten av konproven inritats. Som synes erhåller man på de större djupen högre värden på lerans skärhållfasthet med vingborren än med konmetoden.

Vad först skärhållfastheten bestämd enligt konmetoden beträffar erinras om att kurvan över sambandet mellan relativ hållfasthetstal H₃ och skärhållfasthet (Pl. 5) bestämts med ledning av erfarenheter från ett flertal skred och försök (t ex provpållningar). De flesta av dessa skred och försök har i allmänhet ägt rum i de övre lerlagren, där skärhållfastheten är låg-re, har man således större och fullständigare material vid lägre värden på skärhållfastheten än vid högre värden. Kurvan över sambandet mellan H₃ och τ är således osäkrare för de

högre värdena på skärhållfastheten. Vingborret å andra sidan utgöres av en liten fyrbladig vinge, som långsamt vrides runt i leran. Det är ofrånkomligt att vissa plastiska deforma-tioner sker i leran närmast vingen, innan brott inträffar. Härför erfordras ett arbete, vilket ger sig tillkänna genom för höga värden på skärhållfastheten. Om man t ex i en asfalt, upp-värmd till vätskekonsistens skulle nedföra en sådan vinge och vrida den runt skulle man finna, att härför erfordras ett vridande moment, vilket alltså skulle betyda, att asfalten trots sin vätskekonsistens skulle ha "skärhållfasthet". Viskositeten i vätskan inverkar. Leran måste i vissa fall betraktas som en vätska, med mycket hög viskositet. Resultatet av nedpress-ningen av påle 7 visar detta.

De försök, som utförts med träpålar, visar att vid oskarvade pålar erhöles en god överens-stämmelse mellan beräknad och verklig brottlast med användande av de värden på skärhåll-fastheten, som konmetoden ger. Med användande av vingborrens skärhållfasthetsvärden blir den beräknade brottlasten större, men avvikelserna är inte så stora, att man därav med be-stämthet kan dra slutsatsen, att vingborrens värden är för höga.

Försöken med skarvade pålar pekar emellertid mera bestämt på att vingborrens värden på större djup är för höga.

Pålarna 38 och 39 har nedslagits i närheten av den plats där vingborrundersökningen utförts.

Följande tabell visar en jämförelse mellan underpålens beräknade brottlast enligt konmetoden och enl vingborret samt verklig brottlast för dessa pålar.

Påle nr	Underpålens beräknade brottlast enl konmetoden	enl vingborr-resultaten	Pålens verkliga brottlast (uppskattad)
38	72,9	107	90 - 95
39	73,8	118	100 - 105

Pålarnas verkliga brottlast är visserligen uppskattad, men även om brottlasten uppskattats för lågt, kan man dock med ledning av de utförda försöken knappast komma till en så stor brottlast på hela pålen, som motsvaras av enbart underpålens brottlast, beräknad på grund-val av vingborrundersökningarnas resultat.

Visar vingborren riktig skärhållfasthet på större djup, är det svårt att förklara varför - vid användande av resultaten från vingborren - överensstämmelsen mellan beräknad och verklig brottlast för en oskarvad påle är relativt god i de högre lerlagren, men för en skarvad påle är betydligt sämre i de djupare liggande lerlagren.

Detta förhållande gör, att man tills vidare synes böra iakttaga en viss försiktighet, när man använder skärhållfasthetsvärden erhållna från vingborrundersökningar på större djup.

I varje fall bör man icke använda vingborresultaten vid beräkning av en skarvad påles bärlig-het.

Resultaten sprider ett visst ljus över de förhållanden, som inverkar på en i lera svävande påles bärlighet. De utförda försöken är emellertid för få, för att giva säker kännedom om förhållandena. Man får därför icke draga för säkra slutsatser av försöksresultaten, men de resultat som uppnåtts synes giva värdefulla impulser för fortsatt forskning inom detta om-råde.

Bl a skulle det vara av intresse att jämföra långa och korta betongpålars bärlighet. Det före-faller som om en lång betongpåle får mindre specifik bärlighet än en kort betongpåle, san o-lik beroende på att leran vid pålens övre del vid nedslagningen blivit mera omrörd vid den långa pålen än vid den korta. En lång betongpåle skulle - om denna förmodan är riktig - även då få mindre sättningar, när leran konsolideras i de övre lerlagren.

Det vore av intresse att samtidigt undersöka om en betongpåle får större bärlighet, när be-tongen är porös, d v s icke vattentät. Resultatet av vissa av ovan beskrivna försök visar, att en i lera nedslagen påle under den närmaste tiden efter nedslagningen tjänstgör som en vertikal drän. Det är därför sannolikt att en porös betongpåle får större bärlighet än en påle av vattentät betong.

Man kan då tänka sig skarvade betongpålar med underpålar eventuellt utformade med rör-sektion och av vattengenomsläpplig betong och överpålen massiv av vattentät betong - even-tuellt asfaltstruken - med skrovlig mantelyta. Det är anledning förmoda, att en sådan skar-vad betongpåle får en bärlighet som är så hög, att betongmaterialets hållfasthet kan utnyttjas och antagas bli ganska oberoende av sättningarna i de övre lerlagren.

load action during a relatively long period. This appears to confirm the theory that the settlements of a pile group are larger than those of a single pile if all piles have to carry equal loads. The tests in this series were made within about 3 months of the sinking of the pile group. It is scarcely probable that the timber has been attacked by rot to any appreciable extent during this short period. Therefore, these test results may be taken to be correct.

Pulling Tests on Piles Nos. 2, 4, and 5, Plates 39 and 40.

These tests consisted in pulling out Piles Nos. 2, 4, and 5 in measuring the requisite pulling force. The thickness of the clay layer which adhered to the lateral surface of the clay layer which adhered to the lateral surface of the pile when it was pulled out was also measured. The results of the pulling tests show that the bearing capacity is as a rule so small as to be negligible. The thickness of the clay adhering to the pile is shown in Plates 39 and 40 as well as in Fig. 3, which give an approximate idea of the location of the fracture surface formed when the pile is tested to failure.

Comparison between Calculated and Actual Ultimate Loads of Jointed Piles on the Assumption That the Shearing Strength of Clay Is Determined by Means of the Swedish Cone Method and with Vane Borer.

If we consider the results of the loading tests on Piles Nos. 38 and 39, see Plates 34 and 35, and if we calculate the load-bearing capacity of the underpile, first, by means of the Swedish cone method and, second, from the results obtained by the aid of a vane borer, then we find that the ultimate load of the underpile alone calculated from the results of vane borer tests is greater than the actual ultimate load of the whole jointed pile. This indicates that the shearing strength observed at relatively great depths by means of the vane borer is probably too high. Therefore, the results of vane borer tests should not be used for calculating the load-carrying capacity of jointed piles.

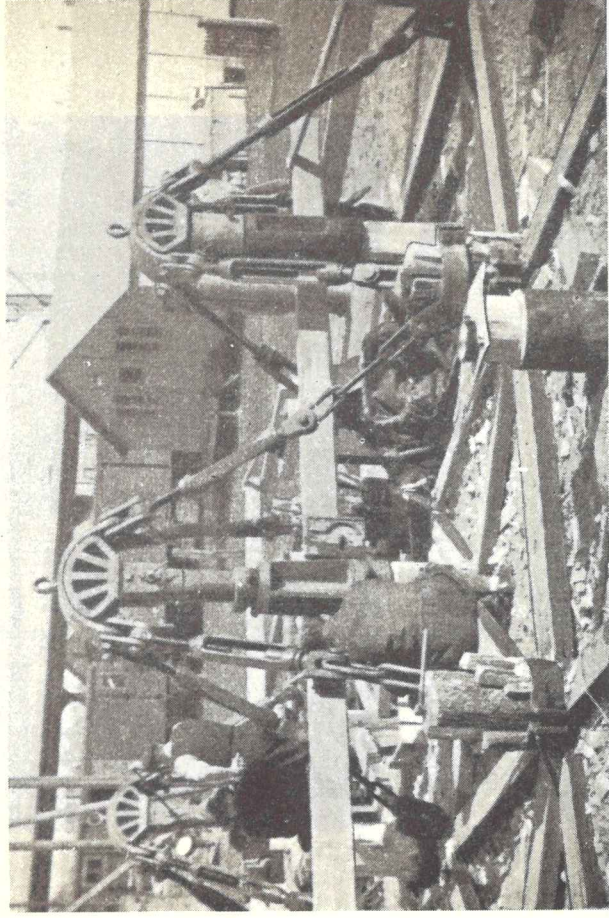


Fig. 1. Three hydraulic jacks in operation.

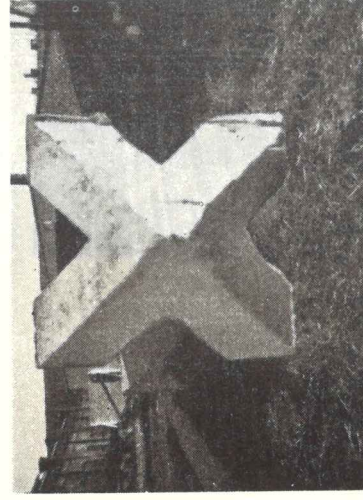


Fig. 2. The tip of Pile No. 3 before driving.

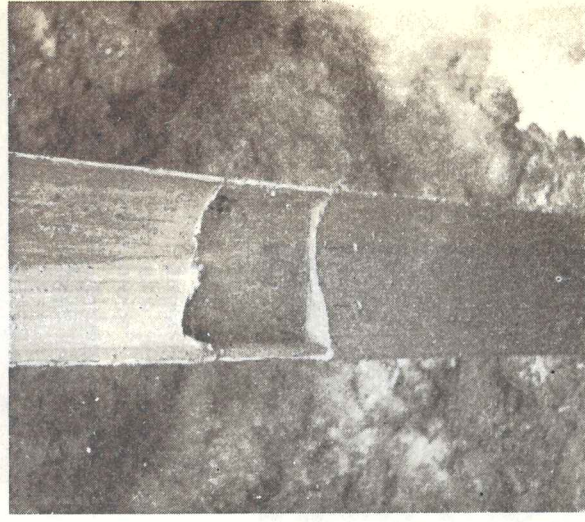


Fig. 3. Pile No. 4 during pulling out. Note the clay adhering to the girder.

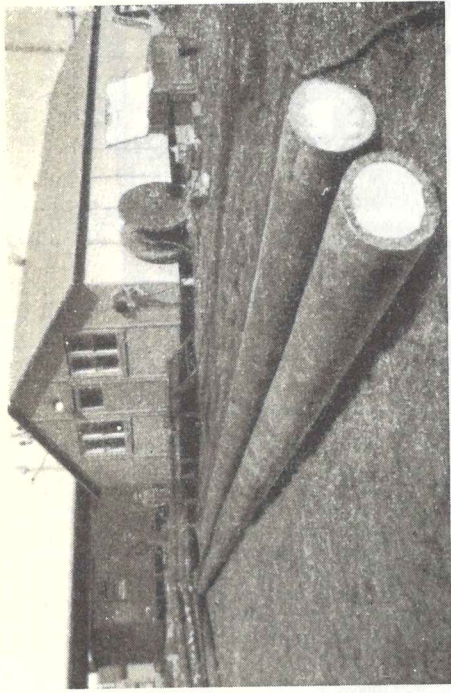


Fig. 4. Piles Nos. 5 and 6 before driving. Sheet-iron-cased piles.

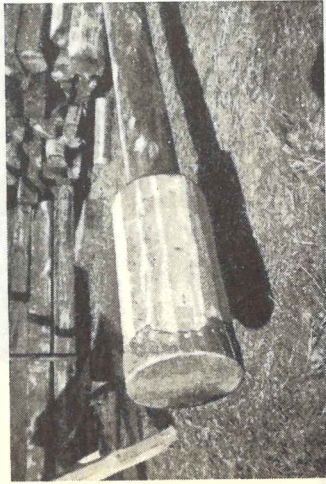


Fig. 5. Pile No. 9 before driving. The tip of the pile is capped with a wooden block.

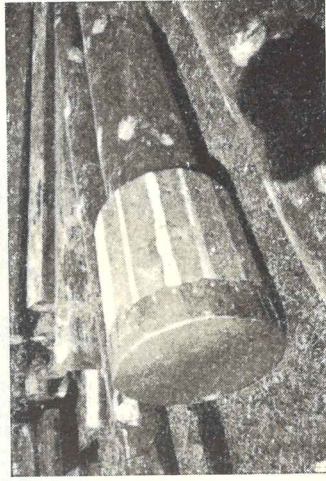


Fig. 6. Pile No. 10 before driving. The butt of the pile is capped with a wooden block.

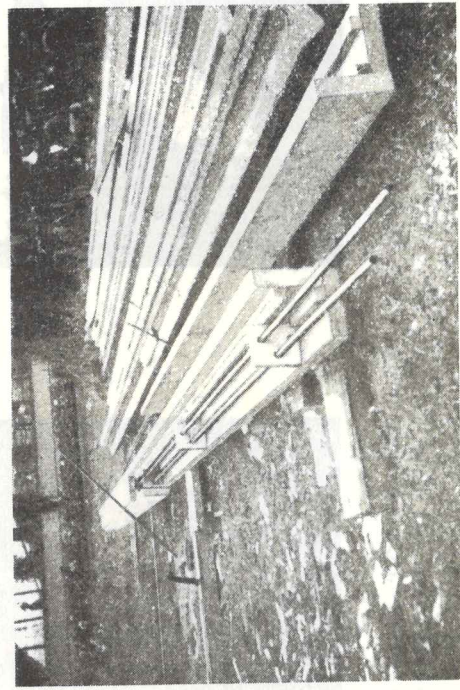


Fig. 7. Assembly of pile No. 26. The round iron bars at the centre of the pile were used for measuring the vertical deformations of the pile below the ground level.

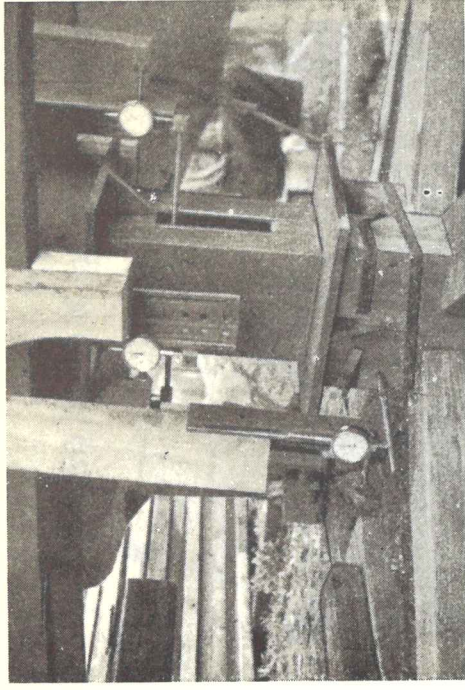


Fig. 8. Pile No. 26. Measuring devices used on the surface of the ground during a loading test.

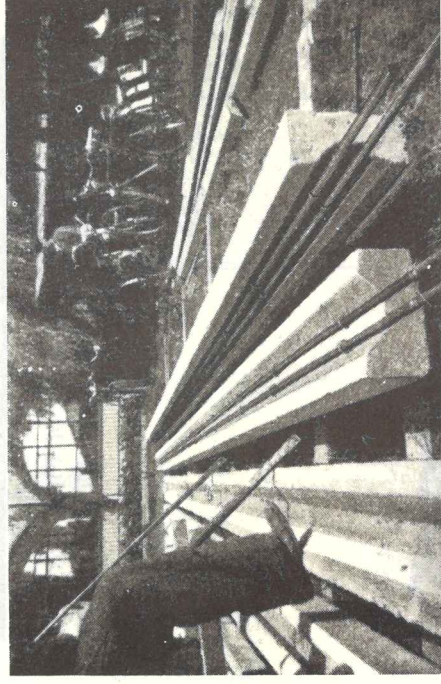


Fig. 9. Assembly of pile No. 28. The round iron bars at the centre of the pile were used for measuring the vertical deformations of the pile below the ground level.

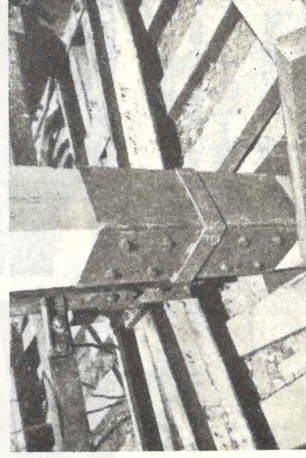
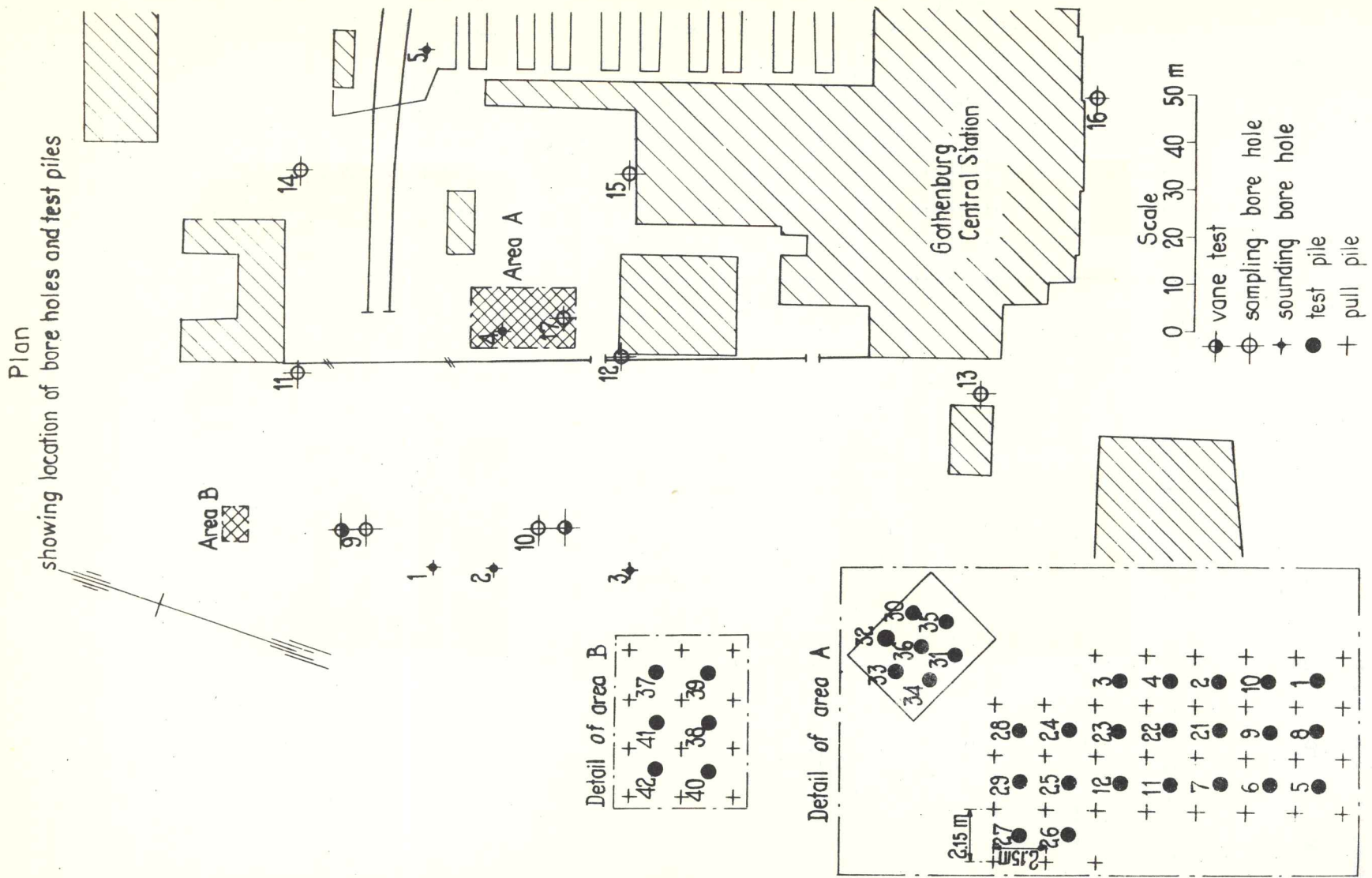


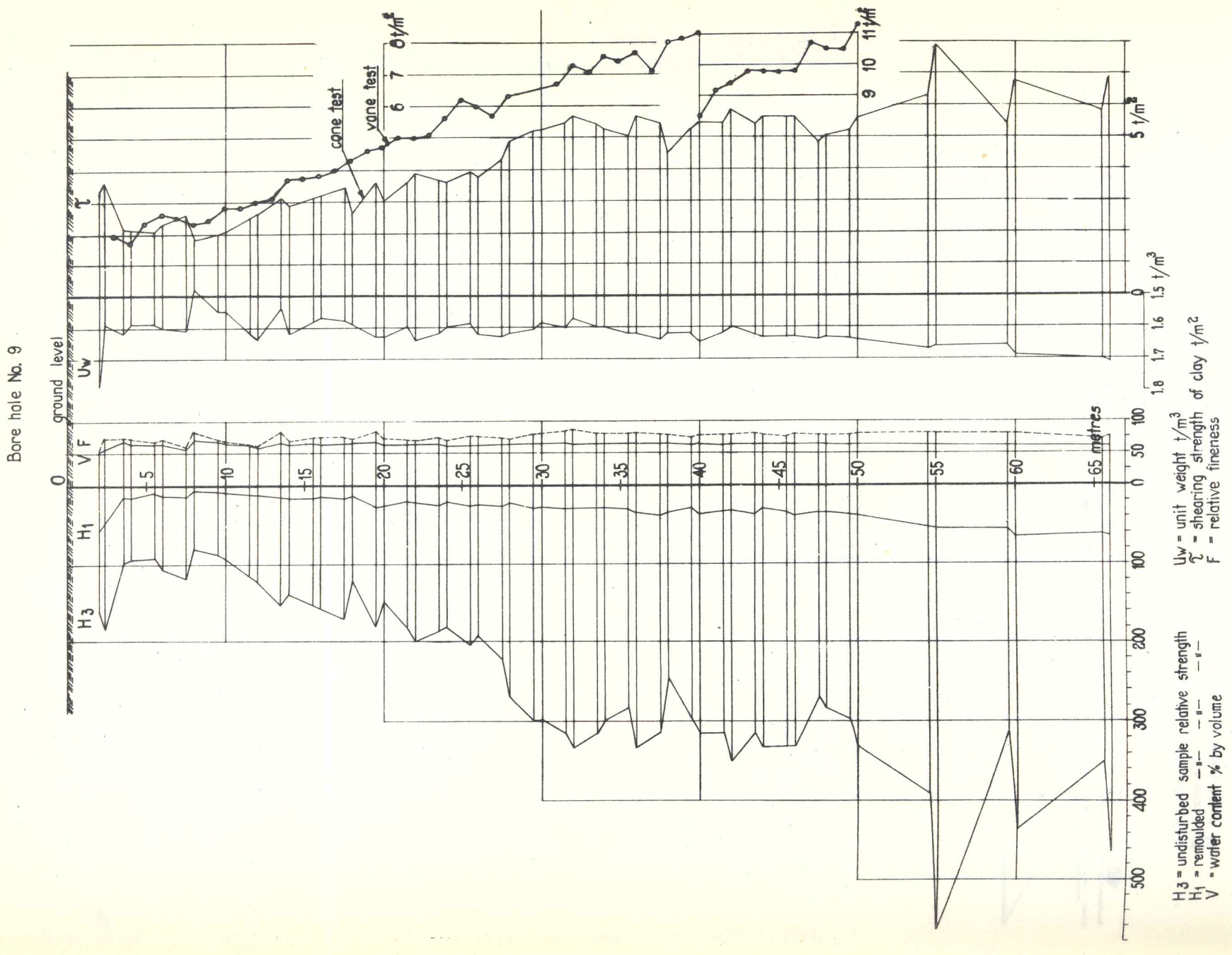
Fig. 10. Pile No. 28. The pile is jointed at the centre by means of a sheet iron sleeve. A square iron plate is inserted in the middle of the joint.

