

MEDDELANDE NR 8

Provpålning mot släntberg
vid Skansen Lejonet, Göteborg

Av Waldemar Pejrud m. fl.

21 december 1965

Vid genomförandet och beskrivningen av fält- och laboratorieförsöken samt vid utarbetandet av diskussionerna av försöksresultaten har flera personer medverkat.

Sålunda har grundundersökningarna utförts av Ingenjör M. Ahnfors, Ingenjörsfirman Orrje & Co AB, Göteborg.

Bergindikering vid slagning har utförts och beskrivits av Civilingenjör Runo Stenberg, Ingenjörsfirman Orrje & Co AB, Stockholm.

Laboratorieförsöken har på uppdrag av Göteborgs Stads Gatunämnd utförts av Professor Hjalmar Granholms konstruktionsbyrå, Göteborg. Försöken utfördes av Civilingenjör Jan Ahlberg. Resultaten har redovisats i "Laboratorieprov på element från pålar slagna mot släntberg vid Skansen Lejonet i Göteborg den 5. 6. 1964 och den 31. 8. - 3. 9. 1964", den 20. 10. 1964 av Hjalmar Granholm / Jan Ahlberg. Av denna redovisning har stora delar införts i detta meddelande liksom vissa kompletteringar utarbetade av Civilingenjör Jan Ahlberg.

Dessutom har pålkommitténs styrelseledamöter och andra inom och utom kommittén bidragit med värdefulla synpunkter vid diskussion av försöksmaterialet.

* * * * *

De i meddelandet framförda åsikterna är författarnas och behöver icke vara pålkommitténs ståndpunkt.

Pris 25:- kr.

Provpålning mot släntberg vid Skansen Lejonet, Göteborg

INNEHÅLL

	Sida
Sammanfattning	I
Summary	IV
1 Orientering	1
2 Grundundersökningar	2
3 Provpålarnas konstruktion	2
4 Utförande	4
4.1 Fältförsök	4
.11 Nedslagning av provpålarna	4
.12 Bergindikering vid slagningen	5
.13 Inklinometermätning	6
.14 Uppdragning av provpålarna	7
4.2 Laboratorieförsök	7
.21 Böjprov av oskarvade pålelement	8
.22 Mätning av vinkeländring i skarv vid små belastningar	12
.23 Böjprov av skarvade pålelement	12
.24 Tryckprov av pålelement. Bestämning av E-modul	16
5 Resultat	
5.1 Fältförsök	17
.11 Nedslagning av provpålarna	17
.12 Bergindikering	18
.13 Inklinometermätning	19
.14 Uppdragning av provpålarna	19
5.2 Laboratorieförsök	21
.21 Böjprov av oskarvade pålelement	21
.22 Mätning av vinkeländring i skarv vid små belastningar	21
.23 Böjprov av skarvade pålelement	21
.24 Tryckprov av pålelement. Bestämning av E-modul	21

	Sida
6 Diskussion av försöksresultaten	22
Nedslagning av provpålarna	22
Krökningsradier i pålar, uppmätta vid inklino- metermätning	24
Sprickor i uppdragna pålar	24
Böjprov av oskarvade pålelement	25
Vinkeländring i skarvar och böjprov av skarvade pålelement	26
Tryckprov av pålelement. Bestämning av E-modul	28
Jämförelse med statistiskt material från två närbe- lägna byggnadsplatser	28
7 Slutord	31
Glossary	
Bilagor	
1 Situationsplan	
2 a Grundundersökningar, plan och tvärsektioner	
2 b Grundundersökningar, diagram över laboratorieresultaten	
3 a Pålarnas konstruktion, armering, skarvar, bergskor	
3 b Pålarnas konstruktion, kubprovningar	
4 Pålplan	
5 Slagningsdiagram	
6 Bergindikering	
7 a Tabeller innehållande uppgifter för varje provpåle rörande tillverkning, slagning, inklinomtermätning och uppdrag- ning samt uttagna provelement	
7 b Inklinomtermätning, plan- och horisontalprojektioner	
8 Laboratorieundersökning av jordprov	
9 a Samband mellan böjande moment och krökningsradie. Oskarvade pålelement	
9 b Samband mellan böjande moment och böjstyvhet. Oskarvade pålelement	
9 c Samband mellan böjande moment och max. sprickvidd. Oskarvade pålelement	
9 d Sammanfattning av data för oskarvade pålelement uttagna för böjprovning	
9 e Samband mellan böjande moment och mittutböjningen. Oskarvade pålelement	