Fig. 11. Pile group consisting of Piles Nos. 30 to 36, shown immediately after completion of concrete slab.



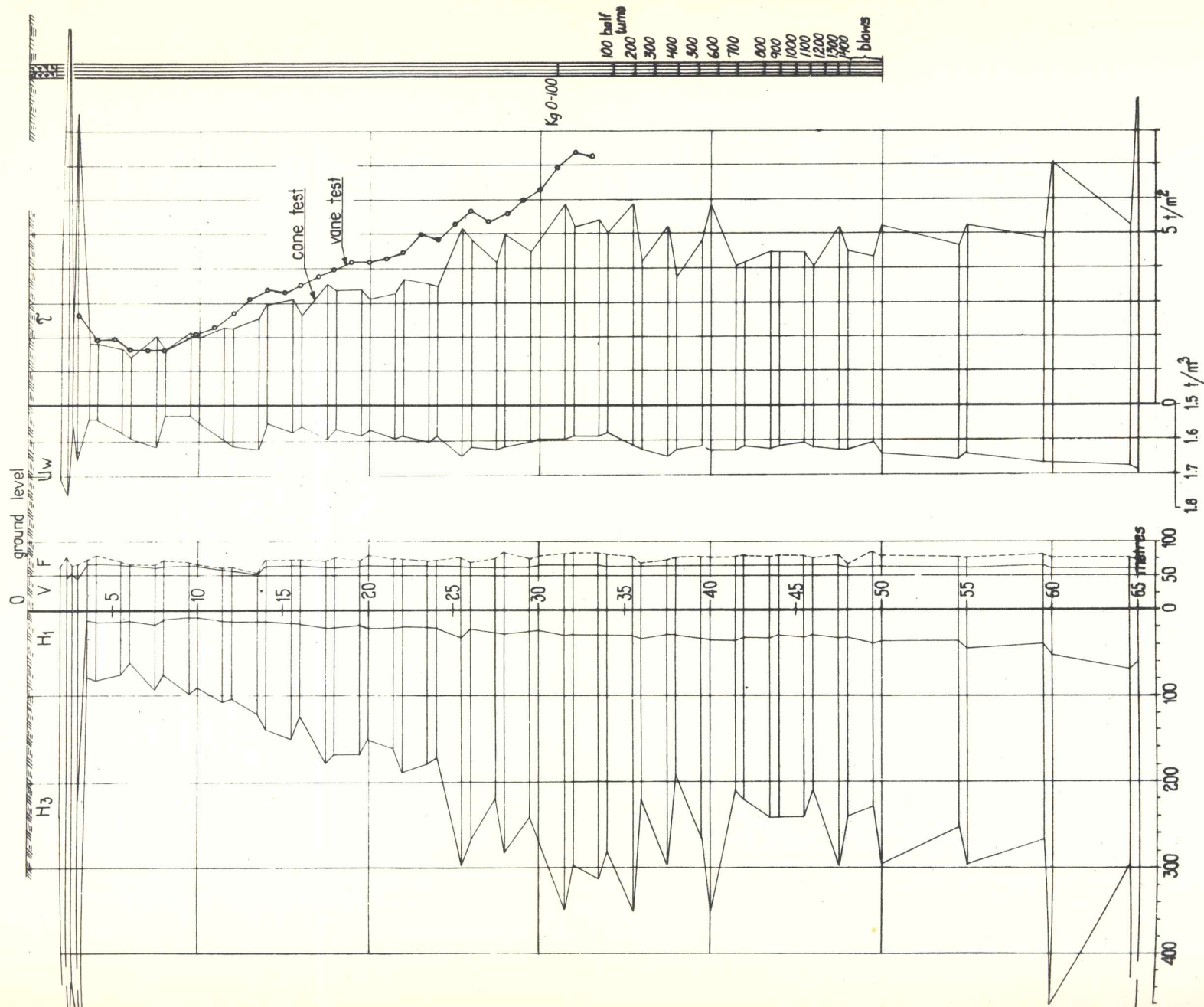
Fig. 12. Pile group consisting of Piles Nos. 30 to 36. The concrete slab is submitted to a load due to 90 tons of rails.





Sounding
bore hole nr 3

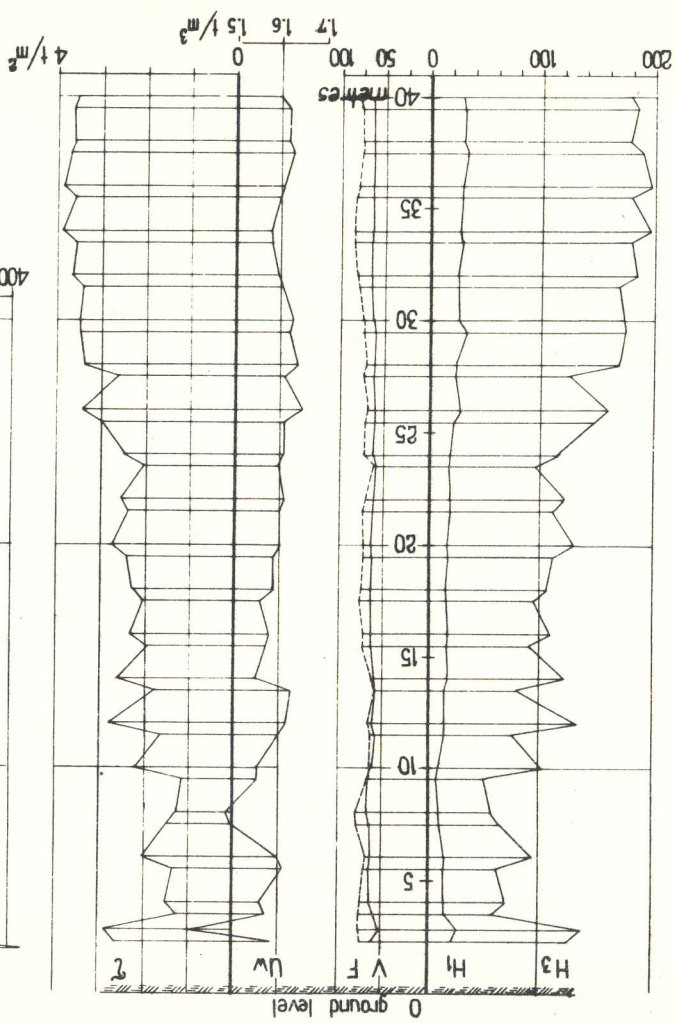
Bore hole No. 10



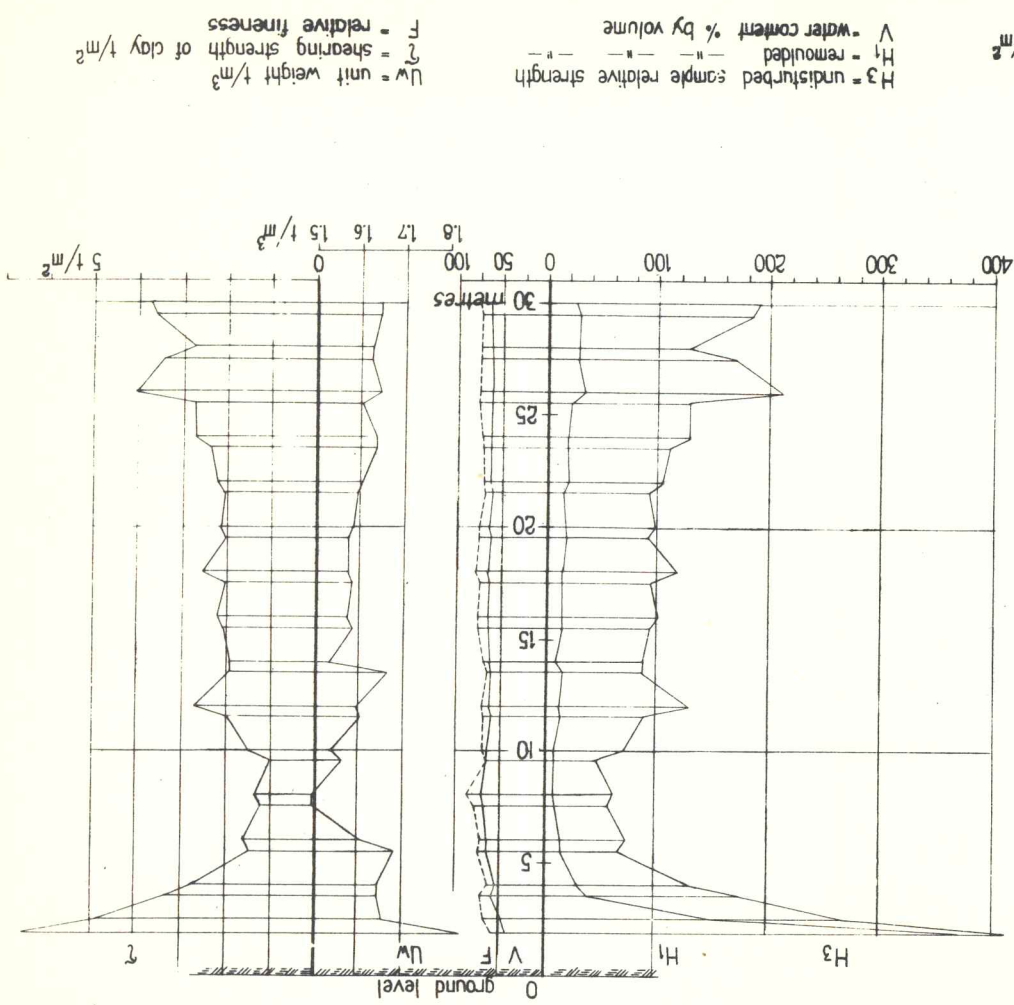
γ = unit weight t/m^3
 τ = shearing strength of clay t/m^2
 F = relative fineness

H3 = undisturbed sample relative strength
 H1 = remoulded
 V = water content % by volume

Bore hole No. 12

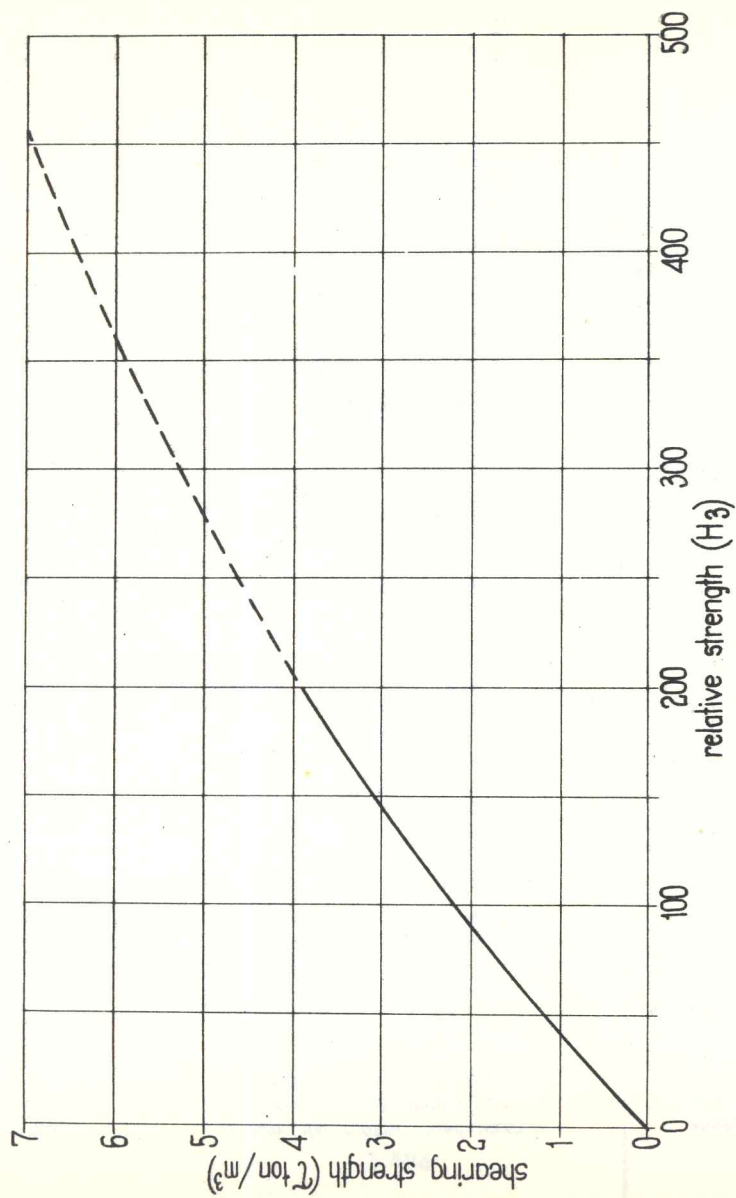


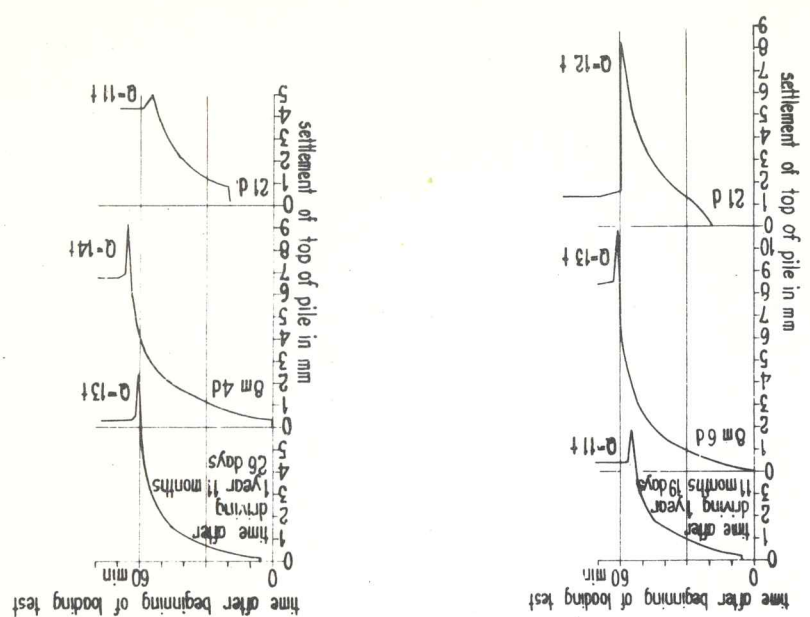
Bore hole No. 17



H_3 = undisturbed sample relative strength
 H_1 = remoulded sample relative strength
 V = water content % by volume
 U_w = unit weight t/m^3
 F = shearing strength of clay t/m^2

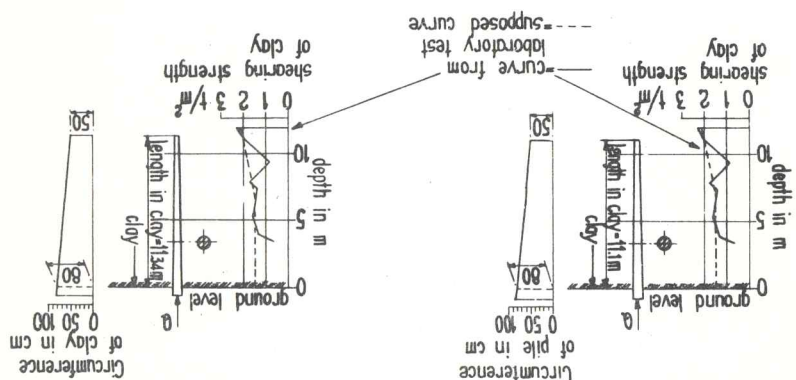
Relation between relative strength H_3 and shearing strength τ of the Gothenburg clay.





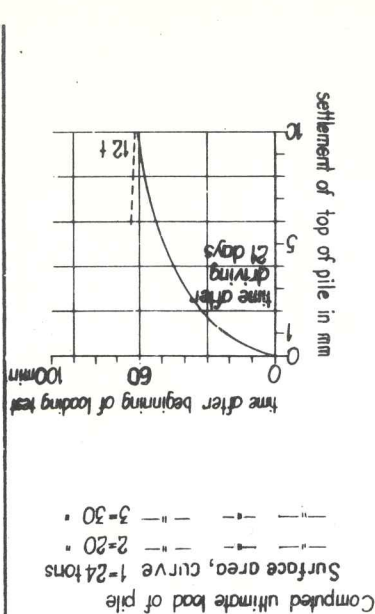
Computed ultimate load of pile = 12.0 t.

Computed ultimate load of pile = 11.3 t.



rough-hewn wooden pile kept in water 1/2 month before driving, conic downwards, driven 17 IX 1935.

rough-hewn wooden pile kept in water 1/2 month before driving, conic downwards, driven 16 IX 1935.

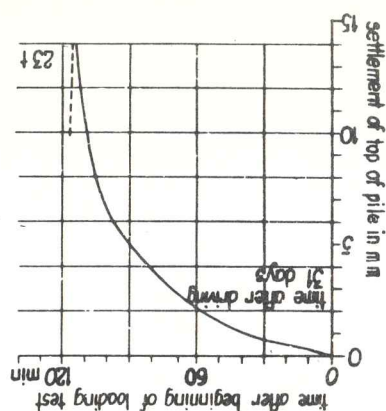


Computed ultimate load of pile

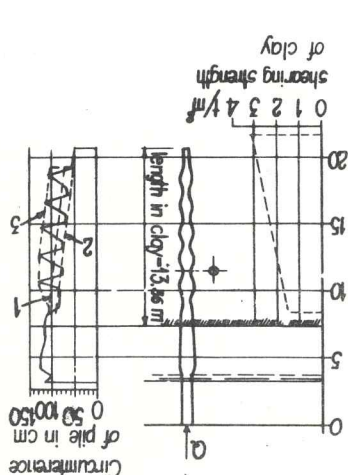
Surface area, curve 1 = 24 tons

2 = 20 "

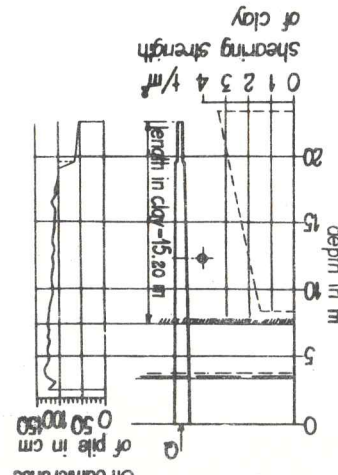
3 = 30 "



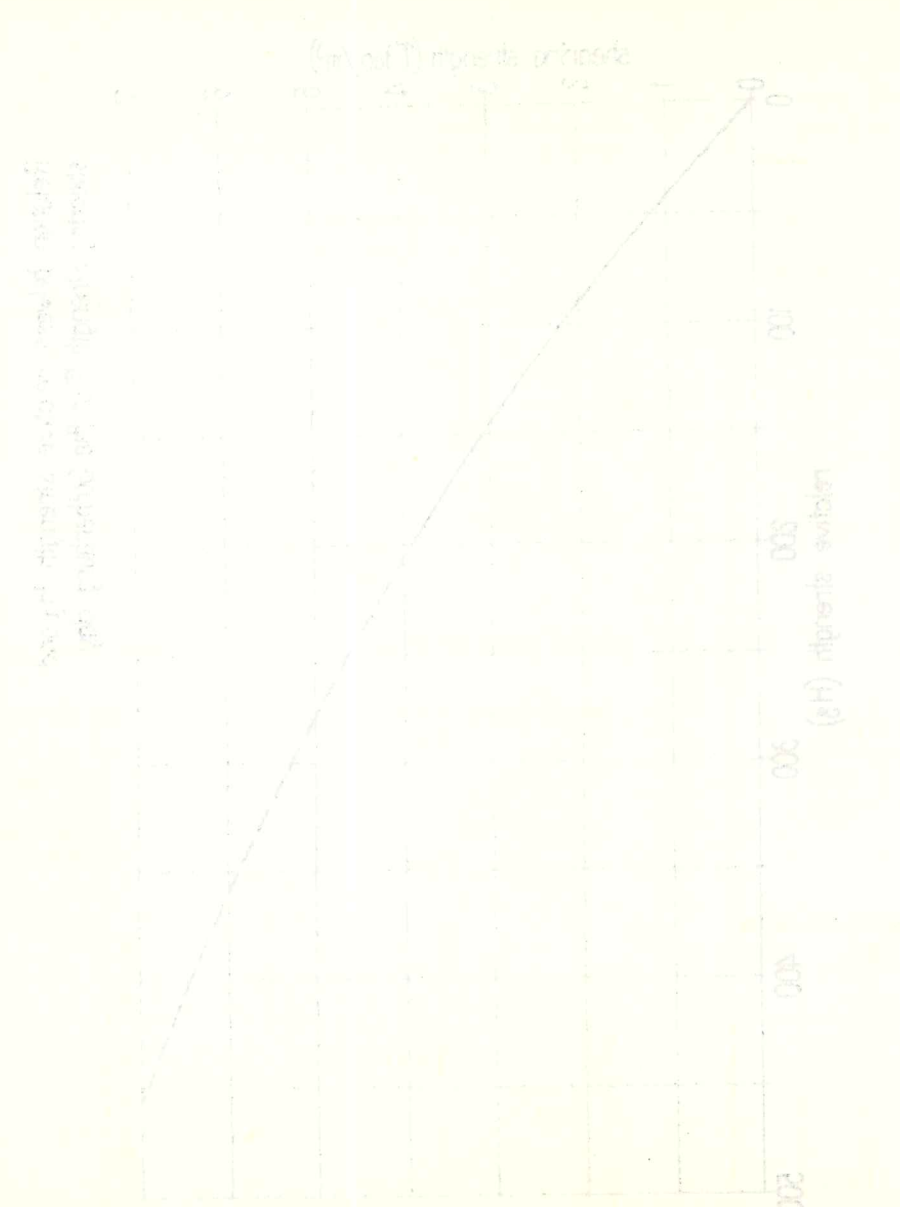
Computed ultimate load of pile = 32 tons

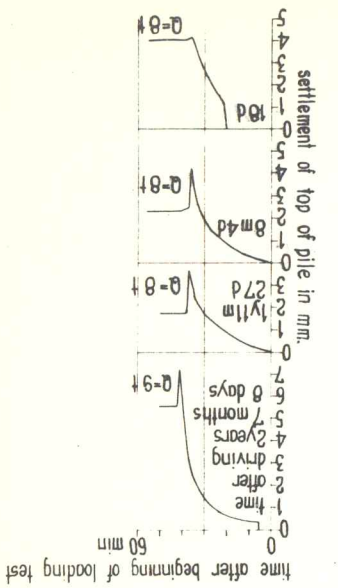


wooden pile with several concrete-collars (very rough surface), driven 28 VI 1935

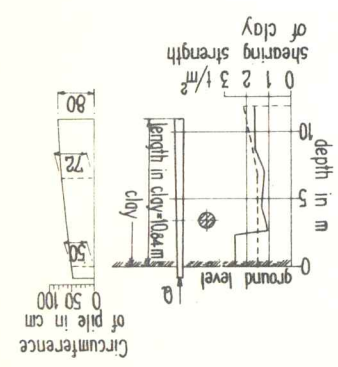


wooden pile sprayed with concrete (relatively smooth surface), driven 29 VI 1935

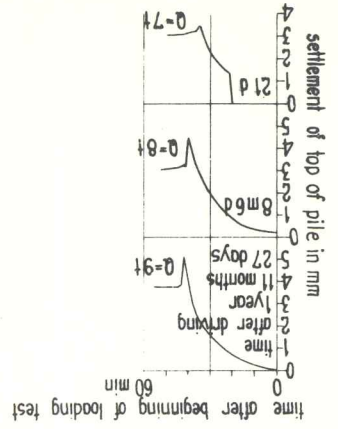




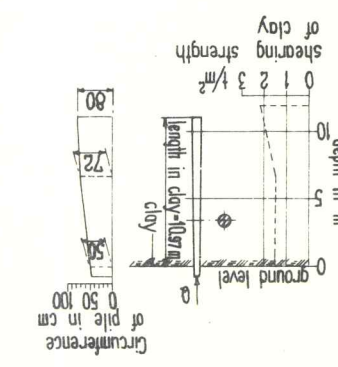
Computed ultimate load of pile = 11.9 t



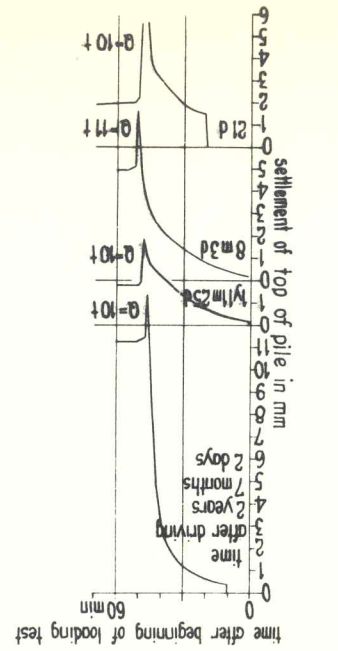
Pile H
rough-hewn wooden pile kept in
water 1/2 month before driving, conic
upwards, driven 21.IX.1935.



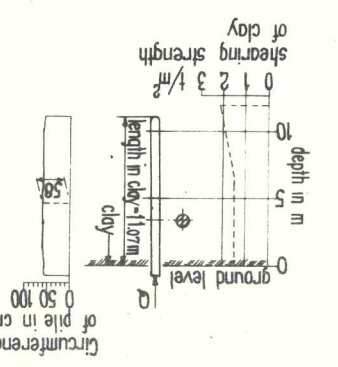
Computed ultimate load of pile = 12.0 t



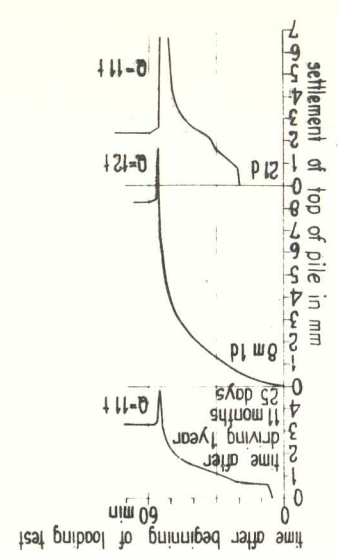
Pile G
rough-hewn wooden pile, conic
upwards, driven 19.IX.1935.



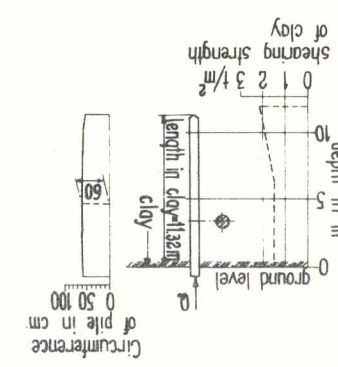
Computed ultimate load of pile = 10.4 t



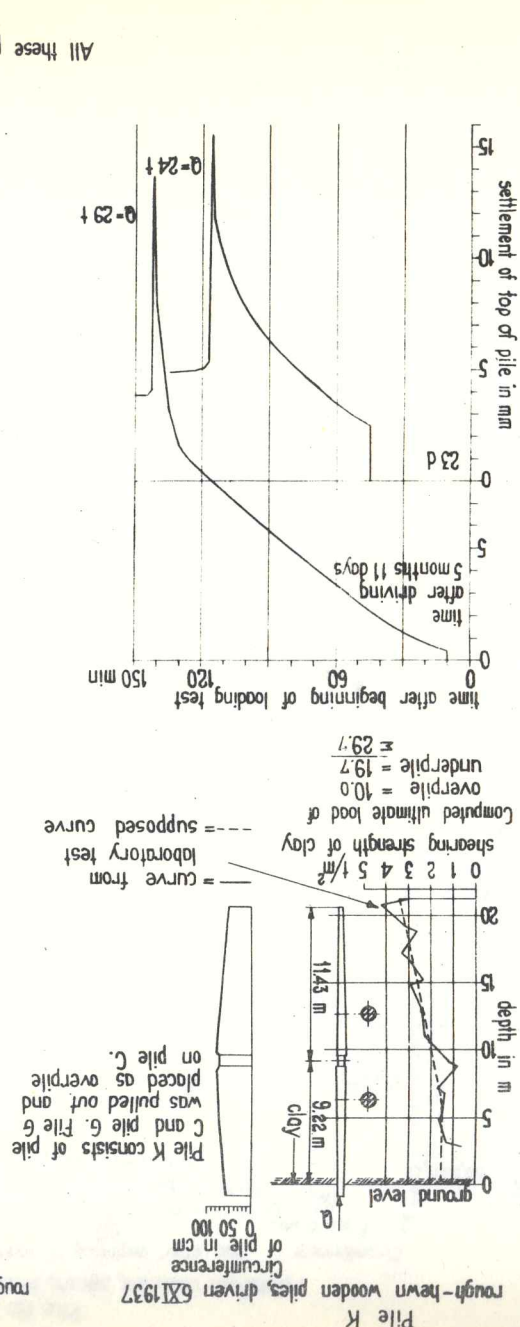
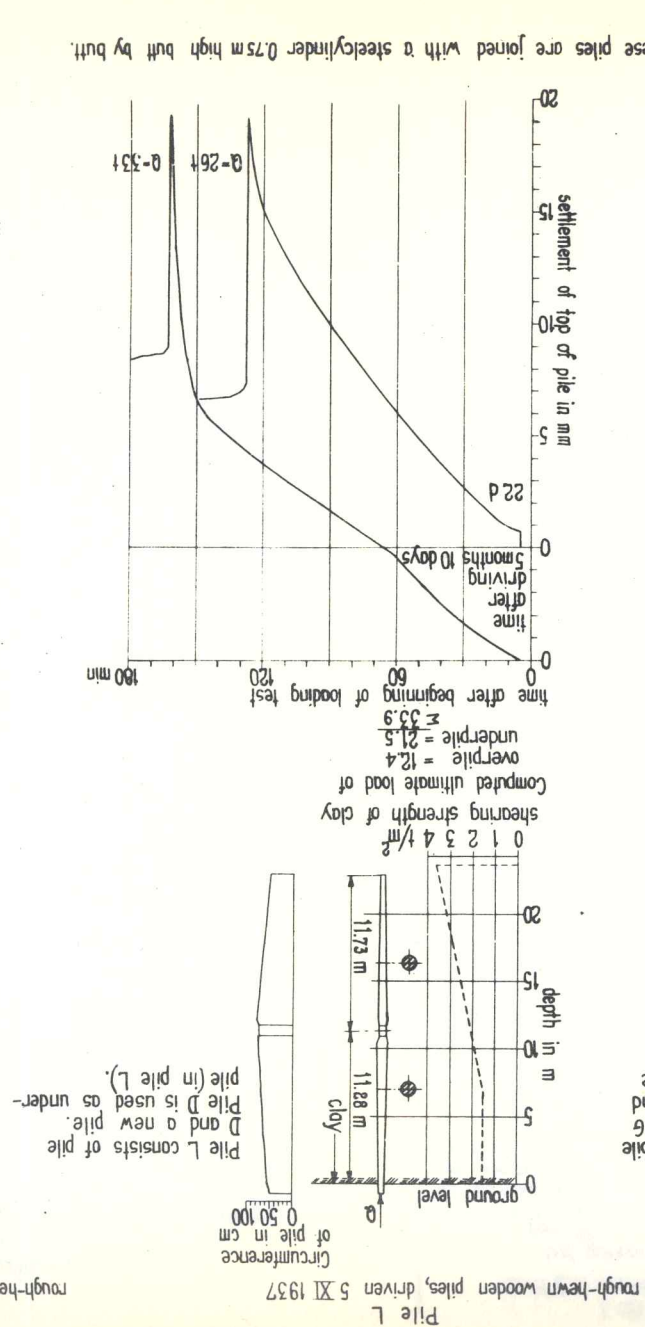
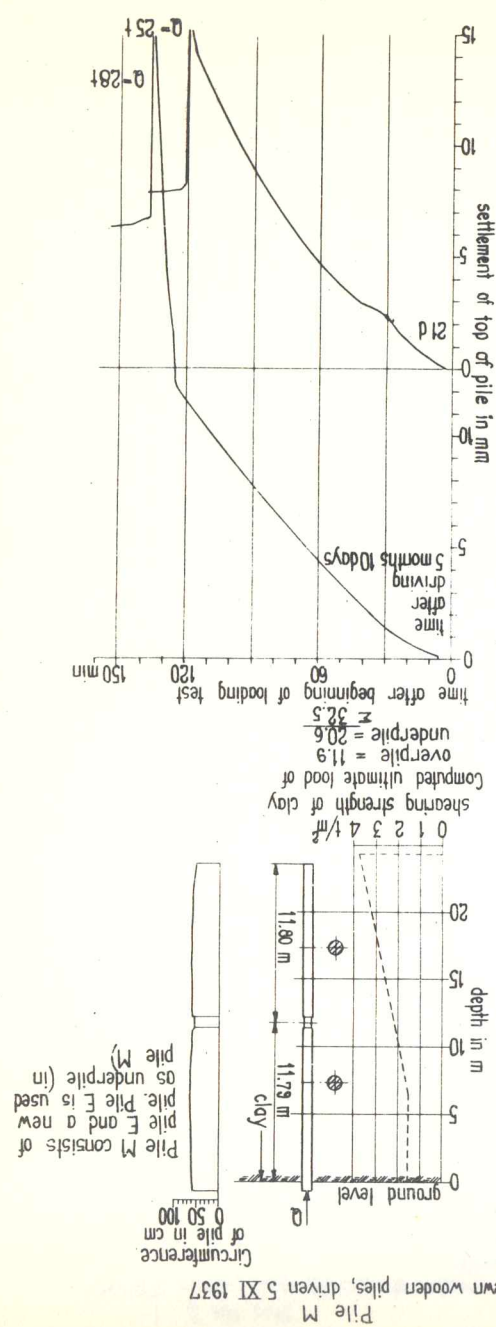
Pile F
rough-hewn wooden pile kept in
water 1/2 month before driving,
cylindrical, driven 20.IX.1935.



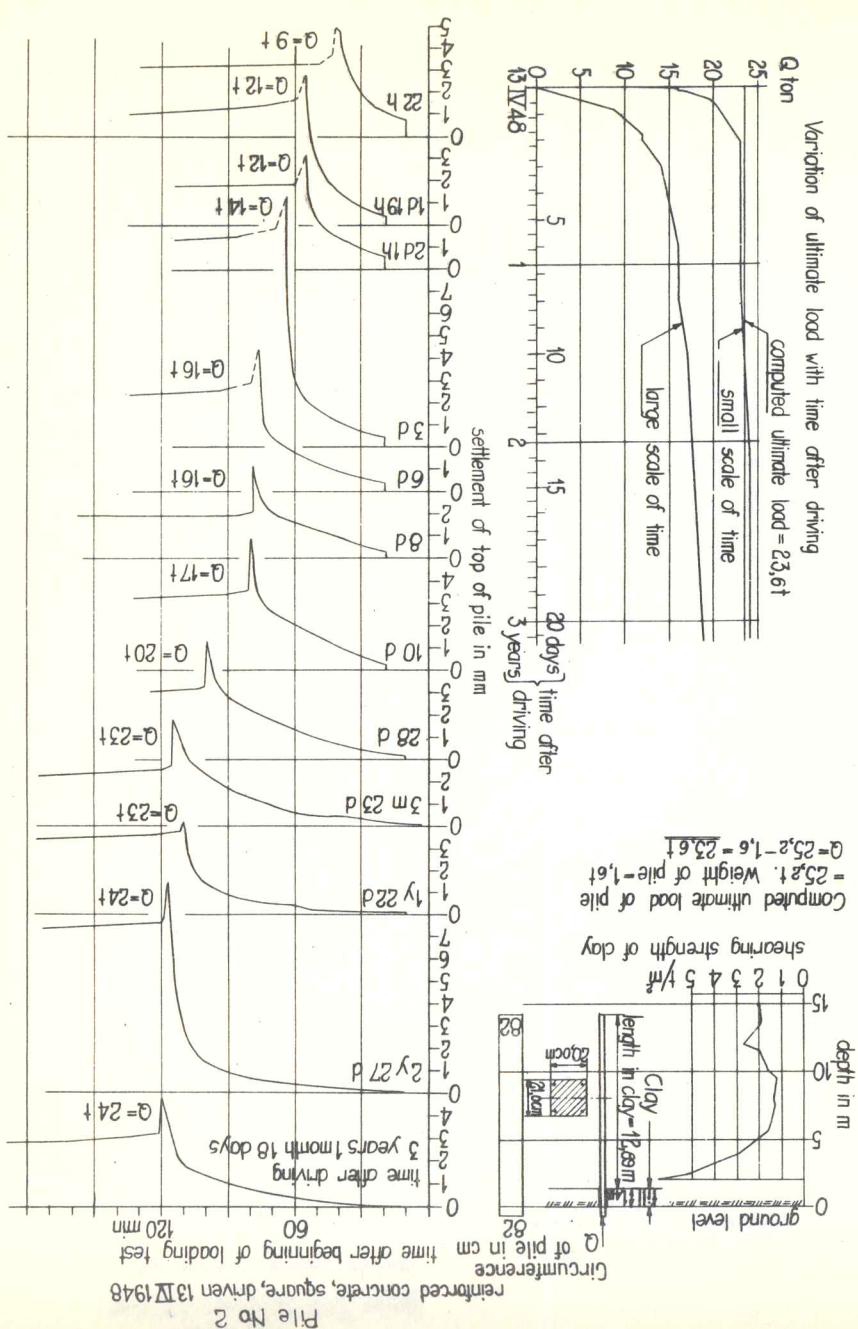
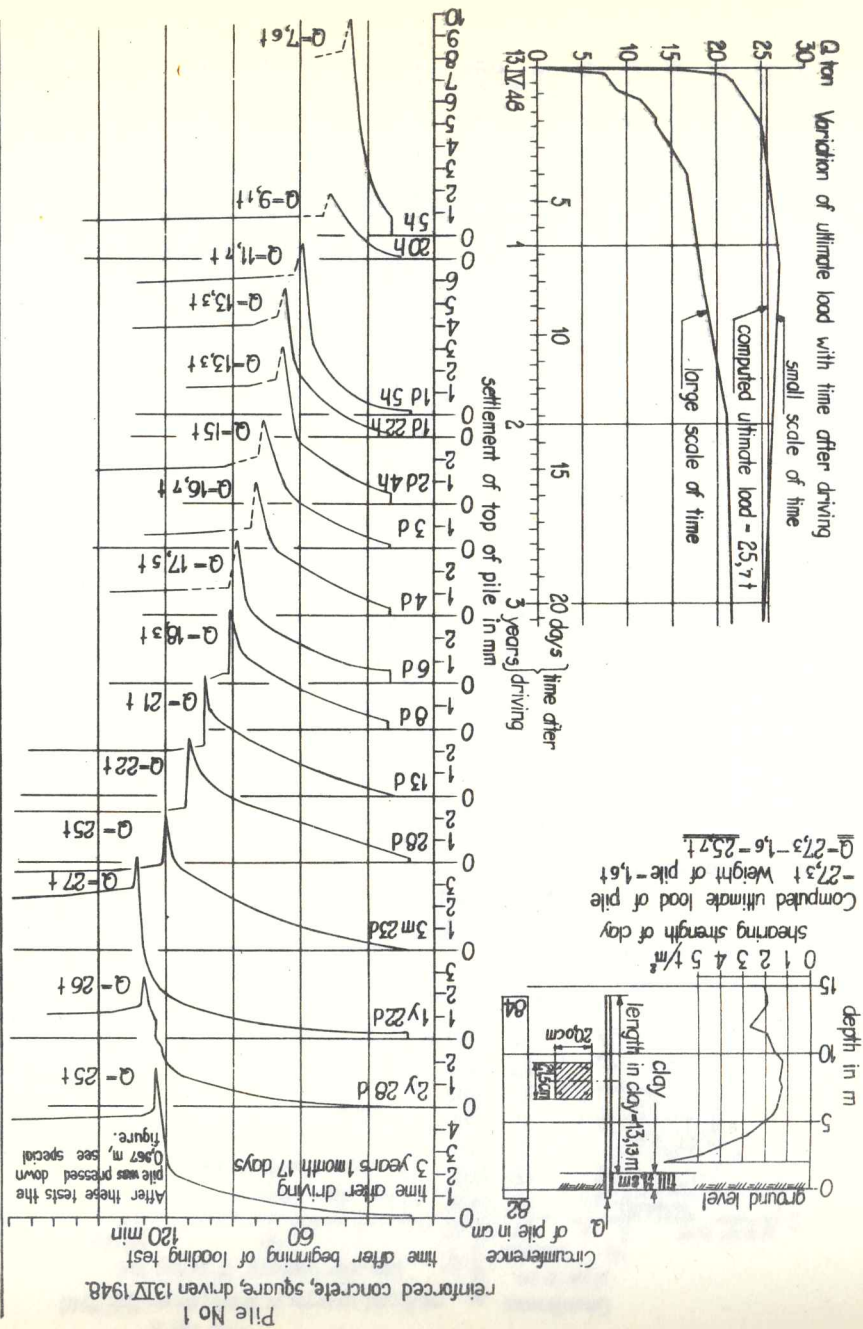
Computed ultimate load of pile = 10.5 t