- 10 a Vinkeländring i skarv vid små belastningar
- 10 b Samband mellan böjande moment och vinkeländring i skarvarnas hopkopplingsanordningar
- 10 c Samband mellan böjande moment och medelböjstyvhetskarvade pålelement
- 10 d Sammanfattning av data för skarvade pålelement uttagna för böjprovning
- 10 e Samband mellan böjande moment och mittutböjningen Skarvade pålelement
- 11 Tryckprov på oskarvade pålelement
- 12 Sammanställning av försöksresultat
- 13 Jämförelser beträffande vinkeländring i skarvar och krökningsradier i ett antal kvadratiska och runda betongpålar slagna vid Olskroksmotet, Göteborg

Tillägg 1

Provpålning mot släntberg vid Skansen Lejonet, Göteborg
Runda förspända betongpålar

Tillägg 2

Resultat från krökningsmätning på pålar för broar i Göteborg
av civilingenjör Håkan Berger, Statens Järnvägar

SAMMANFATTNING

Då och då förekommer att man vid grundläggning av byggnadsverk är tvungen att utföra pålning mot släntberg.

I Göteborg, i sydvästra delen av Sverige, utförs sådan pålning i ganska stor utsträckning för vissa gatu- och järnvägsbroar i samband med byggandet av Europaväg 6 genom staden. Härvid har bl. a. diskuterats i vad mån påltvärsnittets utformning kan ha någon inverkan på pålspetsens möjligheter att få fäste i berget.

För att studera hithörande problem har en provpålning med betongpålar med ospänd armering utförts på en plats i anslutning till ovannämnda byggnadsobjekt, där grundundersökningar visat förekomst av släntberg med ungefär 45° lutning. Proven omfattade även krökningsmätning och uppdragning av provpålarna samt laboratorieprovning av uttagna pålelement för att i möjligaste mån klargöra slagningens och krökningens inverkan på betongen.

Resultaten av denna provpålning redovisas och diskuteras i detta meddelande.

I "Tillägg nr 1" redovisas och diskuteras likadana försök som utförts på fyra runda pålar med förspänd armering.

I "Tillägg nr 2" redovisas resultat från krökningsmätning, som utförts i pålar vid grundläggningsarbetena för två järnvägsbroar över ovannämnda trafikled genom Göteborg.

Provpålningen har totalt omfattat 16 st 8 m långa betongpålar med en skarv ($10 + 8 = 18$ m), tolv med ospänd armering och fyra med förspänd armering. Av pålarna med ospänd armering hade fyra kvadratisk, fyra sexkantig och fyra rund tvärsnittsarea. De fyra pålarna med förspänd armering var runda.

Försöken har utgjorts av fältförsök, innefattande slagning, lutnings- och krökningsmätning och uppdragning samt laboratorieförsök, bestående av glappmätning i skarvar samt böj- och tryckprov på uttagna pålelement.

De kvadratiske pålarna skarvades med en skarv, som i princip består av två i vardera påldelen diagonalt placerade rundstålsdubbar, vilka införes i på motsvarande sätt placerade stålblock försedda med urtag för dubbarna. Dubbarna fastspännes i stålblocken med fyra låspinnar. De sexkantiga och runda pålarna med ospänd armering skarvades med en skarv med sextungad bajonettfattning. De runda förspända pålarna skarvades med bultskarv med 3 st $7/8''$ bultar, Bufo 80.

Samtliga pålar hade pålskor med ståldubbar med 60 mm diameter och en ythårdhet av ca 58 R_C motsvarande ca 590 Brinell.

Slagningen utfördes med 3 ton fallhejare upphängd i enkel part och 0,15 m fallhöjd tills pålspetsen nått bergytan. Därefter fortsattes slagningen med 0,15 m fallhöjd till dess pålen sjunkit 6 cm eller erhållit max 1500 slag. Slutligen slogs

50	slag	med	30	cm	fallhöjd	
50	"	"	40	"	"	och
10	"	"	50	"	"	

Av de tolv pålarna med ospänd armering fick två kvadratiska, tre sexkantiga och tre runda pålar fullgott stopp enligt ovan. En kvadratisk påle fick inte fäste i bergytan. För en kvadratisk, en sexkantig och en rund påle avbröts slagningen på grund av att sjunkningen plötsligt visade ökande tendens under stoppslagningen. Vid uppdragningen konstaterades, att en av de kvadratiska pålarna blivit så krökt att synliga skador uppkommit på trycksidan ca 3,2 m från pålspetsen.

Av de fyra förspända pålarna fick två fullgoda bergstopp, en fick inte fäste i berget och en gick av vid slagningen, vilket kunde bekräftas efter uppdragningen.

Efter uppdragningen av provpålarna kunde även konstateras, att pålavsnitt med relativt stor krökning uppvisade tämligen riklig sprickbildning. Den förspända påle, som gick av vid slagningen, uppvisade ett mycket definitivt brott i betongen genom hela betongtvärsnittet.