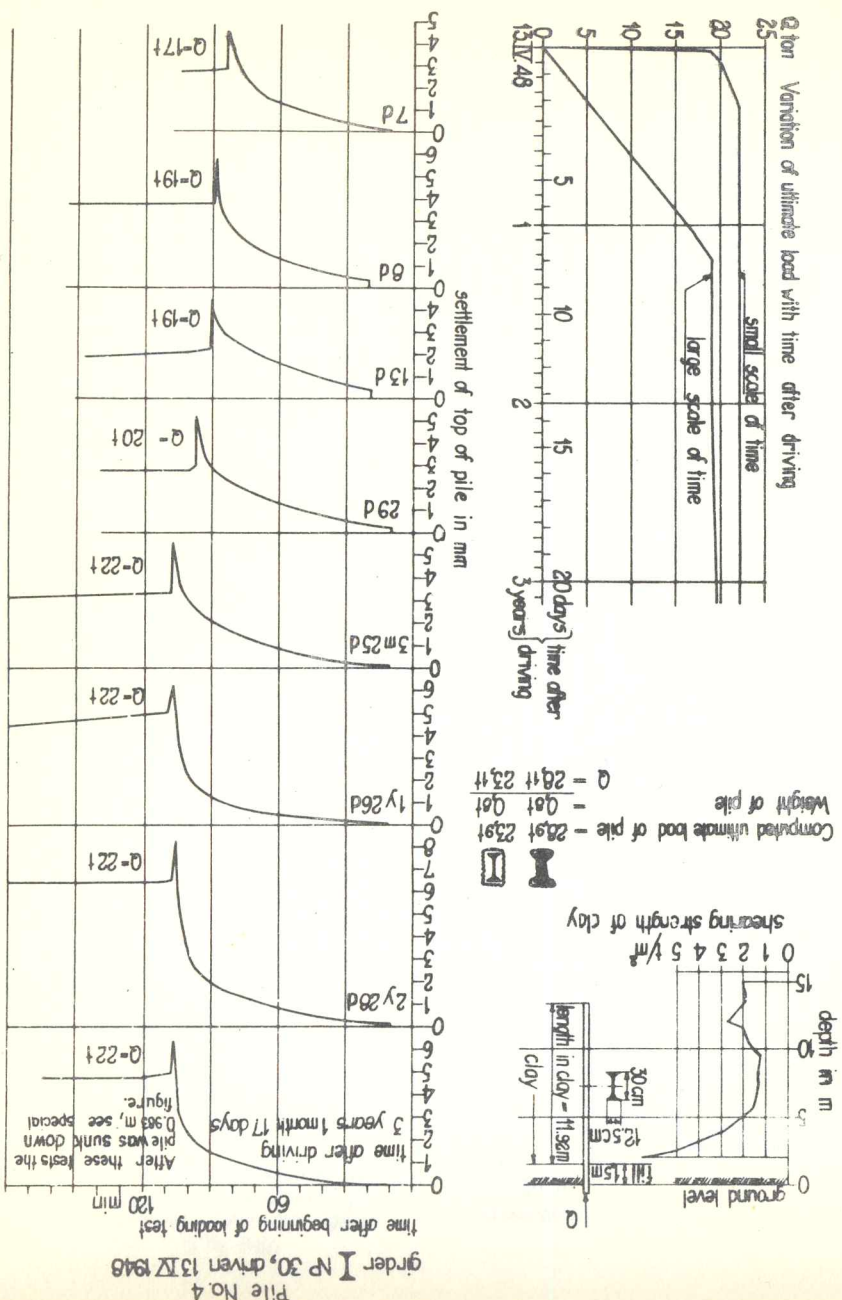
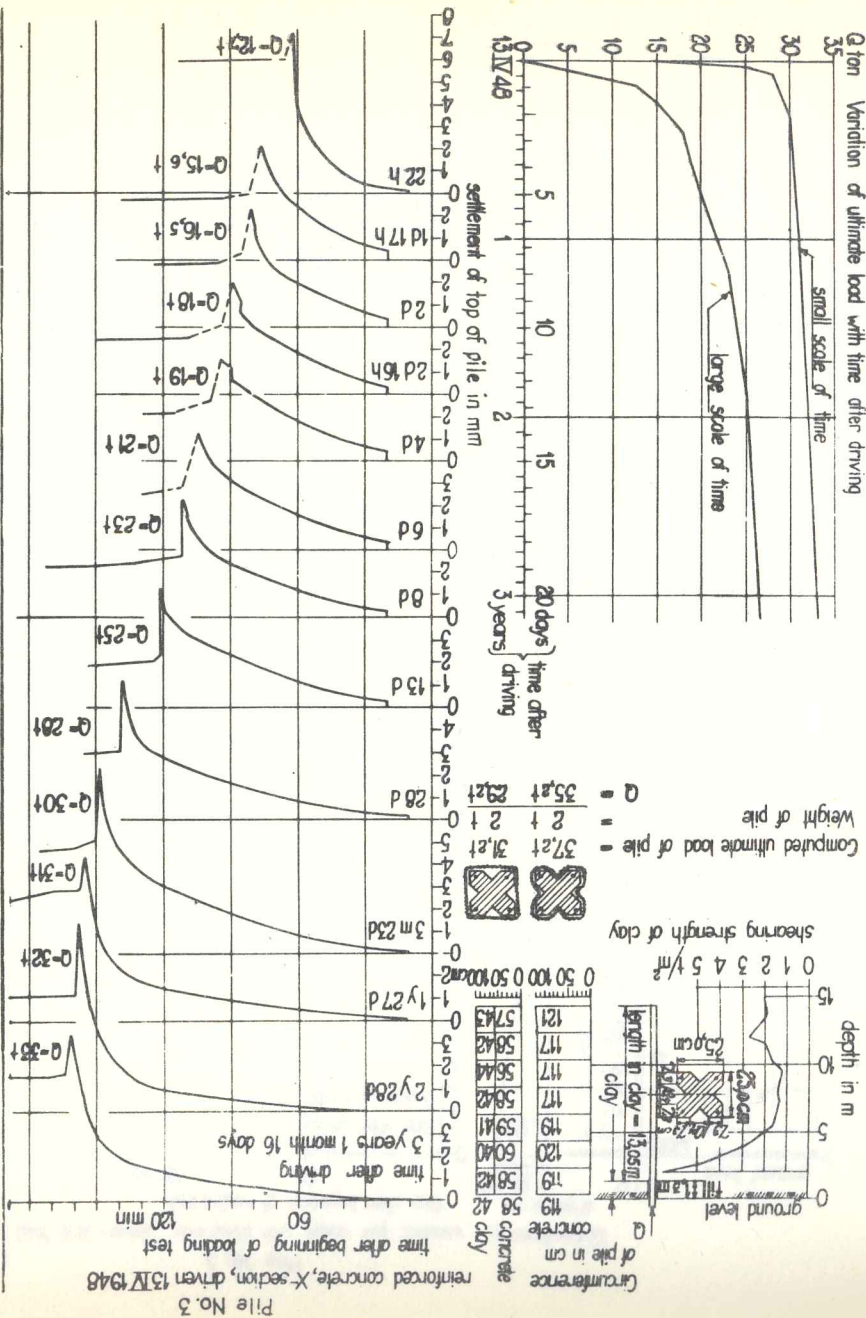


Pile E
rough-hewn wooden pile, cylindrical,
driven 21.IX.1935.

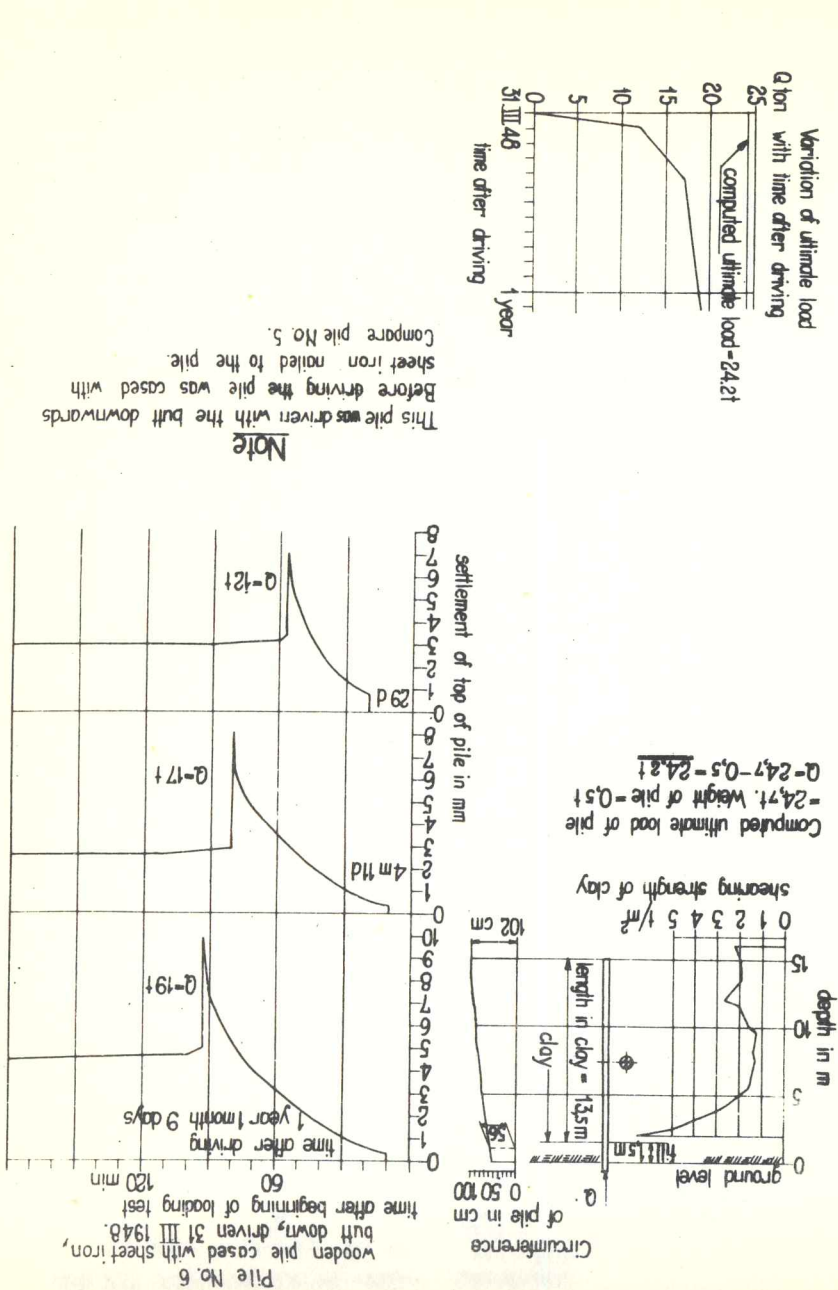
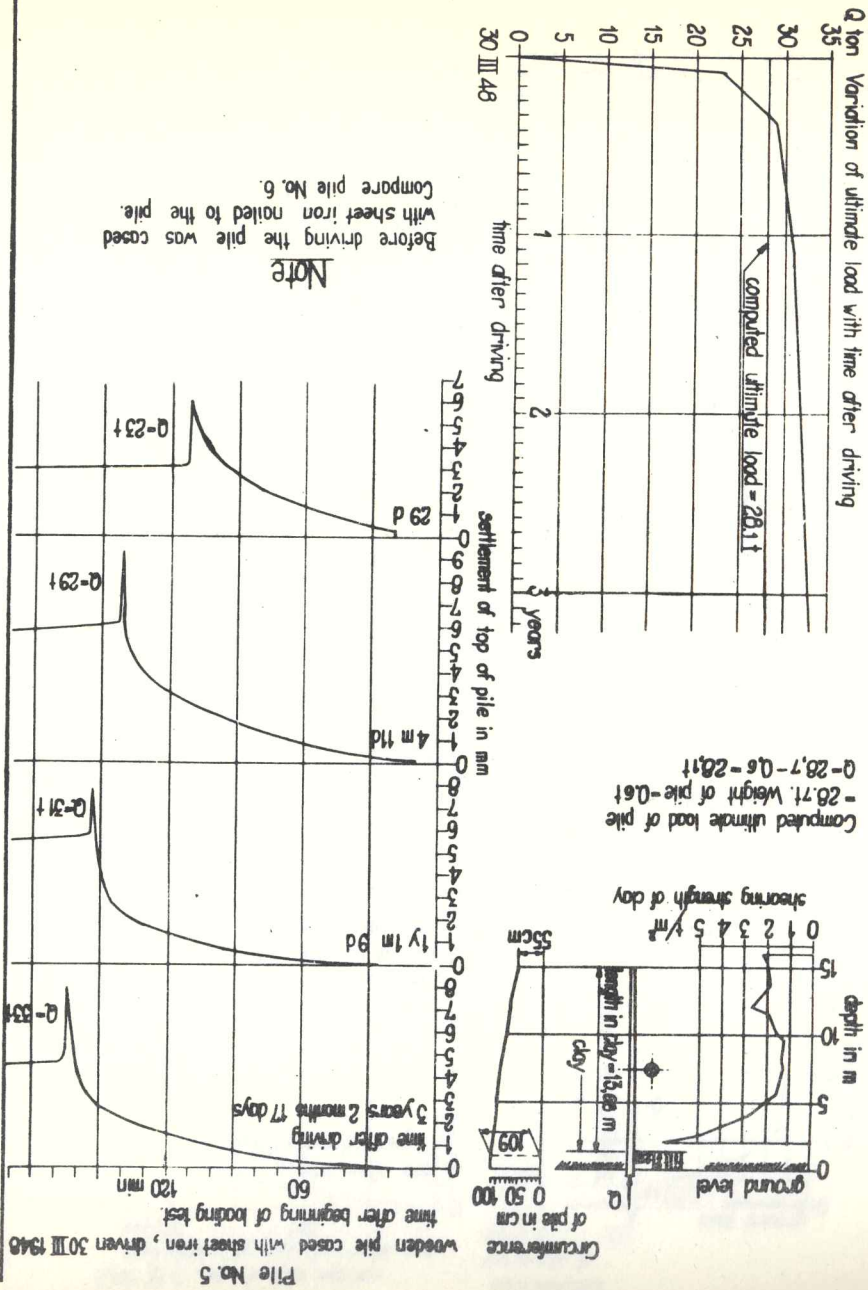


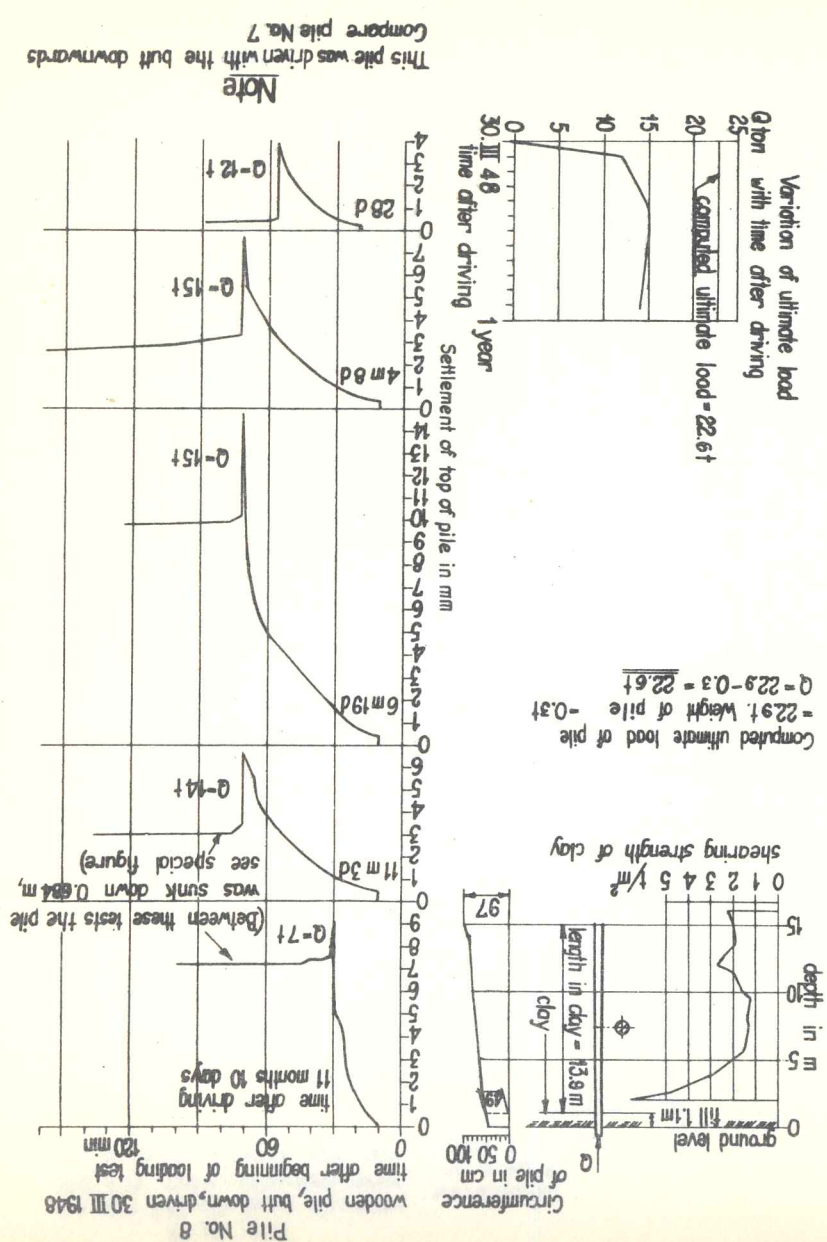
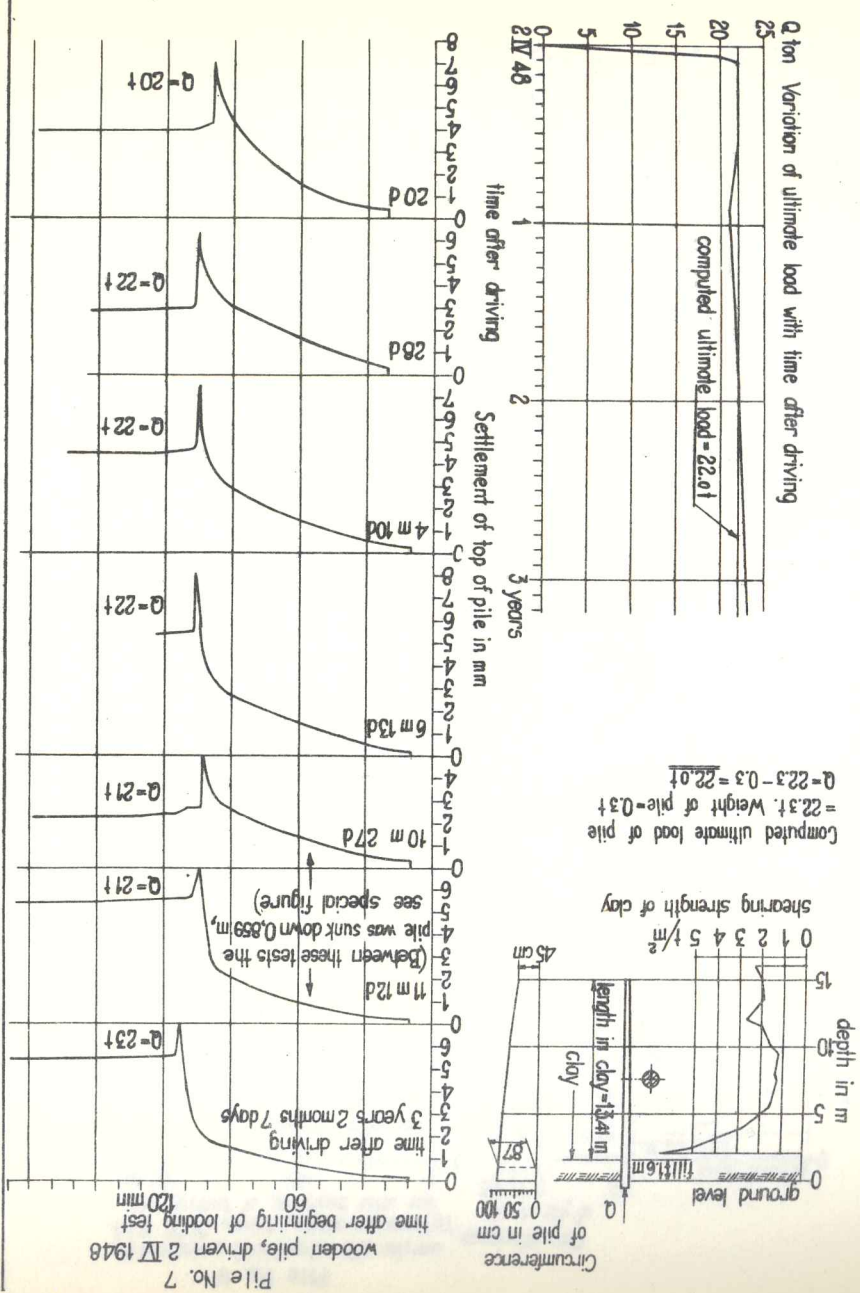
All these piles are joined with a steel cylinder 0.75 m high butt by butt.

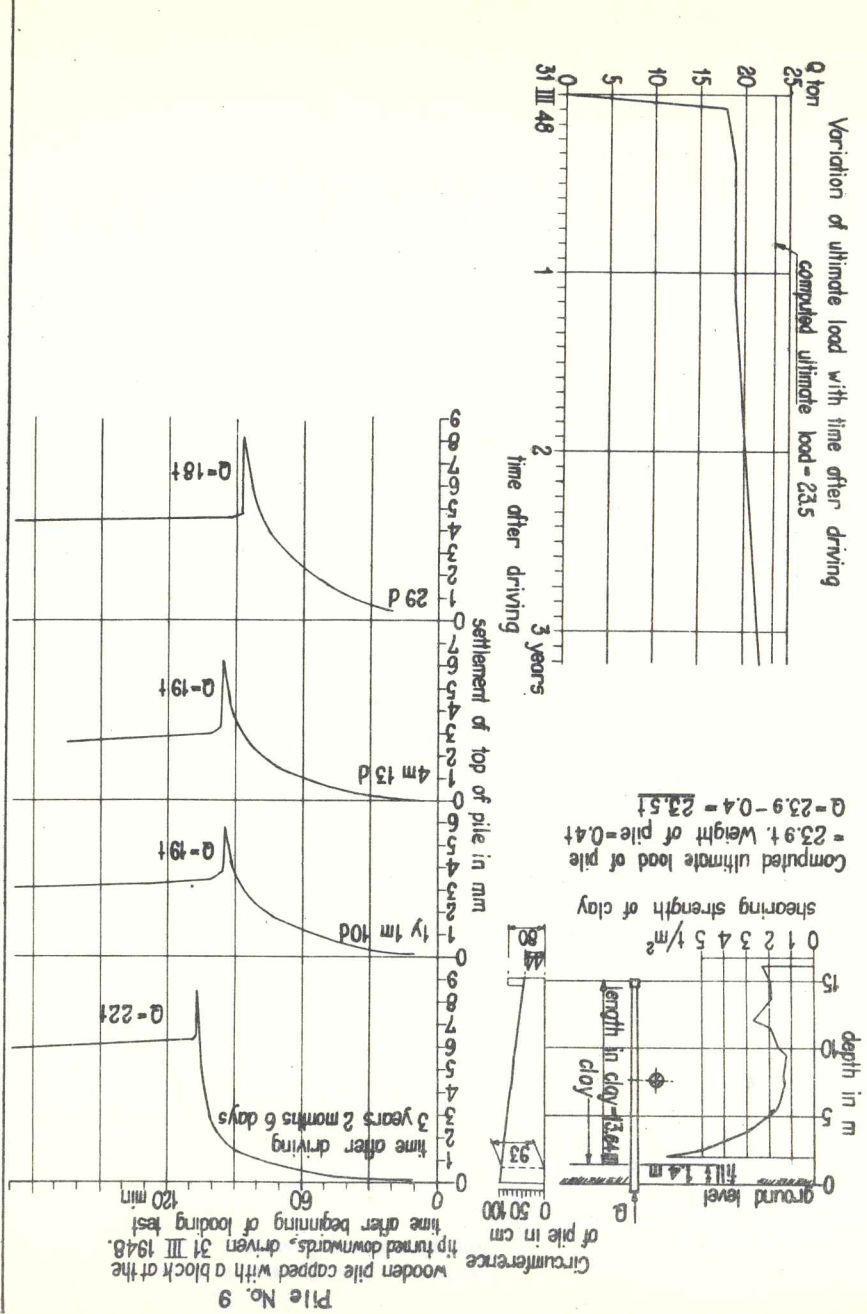
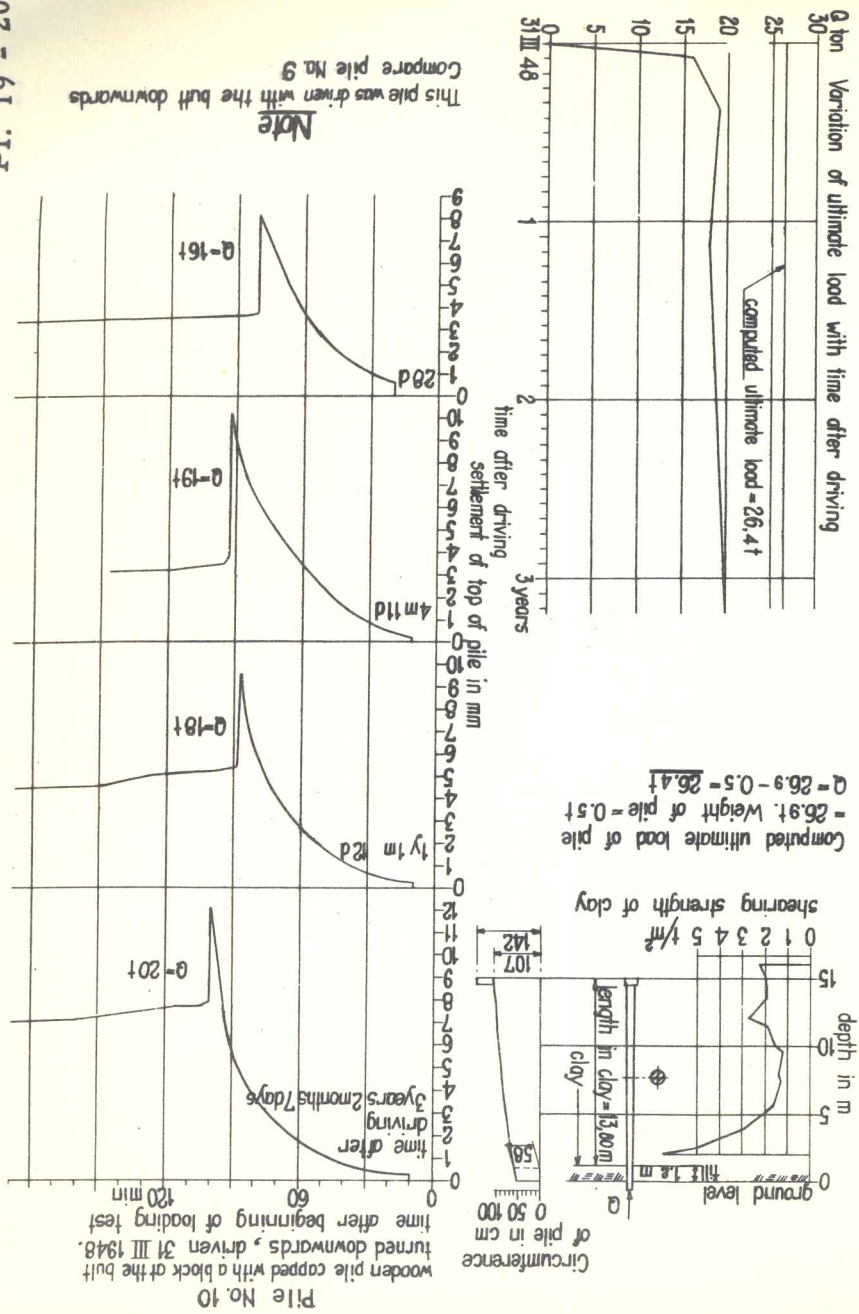


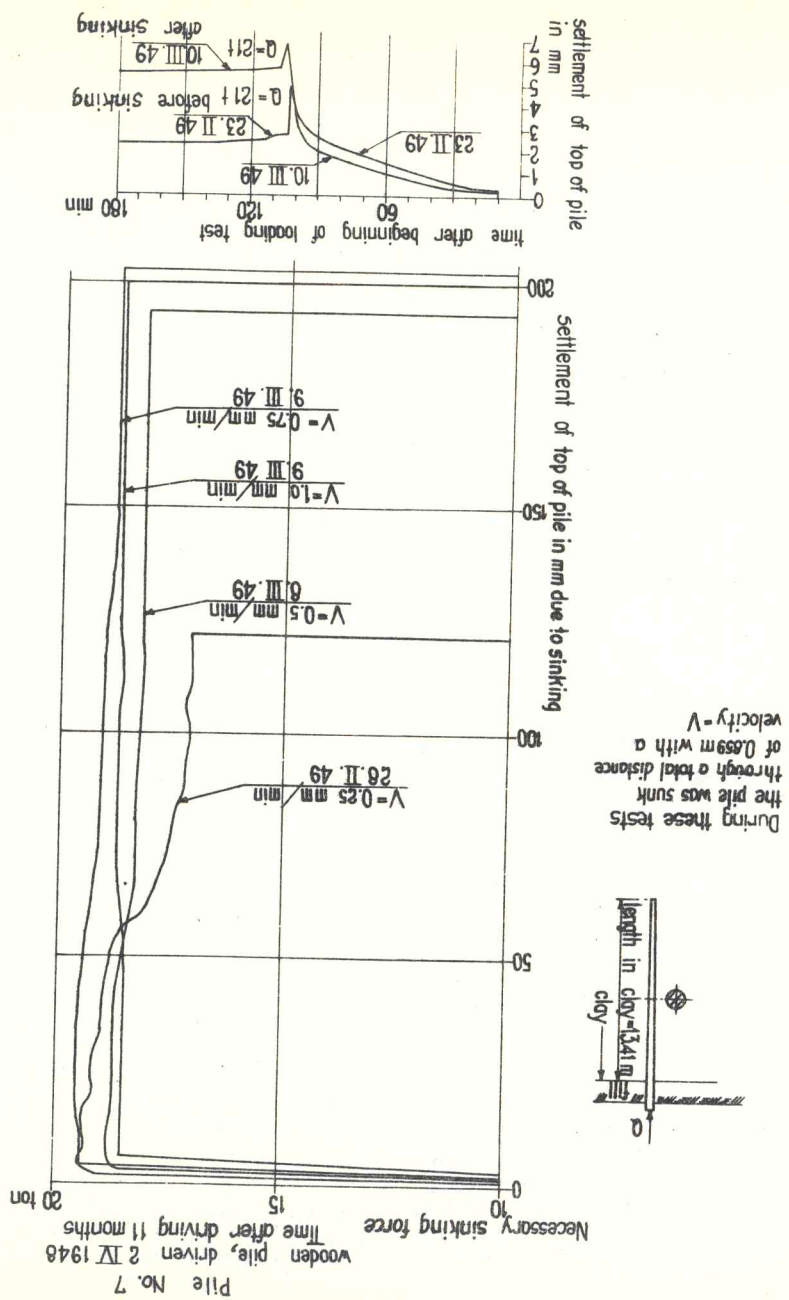
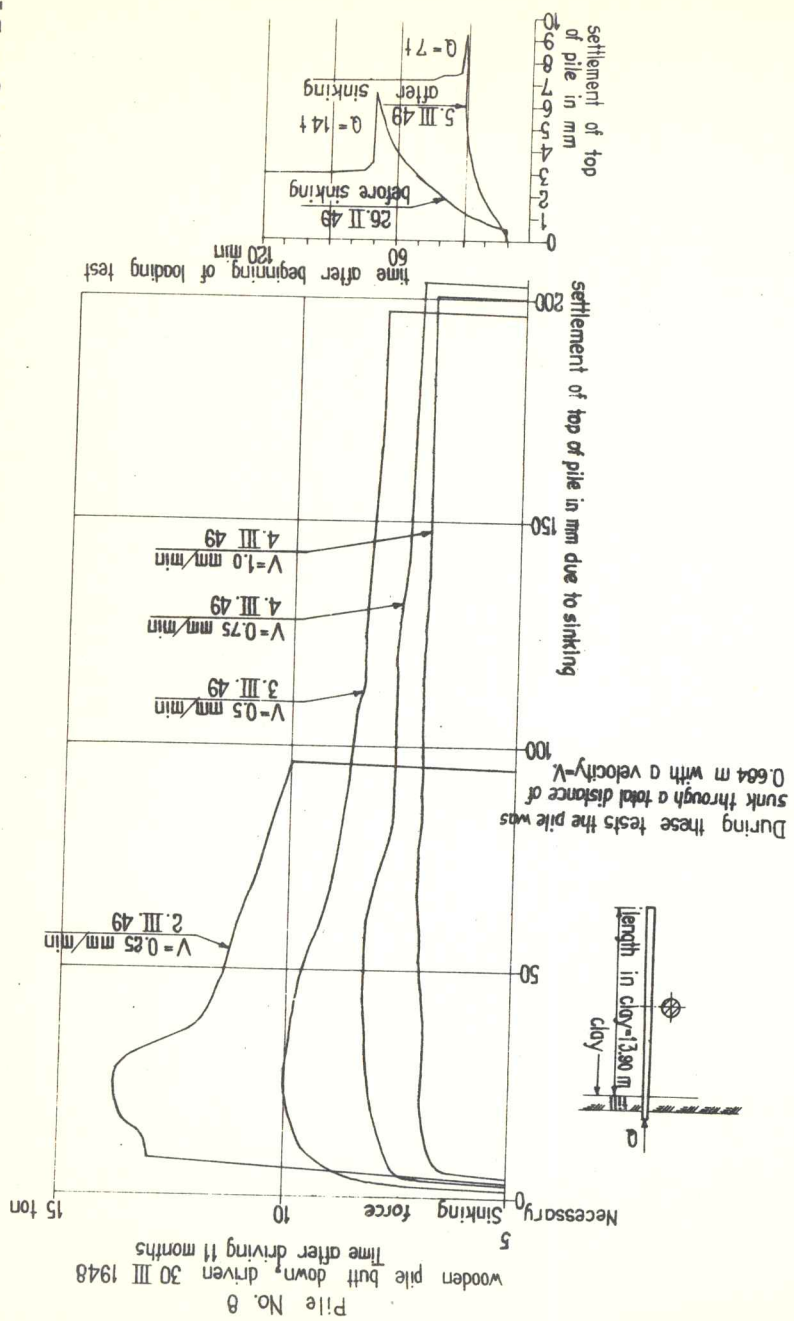


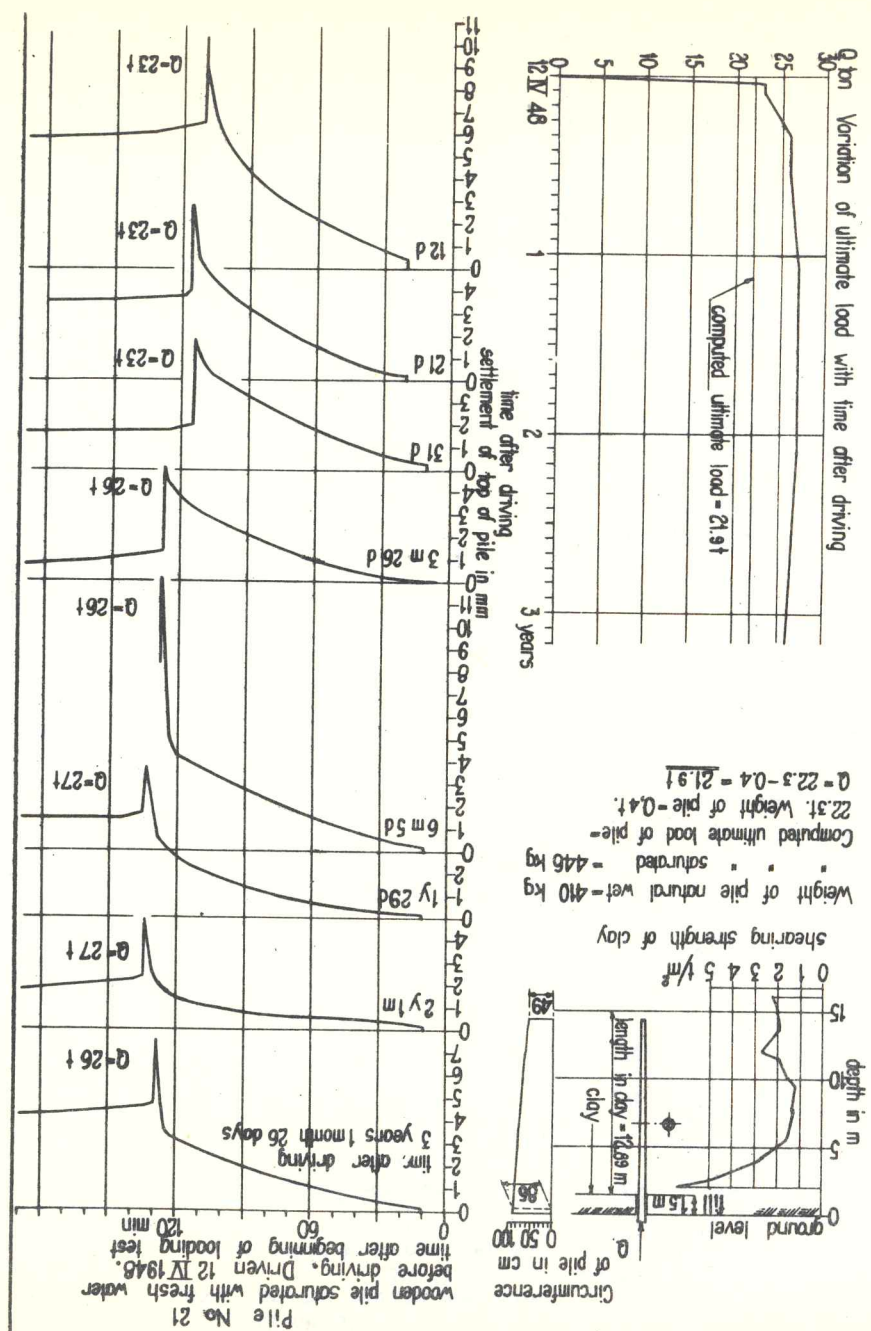
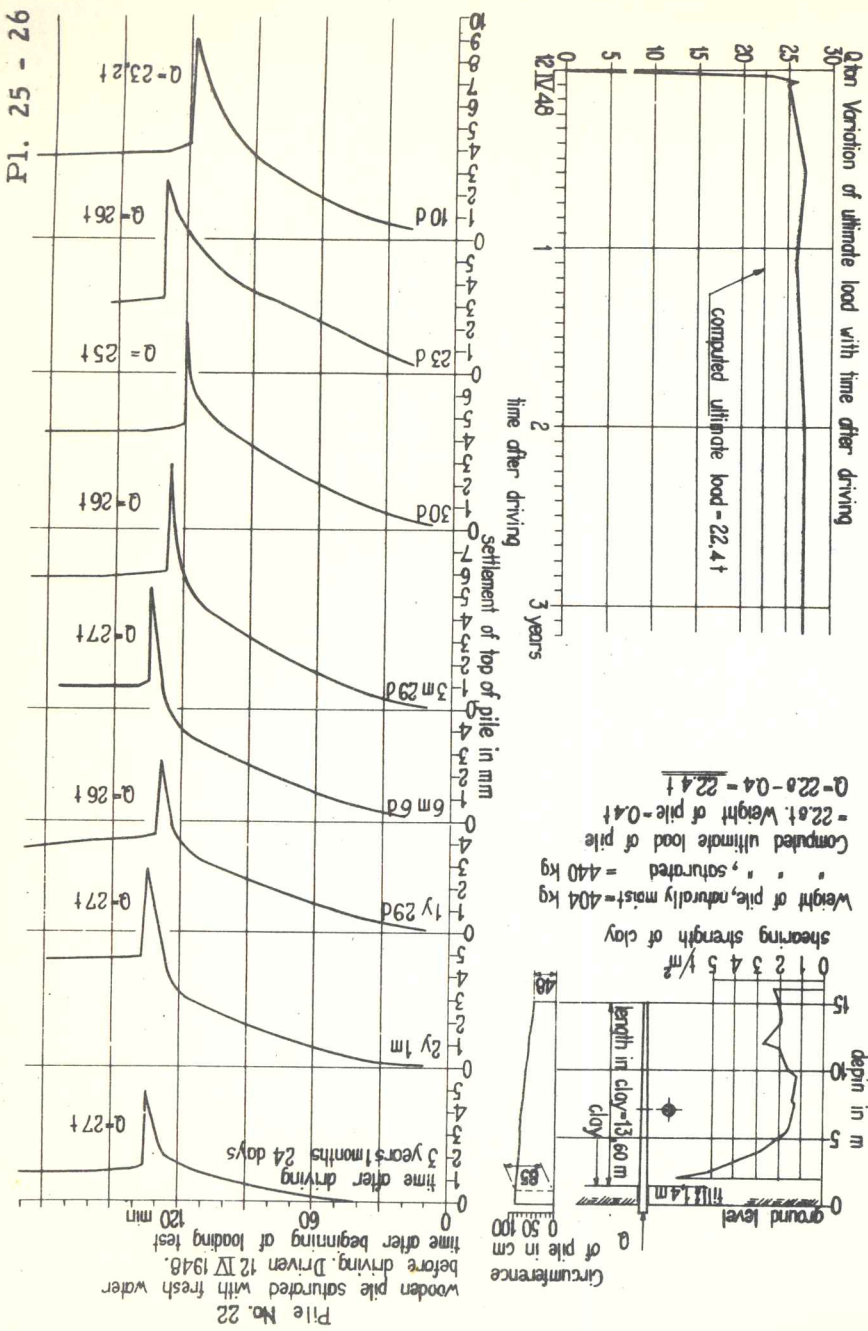
After these tests the pile was sunk down figure. 0.93 m, see special

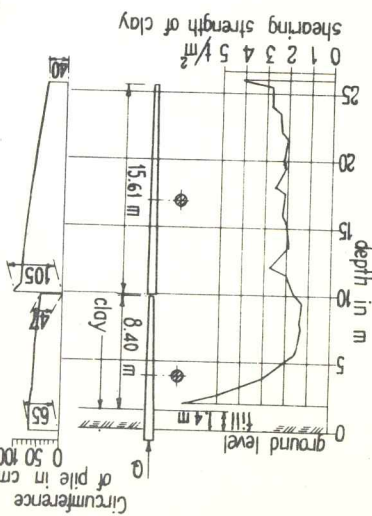
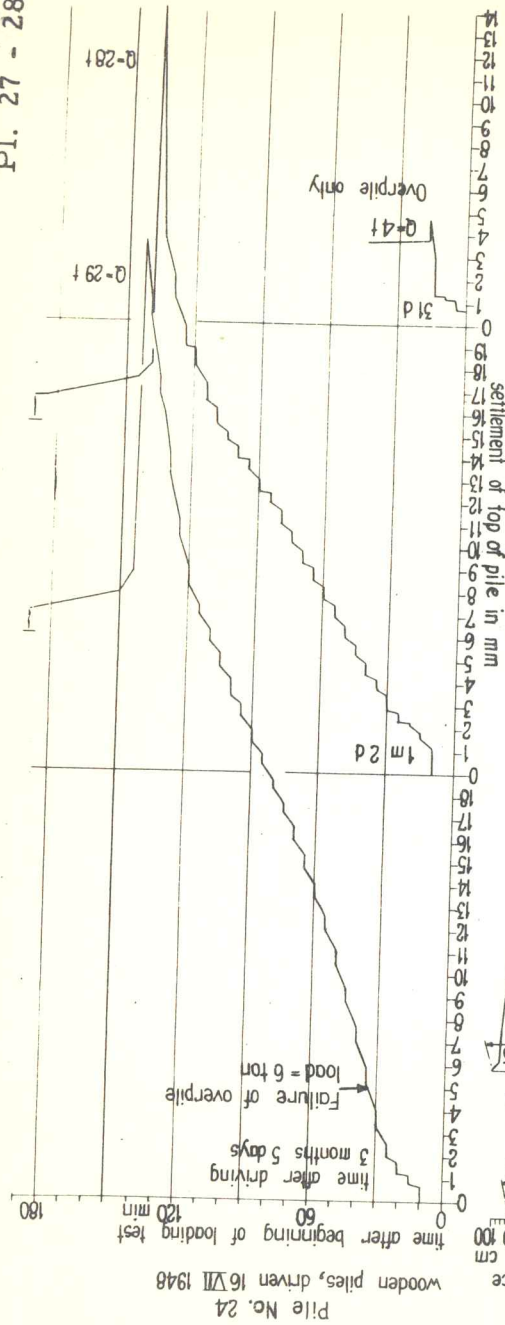












The piles were joined with a steel cylinder, 0.8 m high, top to butt. The overpile was loosely placed in the cylinder so as to be separated by a clearance from the underpile (See text)

Computed ultimate load

overpile = 12.8 t

underpile = 23.7 t

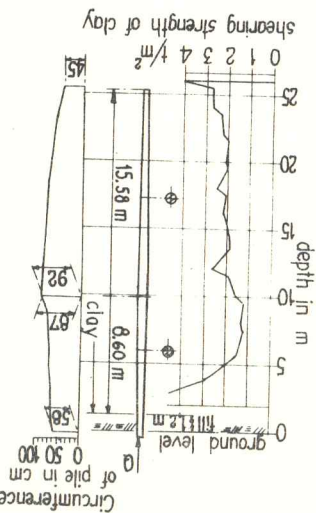
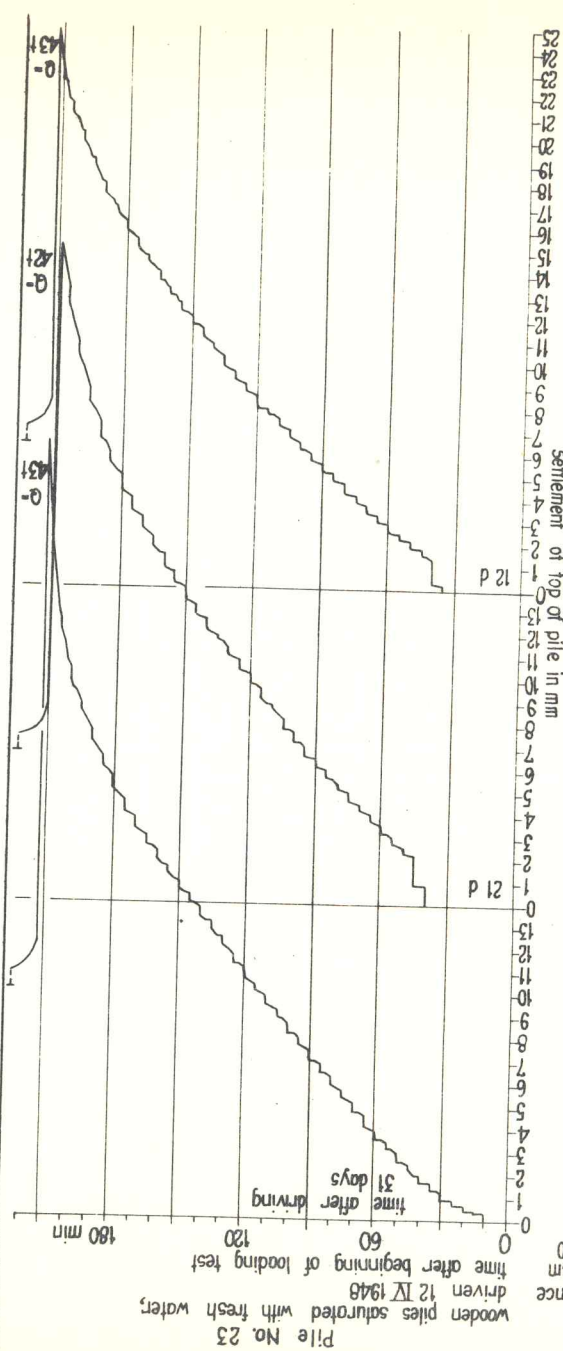
$Q = 36.5 - 0.5 = 36.0$ t