Laboratorieförsöken ger beträffande pålarna med ospänd armering en antydning om, att långvarig slagning på en påle, som samtidigt möter stort motstånd vid spetsen, åstadkommer en minskning av böjstyvheten och en ökning av sprickvidden vid böjning. Provningarna av skarvade pålelement visade, att sexkantiga och runda pålelement hade större initialglapp och större vinkeländring under provningarna än kvadratiske pålelement. Krökningsmätningarna i pålarna efter nedslagningen visar dock, att största krökning och största vinkeländring i skarvar förekommer i de kvadratiske pålarna.

På grund av att de förspända pålarna icke har samma armeringsmängd som pålarna med ospänd armering är resultaten av laboratorieförsöken för respektive påltyper icke direkt jämförbara. Dock kan även för de förspända pålarna konstateras att kraftig slag-

ning märkbart inverkar på böjstyvhet, brottmoment och sprickvidd vid böjning. Vidare kan konstateras att böjstyvheten sjunker hastigt vid ökande böjande moment.

De i "Tillägg nr 2" redovisade rutinmässiga kontrollmätningarna från två arbetsplatser visar att pålar vid slagningen ofta krökes och därigenom avviker från den från början avsedda riktningen.

SUMMARY

Structures in Sweden are frequently founded on long piles which are driven to rock. It is not unusual that the supporting rock surface is not level and that the piles slide along the sloping rock surface.

Long piles have been used extensively in Gothenburg which is located in the southwestern part of Sweden. For example long piles have been used recently in Gothenburg to support highway and railroad bridges in connection with the construction of a new highway. However, the rock surface at many of the construction sites is sloping steeply (45 degrees) and the piles may slide along the rock surface during driving instead of penetrating into the rock.

In order to investigate some of the factors which prevent the pile point from sliding along a rock surface 12 test piles of different shapes have been driven at a site where the slope of the rock surface is about 45° . After driving the curvature of the test piles was measured with an inclinometer which was lowered into a steel pipe located along the center line of the test piles. Thereafter the piles were pulled out of the ground and investigated in the laboratory with respect to the possible deterioration of the concrete which could have been caused by the driving of the piles and by the pile curvature.

The results of this investigation are discussed in this publication. Additional tests with prestressed concrete piles are presented in Appendix No 1 and in Appendix No 2 results of curvature measurements are given which have been obtained from two railroad bridges located close to the test site mentioned above.

The test program consisted of 12 jointed, reinforced concrete piles with 18 m (10 + 8) length. Of these 12 piles four were square, four hexagonal and four circular. In addition four prestressed circular piles with the same length (18 m) as the reinforced concrete piles mentioned above were tested.

Three different standard pile joints of a type which is frequently used in Sweden were investigated. The stiffness and the tensile strength of these joints are about the same as the piles themselves.

The pile shoe had a detachable dowel point with 60 mm diameter. The surface hardness number of the dowel points is about 58 according to Rockwell and about 590 according to Brinell.

The piles were first driven to rock by a 3-ton drop hammer with a free fall of 0,15 m. After the pile had penetrated 6 cm into the rock surface or after 1500 blows the free fall was increased according to the following schedule:

50	blows	with	30	cm	free	fall	
50	"	"	40	"	"	"	and
10	"	"	50	"	"	"	

(no correction for frictional losses has been made).

Of the twelve reinforced concrete piles two square, three hexagonal and three circular piles were driven to refusal. One square pile slid on the sloping rock surface. The driving of one square, one hexagonal and one circular pile was stopped when the piles reached the rock surface (when penetration resistance increased). When the piles were later pulled and inspected it was found that the concrete had been damaged on one square pile approximately 3,2 m from the pile tip.

Two of the four prestressed piles were driven to refusal. One pile slid on the sloping rock and one was damaged during driving. This was confirmed when the pile later was pulled.

The laboratory tests indicated that the stiffness of the pile sections was decreased by extensive driving and that the average crack width is increased. Tests showed furthermore that the bayonet joints which were used in the hexagonal and the circular piles had a larger initial free play and showed larger angular change than the square piles with prestressed joints. The inclination measurements which were made after driving, however, showed the smallest radius of curvature and the largest angular change in square piles.

The prestressed piles were designed to support a smaller load than the other piles tested. Therefore the test results which were obtained from the prestressed concrete piles cannot be compared with the results from the reinforced concrete piles. Hard driving caused a decrease of the pile stiffness and of the ultimate bending moment and an increase of the crack width when the piles were tested later in bending. The test results showed furthermore that the stiffness decreased more rapidly for prestressed concrete piles with increasing applied load than for the reinforced concrete piles when the piles were later tested in bending.