weight of the piles

overpile = 0.17 t

underpile = 0.36 t

$\Sigma = 0.53$ t



weight of the piles

overpile, naturally moist = 250 kg

underpile, saturated = 306

underpile, naturally moist = 500

underpile, saturated = 530

Computed ultimate load of

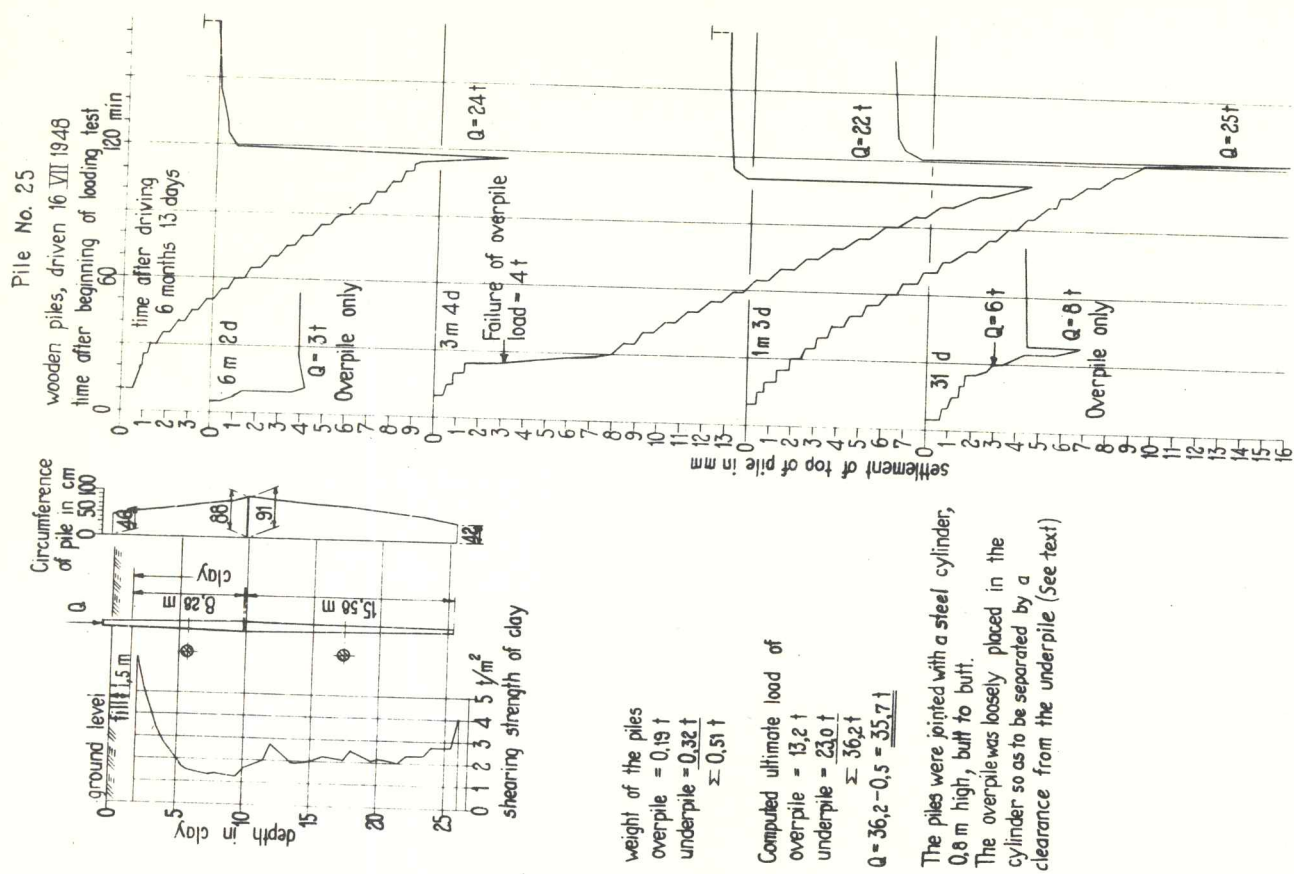
overpile = 15.4 t

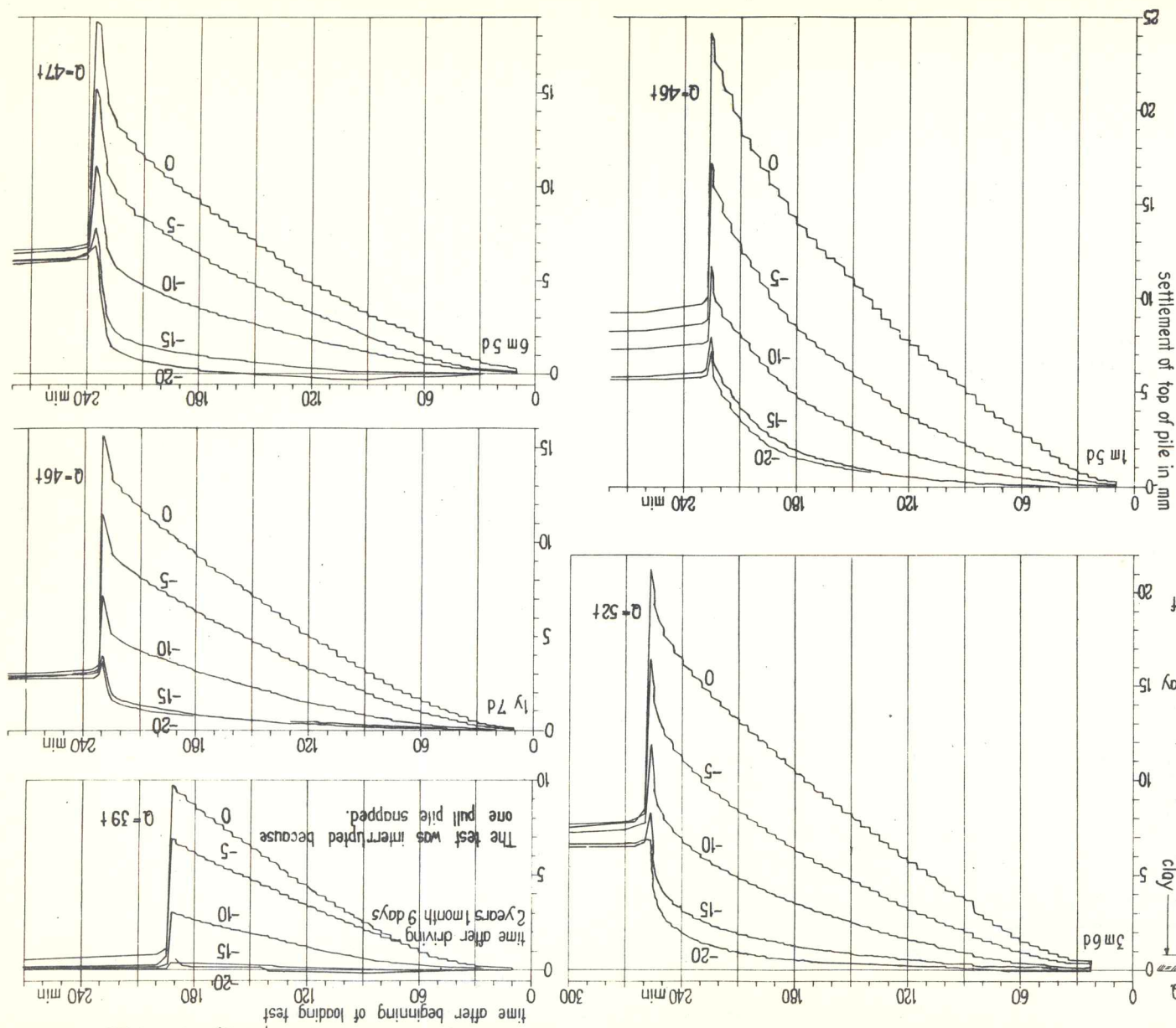
underpile = 25.1 t

$Q = 40.5 - 0.8 = 39.7$ t

The piles were joined with four flat steel bars butt to butt

It was not possible to continue the tests because the joint failed.





Pile No. 26
made of four 2" wooden planks, driven 16 VII 1948.

time after beginning of loading test

2 years 1 month 9 days

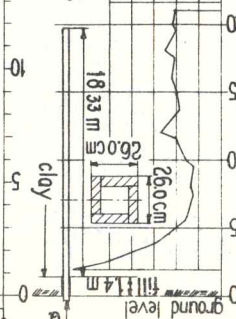
The test was interrupted because

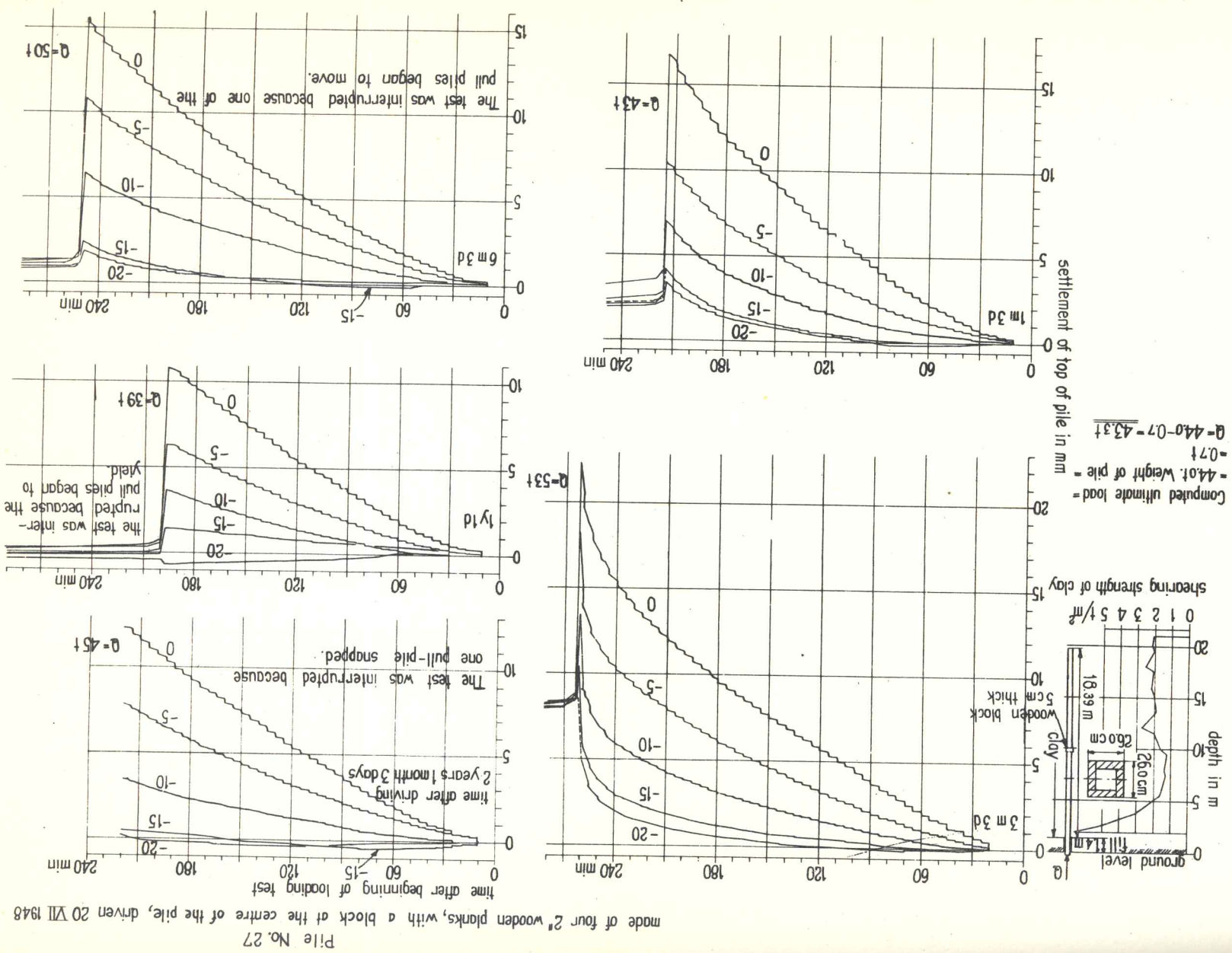
one pull pile snapped.

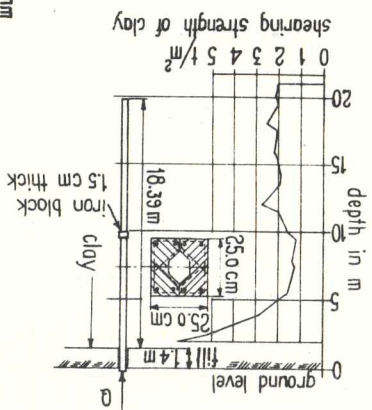
Computed ultimate load of
pile = 44.3t. Weight of
pile = 0.7t.

$Q = 44.3 - 0.7 = 43.6t$

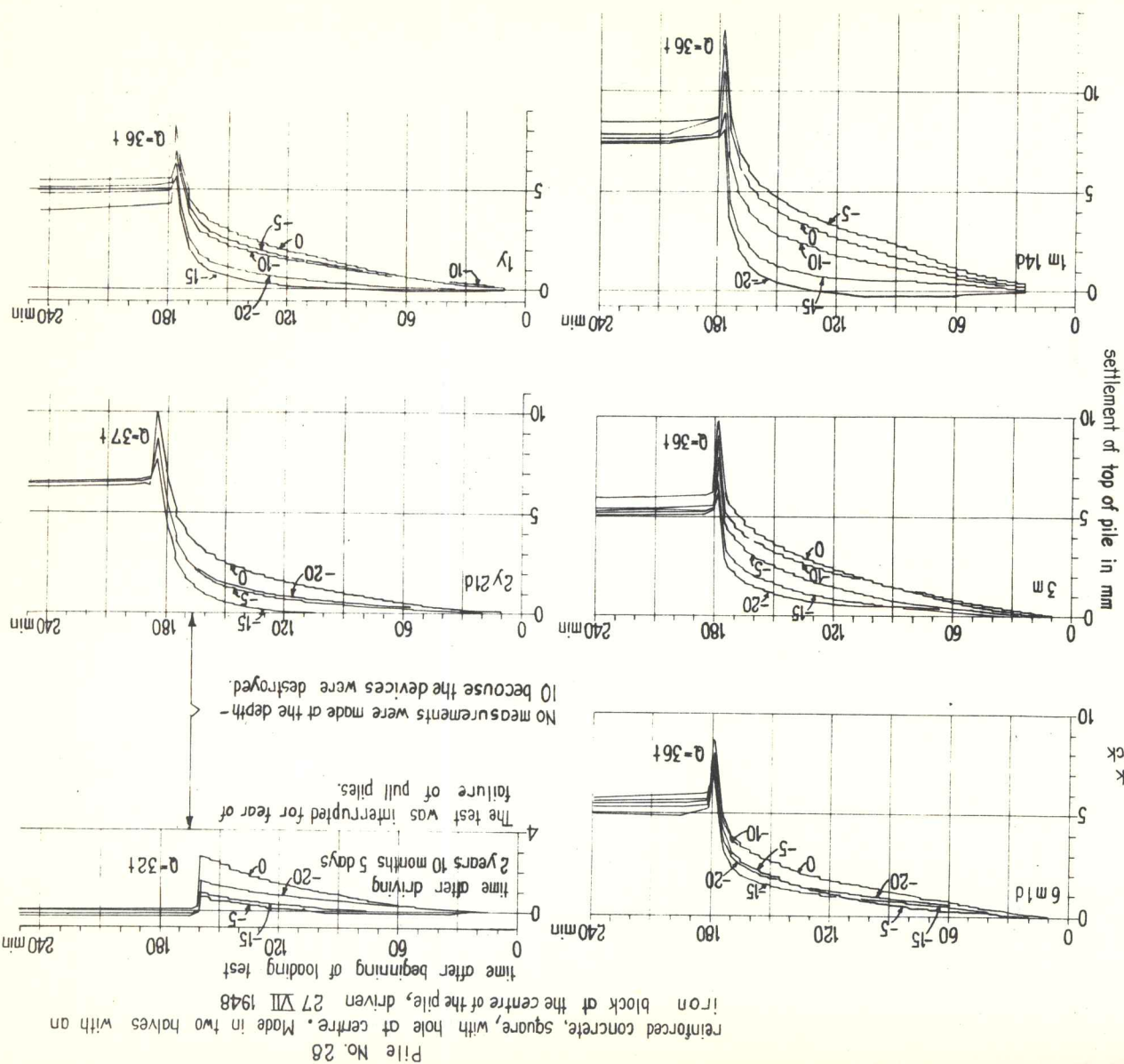
shearing strength of clay $5t/m^2$



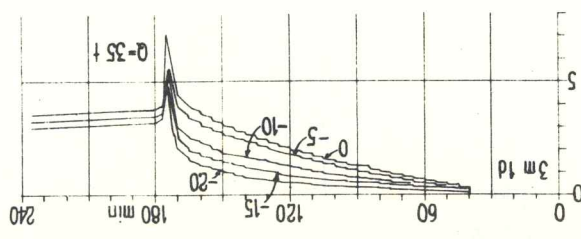
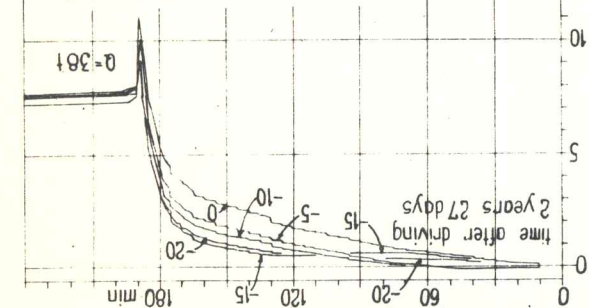
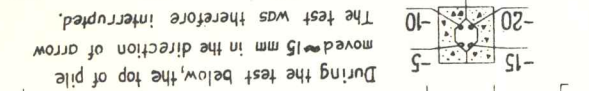
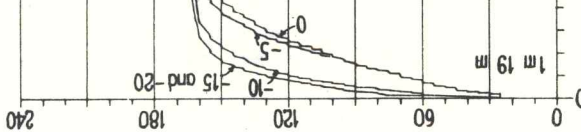
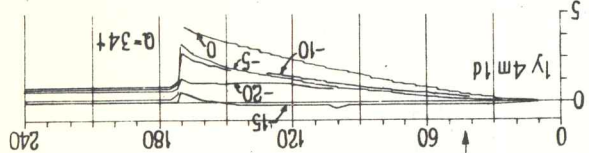
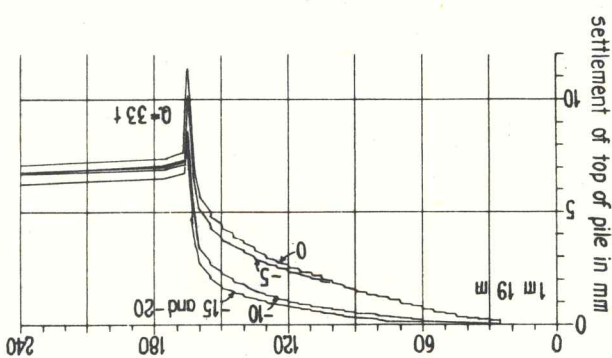
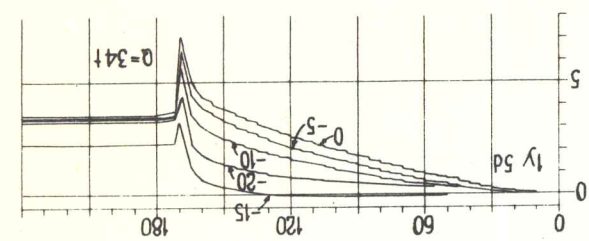
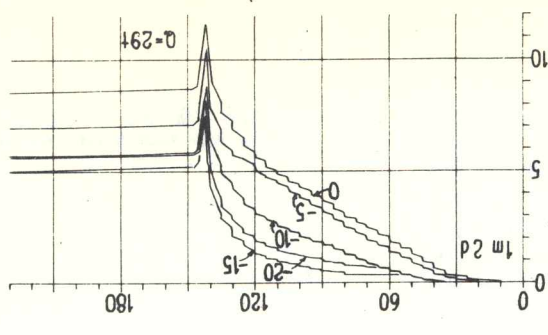
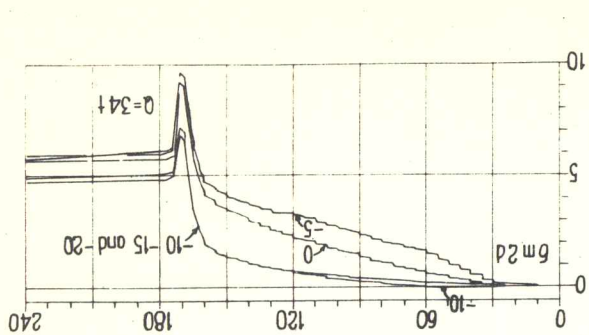




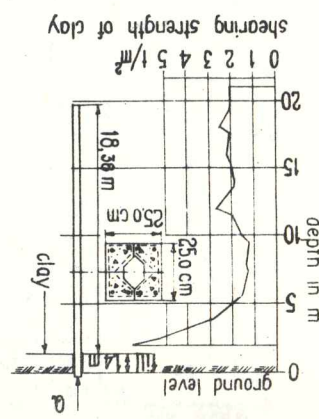
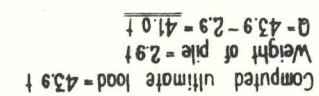
Computed ultimate load = 43.7 t
Weight of pile = 2.9 t
 $Q = 43.7 - 2.9 = 40.8 \text{ t}$

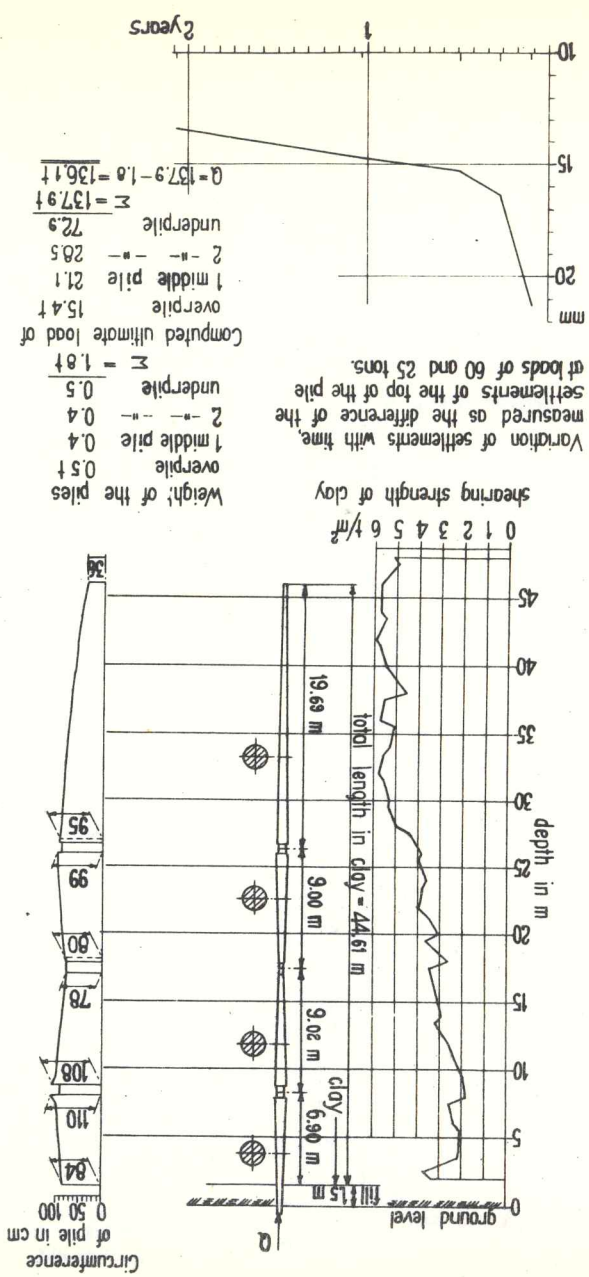
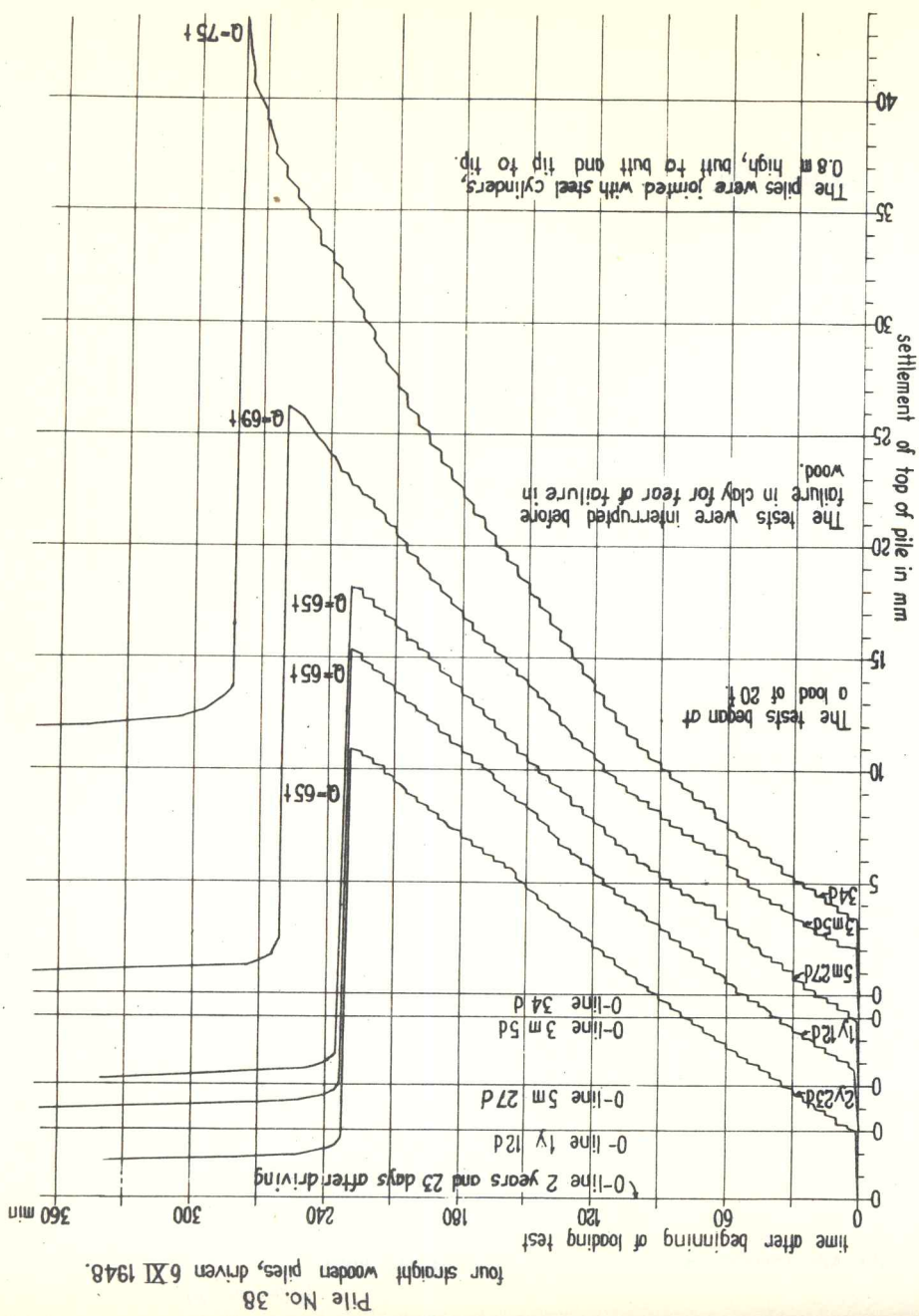


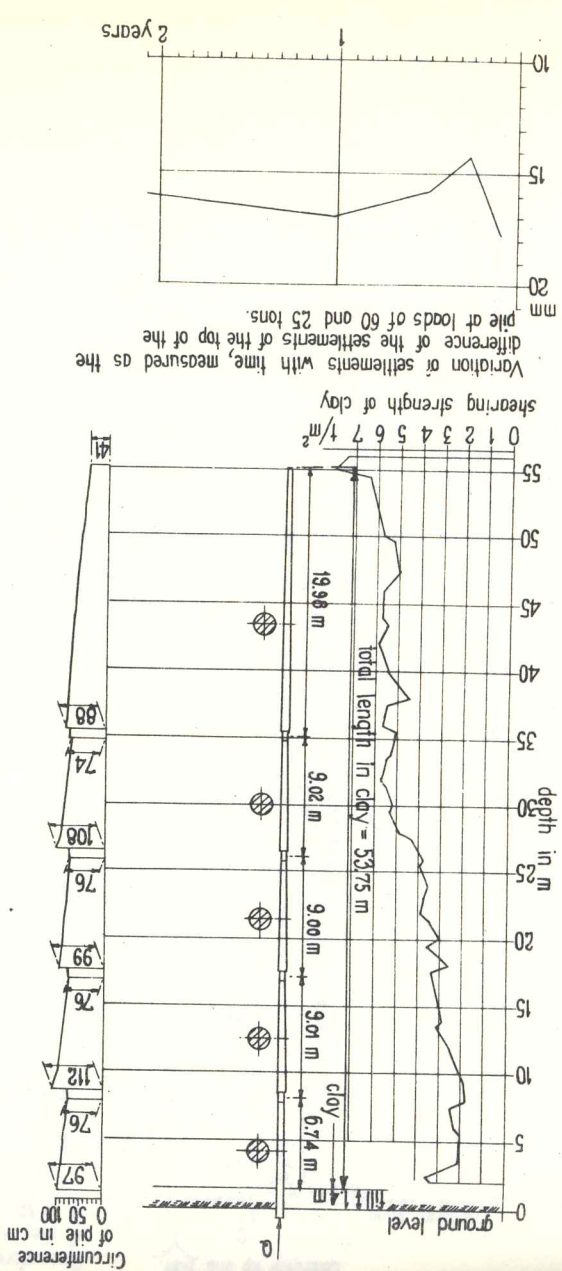
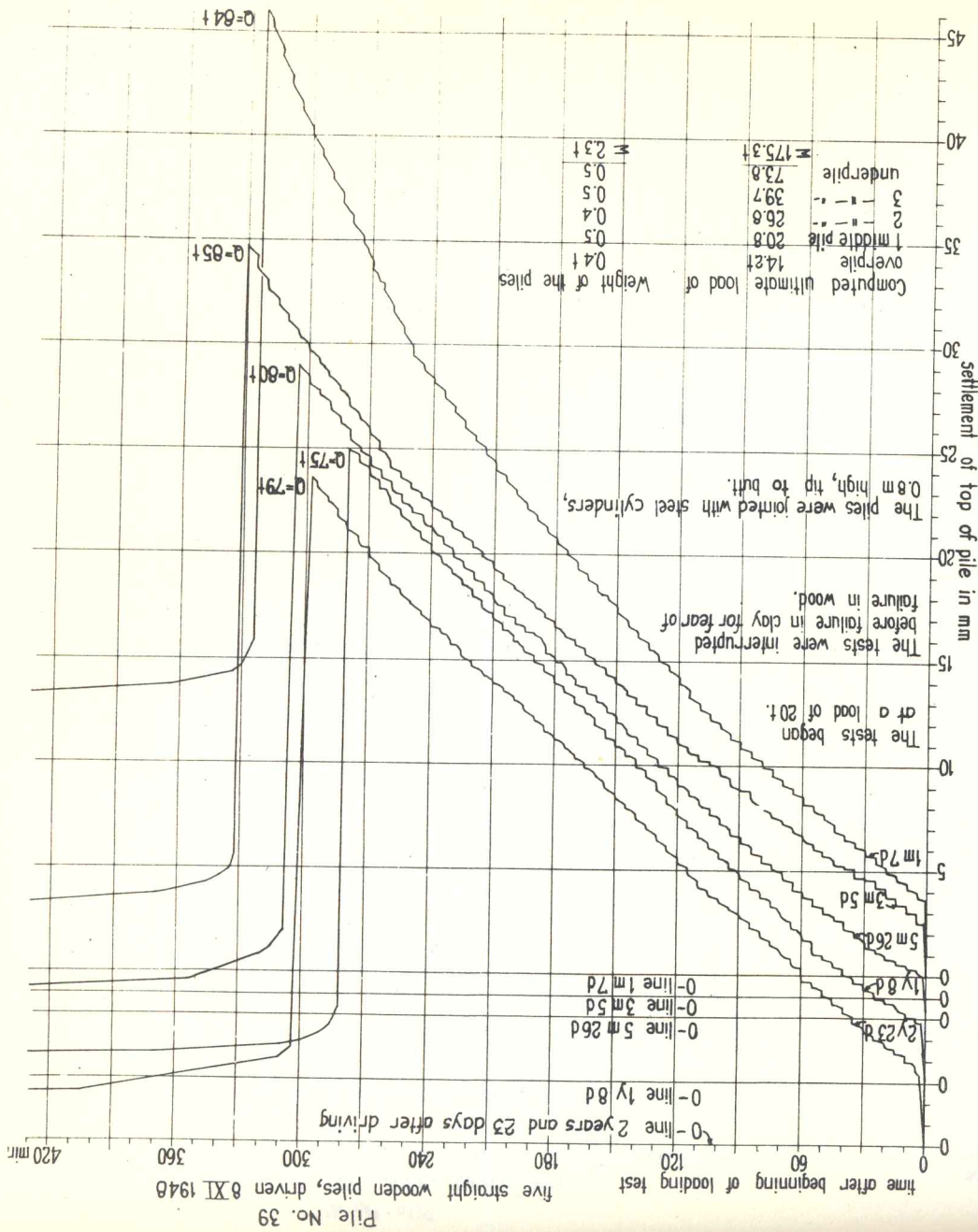
Pile No. 28
reinforced concrete, square, with hole at centre. Made in two halves with an iron block at the centre of the pile, driven 27 VII 1948

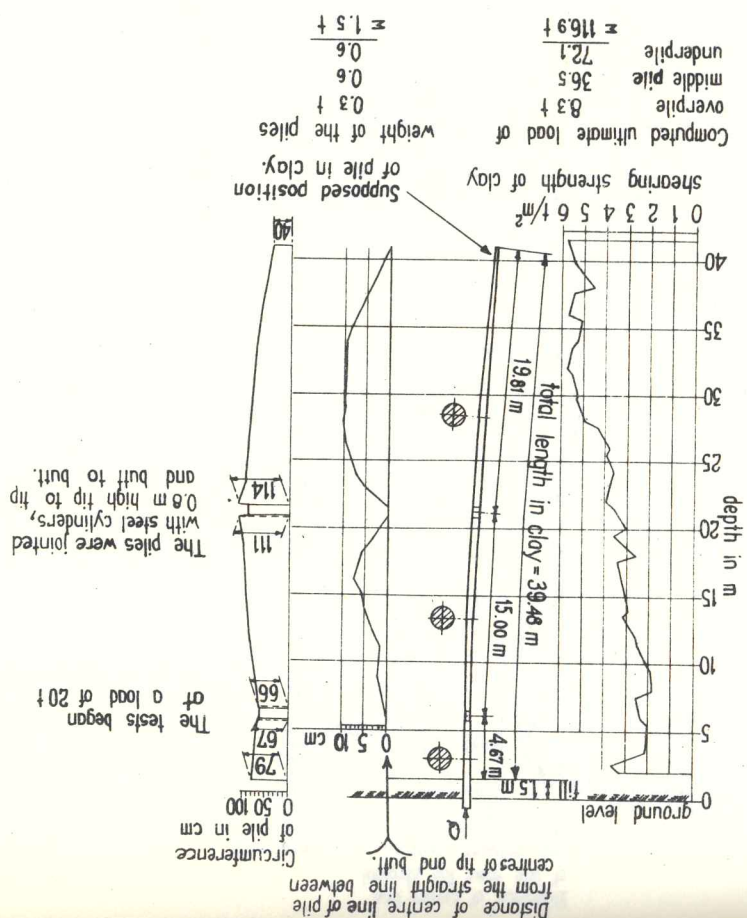
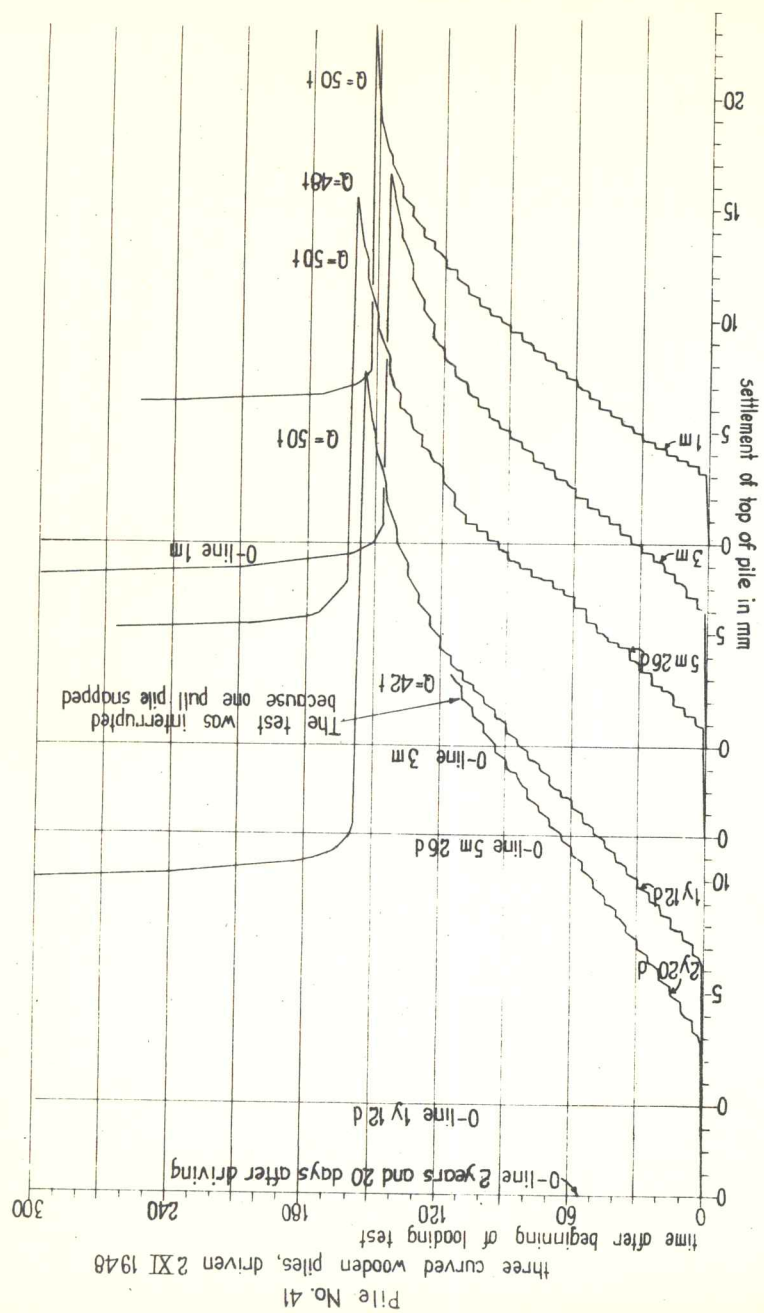


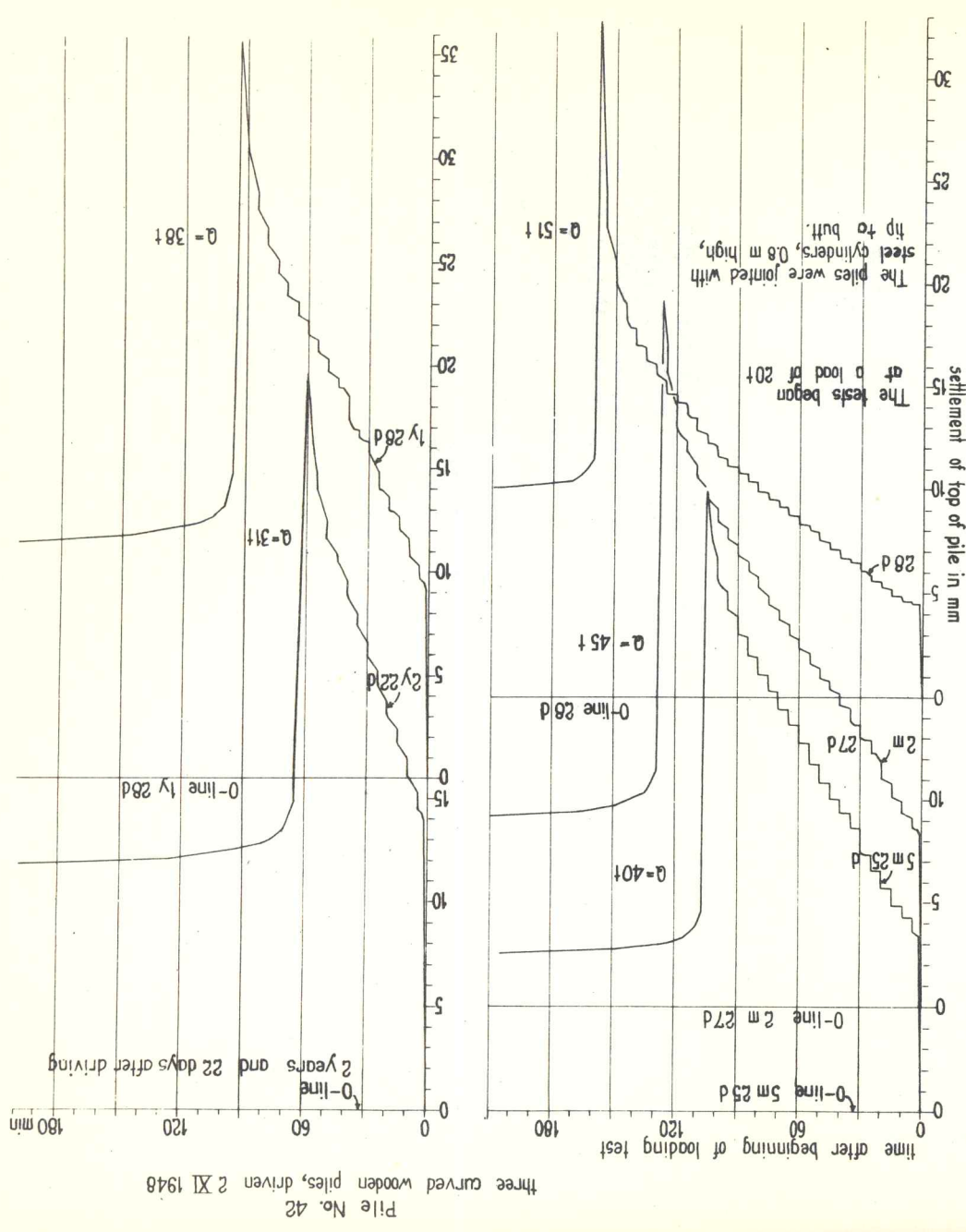
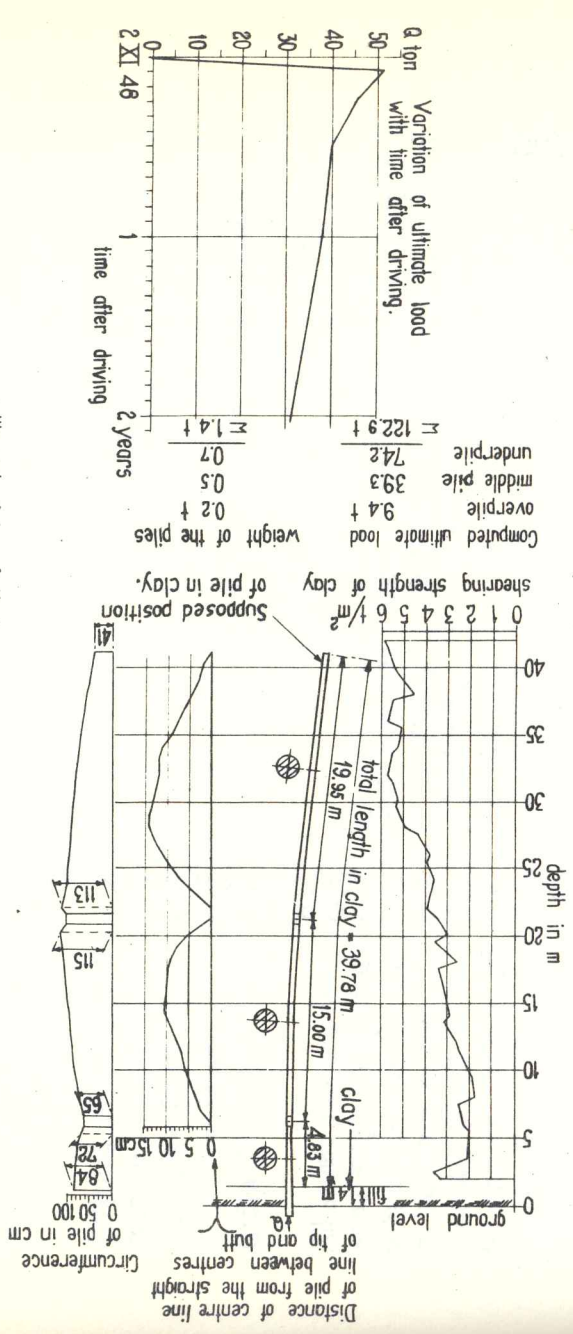
Pile No. 29
reinforced concrete, square, with hole at centre
Made in two halves, driven 23 VII 1948
Time after beginning of loading test



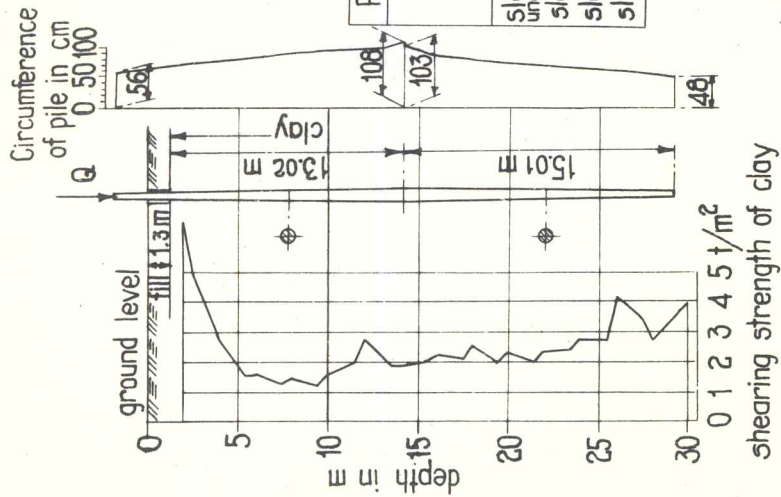
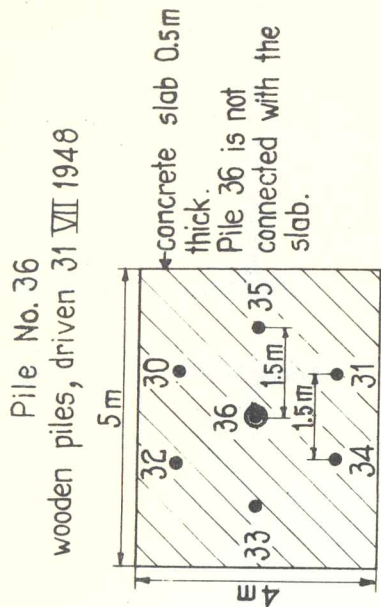






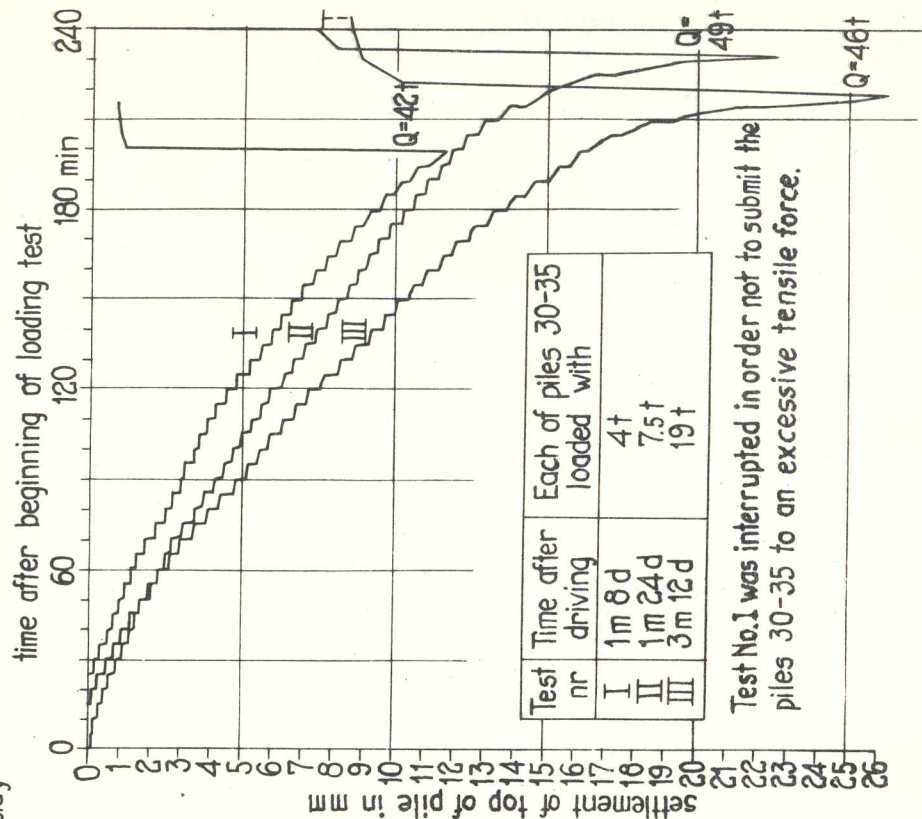


Pile No. 42
three curved wooden piles, driven 2 XI 1948



Piles 30-35 were loaded as follows

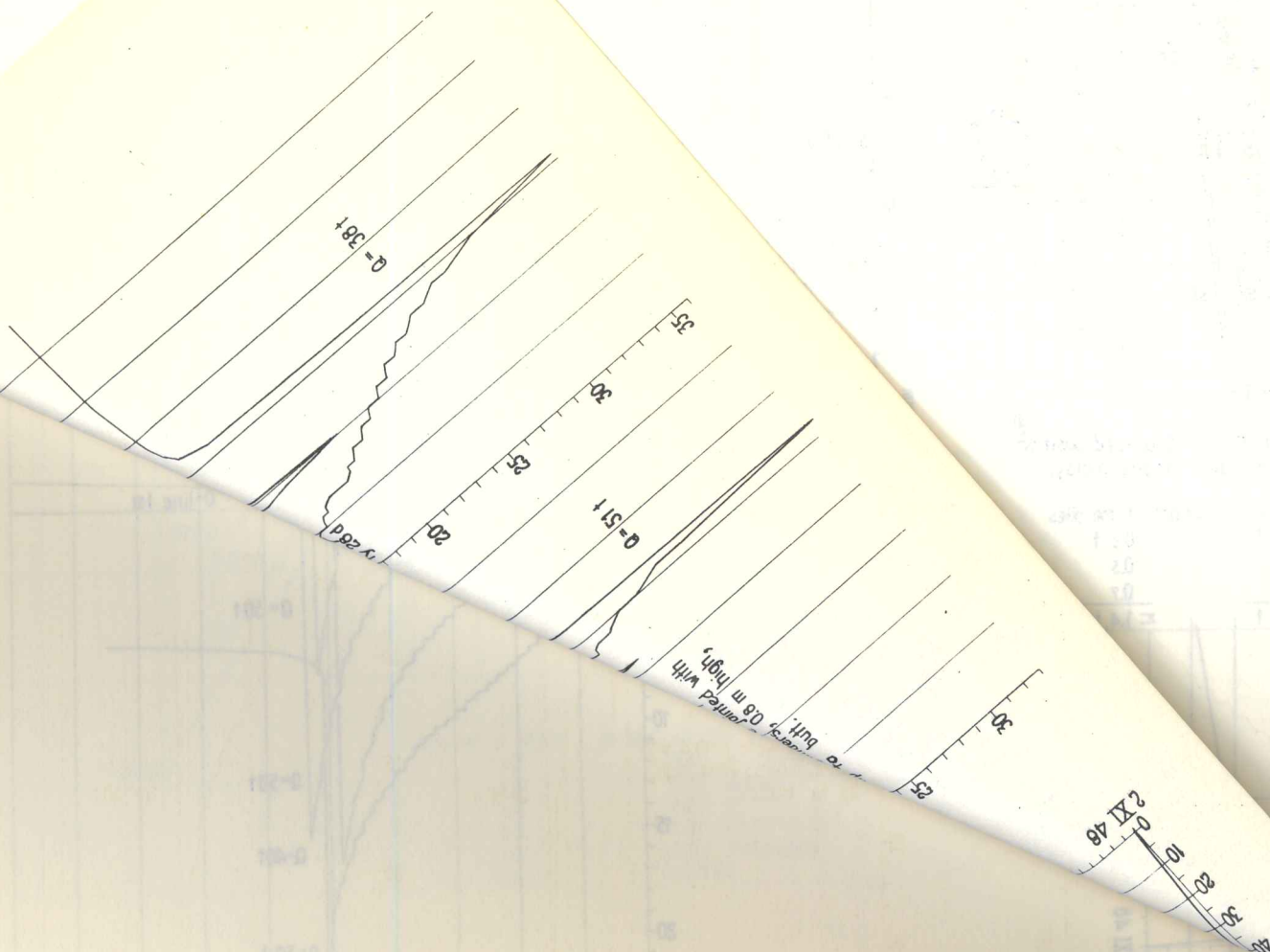
slab	total load	load on each pile	loading time	time after driving
under construction	0-25 t	0-4 t	31.VII-10.VIII 1948	0-10 d
slab	25 t	4 t	10.VIII-20.IX 1948	1m 20 d
slab+rails	45 t	7.5 t	20.IX-12.X 1948	2m 12 d
slab+rails	115 t	19 t	12.X 1948 - oct 1949	> 1 y



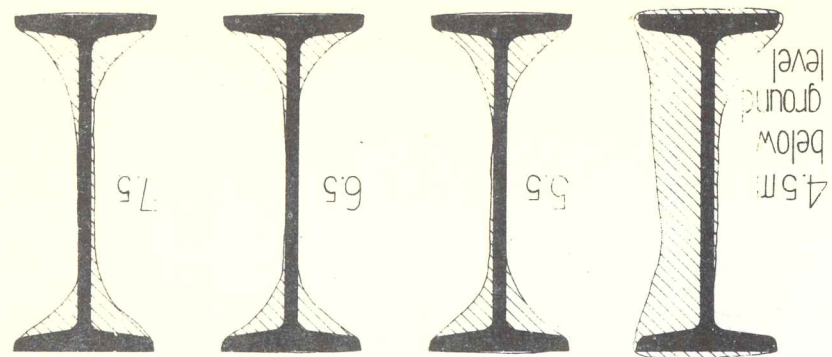
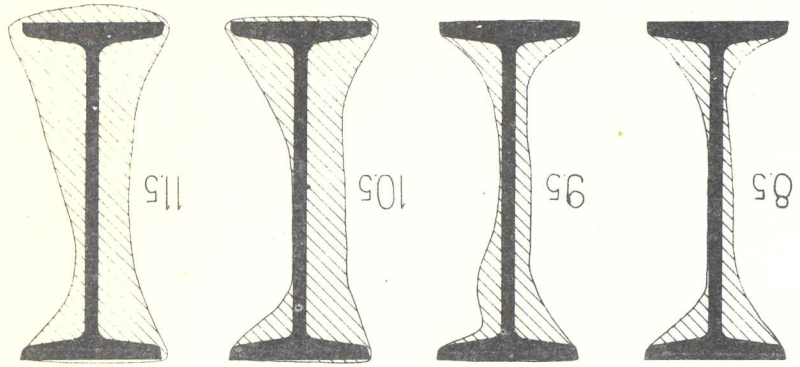
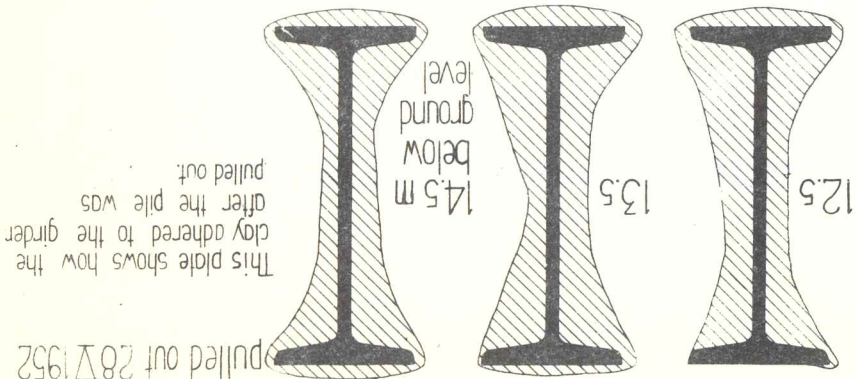
weight of pile 36
overpile = 0.4 t
underpile = 0.3 t
Σ 0.7 t

Computed ultimate load of
overpile = 26.3 t
underpile = 25.1 t
Σ 51.4 t
Q = 51.4 - 0.7 = 50.7 t

All seven piles are of same length and jointed with a steel cylinder 0.6 m high, butt to butt.
Overpiles 30-35
tip diam = 6" Overpile 36
tip diam = 7"

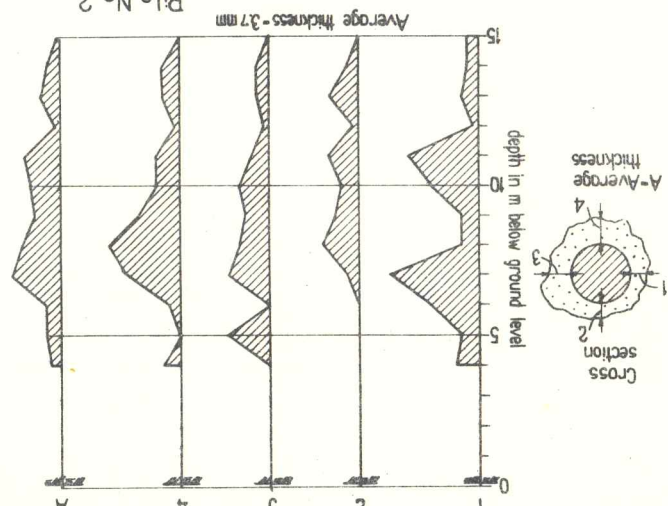


Pile No. 4
girders 1P 30 driven 13IV1948
pulled out 28V1952
This plate shows how the
clay adhered to the girder
after the pile was
pulled out.

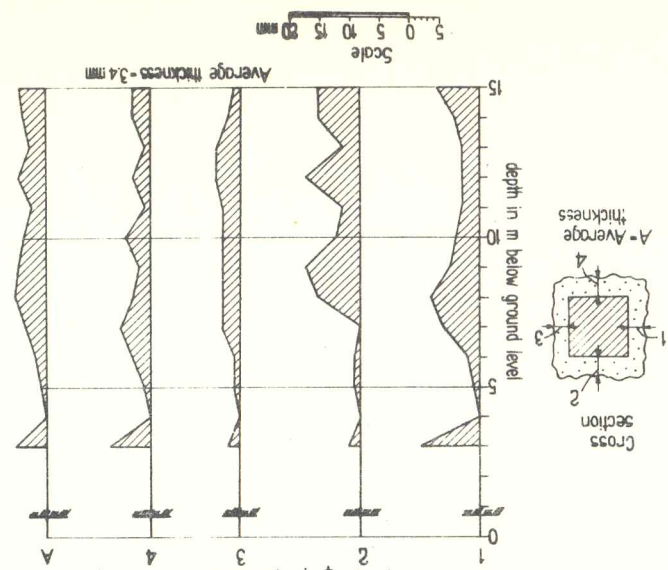


Thickness of clay adhering to the pile
after the pile was pulled out:

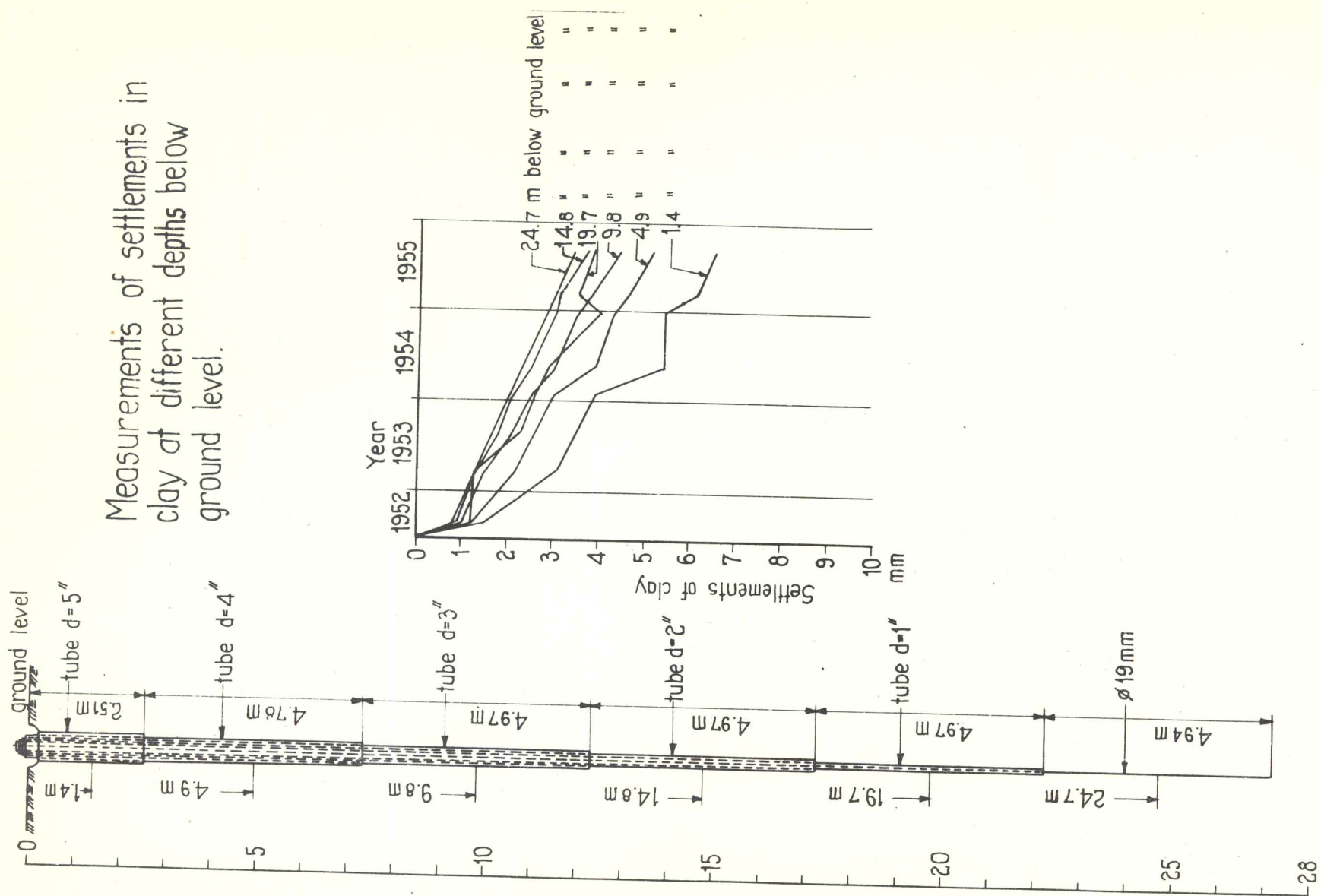
Pile No. 5
wooden pile cased with sheet iron, driven 30III1948, pulled out 12VI1952



Pile No. 2
reinforced concrete, square, driven 13IV1948, pulled out 13VI1952



Measurements of settlements in clay at different depths below ground level.



- Nr 1 Slagningsprov av pålskor med bergdubbar
Bror Fellenius 1963 10 kr
- 2 Provpålning för broar inom blivande Olskröcks-
och Gullbergsmoten i samband med byggande av
Europaväg 6 genom Göteborg
Bror Fellenius och Waldemar Pejrud 1964 slut
- 3 Jämförelse mellan moment, krökningsradie och
sprickvidd i betongpålar slagna genom lös le-
ra till släntberg vid Tingstadsleden, Göteborg
Bror Fellenius 1964 10 kr
- 4 Pålprovning för järnvägsbro vid Vännäs
Bror Fellenius 1964 10 kr
- 5 Beräkningsmetoder för sidobelastade pålar
Bengt Broms 1965 slut
- 6 Brottlast för snett belastade pålar
Bengt Broms 1965 10 kr
- 7 Beräkning av vertikala pålars bärförmåga
Bengt Broms 1965 10 kr
- 8 Provpålning mot släntberg vid Skansen Lejonet,
Göteborg
Waldemar Pejrud m fl 1965 25 kr
- 9 Inverkan av armeringsmängd, förspänning och
fallhöjd på sprickrisken hos betongpålar vid
slagning
Sven Sahlin 1965 15 kr
- 10 Bärförmågan hos armerade betongpålar slagna
till fast bergbotten
Hjalmar Granholm 1967 20 kr
- 11 Bärförmågan hos pålar slagna till släntberg
Bengt Broms 1965 15 kr
- 12 Dynamisk draghållfasthet hos modellpålar av
oarmerad betong. Resultat av orienterande
försök
Sven Sahlin och Lars Hellman 1966 15 kr
- 13 Pålgruppers bärförmåga
Bengt Broms 1967 10 kr
- 14 Påkänningar, sprickbildning och utmattning
vid slagning av armerade modellpålar av betong
Sven Sahlin och Bo-Göran Hellers (under ut-
givning)

ej fast-
ställt

Meddelande nr 5, 6 och 7 har även publicerats i Statens geotek-
niska instituts Särtryck och preliminära rapporter nr 9 (pris 30 kr)

Meddelande nr 11 har även publicerats i Statens geotekniska insti-
tuts Särtryck och preliminära rapporter nr 12 (pris 15 kr)

Meddelande nr 13 har även publicerats i Statens geotekniska insti-
tuts Särtryck och preliminära rapporter nr 18 (pris 10 kr)

Särtryck och preliminära rapporter

Nr 1	Allowable bearing capacity of initially bent piles Bengt Broms (slut) Referat från pålkommittens informationsdag 25 okt. 1965 Korta pålars sidomotstånd. Bengt Broms Korta pålar. Beskrivning av några aktuella påltyper och utförda försök Sven-Erik Bjerking, Thorild Blomdahl och Per Möller Provbelastning av påle slagen i lera och friktionsmaterial Gunnar Hellström Knäcklasten för momentstyvt skarvade pålar i lera Krister Cederwall	10 kr
2	Provbelastning av stödpålar av betong inom Östra Nordstaden, Göteborg Gunnar Hellström 1966	5 kr
3	Bärighet hos slänthet vid statisk belastning av bergspets. Resultat av modellförsök Sven-Erik Rehman 1966	5 kr
4	Om pålslagning och pålbärighet (Informationsdagen 14.11.66)	slut
5	Resultat av pålprovning vid Göteborg C Bror Fellenius 1955	20 kr
6	Om stoppslagning av stödpålar Lars Hellman 1967	5 kr
7	Undersökning med syfte att uppställa stoppslagningsregler för stålpålar slagna med tryckluftshammare Delrapport I Gunnar Fjellner 1967	5 kr
8	Industriell tillverkning av betongpålar Kajsa Sundberg och Arne Forsell 1968	10 kr
9	Digitalisering av stötvägsräkningar Delrapport I Lennart Vilander 1968 (under utgivning)	ej fastställt
10	Stoppslagningsregler för stålpålar slagna med lätta slagdon (tryckluftshammare) Delrapport II Gunnar Fjellner 1968 (under utgivning)	5 kr

Särtryck och preliminär rapport nr 4 har även publicerats i Statens geotekniska instituts Särtryck och preliminära rapporter nr 17 (pris 5 kr).

Övrigt
Slagning och provbelastning av långa betongpålar.
Försök i Gubbero, Göteborg
Statens Råd för Byggnadsforskning, rapport 99, 1964

Slagning av långa betongpålar. Statens institut för byggnadsforskning, informationsblad 1964:26
Lars Hellman