PROVPÅLNING MOT SLÄNTBERG VID SKANSEN LEJONET, GÖTEBORG

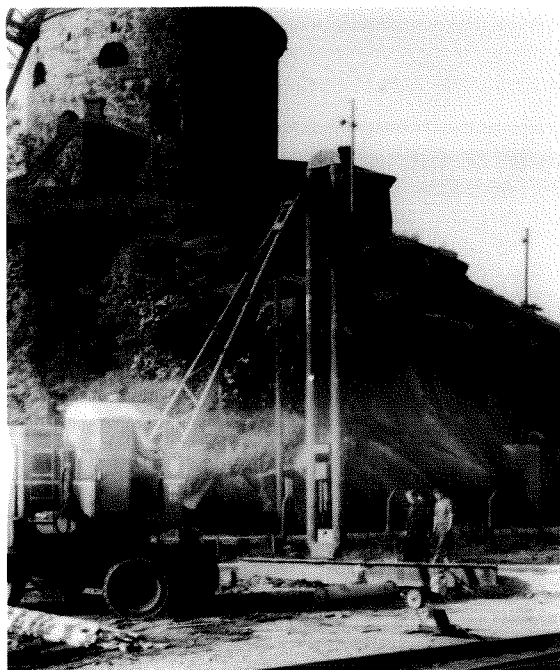


Bild 1. Provpålningsplatsen
Location of test piles

1 ORIENTERING

Pålning mot släntberg förorsakar i många fall ökade grundläggningskostnader på grund av stor bortslagningsprocent.

I Göteborg är detta synnerligen aktuellt vid pålning för en del gatu- och järnvägsbroar i samband med utbyggandet av den s. k. Tingstadsleden. En frågeställning, som härvid bl. a. diskuterats, är huruvida en i övrigt jämnstark påle med rund eller sexkantig tvärsnittsarea lättare skulle kunna få fäste i berget än en påle med kvadratisk tvärsektion.

För att genom fältförsök och laboratorieprovningar söka få fram lämpligaste tvärsnitt för pålar som skall slås mot släntberg och därvid studera slagningens och krökningens inverkan på pålma-

teriale, har Göteborgs Stads Gatukontor på uppdrag av Kungl. Väg- och Vattenbyggnadsstyrelsen och med bidrag av statliga medel i samarbete med IVA:s påkommitté utfört en provpålning omedelbart norr om Kruthusgatan vid Skansen Lejonet i Göteborg, där grundundersökningar visat förekomst av släntberg. Platsen finns markerad på situationsplanen, bil. 1 och visas på foto nr 1.

Försöken, som utförts med tolv betongpålar, fyra kvadratiska, fyra sexkantiga och fyra runda, har bestått av fältförsök bestående av slagning, lutningsmätning (inklinometermätning) och uppdragning samt laboratorieförsök, bestående av glappmätning i skarvar, böjprov och tryckprov.

I detta meddelande redogörs för försöken och redovisas resultaten.

2. GRUNDUNDERSÖKNINGAR

För att få fram lämpligaste plats för fältförsöken utfördes omfattande sonderingar av Ingenjörfirman Orrje & Co, Göteborgs-avdelningen.

Efter sonderingar med ganska glest belägna borrhälsborrpunkter kom man fram till ett område, där täta sonderingar utfördes, och som bedömdes som lämpligaste plats för provpålningen. Här utfördes även jordbergborrning, varvid borrhålslängden efter bergkontakt i allmänhet varierade mellan 1 och 4 meter. Därjämte gjordes provtagning i två punkter. Resultaten av grundundersökningarna finns redovisade på bilagorna 2a och 2b. Bil. 2a omfattar plan och tvärsektioner av det mindre området. På planen anges borrhålens lägen, djupet till berg under markytan, interpolerade nivålinjer för bergytan, dragna med streckade linjer samt provpålarnas lägen. Bil. 2b omfattar diagram över resultaten av laboratorieprovningarna för de upptagna jordproven.

3. PROVPÅLARNAS KONSTRUKTION

Av de tolv provpålarna var fyra kvadratiska 25 x 25 cm, 625 cm², fyra sexkantiga med 15,2 cm sidlängd och 600 cm² tvärsnittsarea samt fyra runda med 28 cm diameter och 615 cm² tvärsnittsarea. Pålarna var försedda med fastgjutna bergskor och centrumrör för inklinometermätning. Konstruktionerna framgår av bil. 3a.

Samtliga provpålar var 18 m långa med 10 m under- och 8 m överpåle.

De kvadratiske pålarna, nr 4, 6, 9 och 11, var av typ ABB, tillverkade vid AB Skånska Cementgjuteriets pålfabrik vid Måröd. Armeringen bestod av 4 st ϕ 19 Ks 60 med spiralarmering av ϕ 5 med stigningen 100 mm på en sträcka av 1 m från båda ändarna av ett pålelement samt 200 mm däremellan. Pålskarven var av typ ABB och bergskon i specialkonstruerat utförande. Centrumrören hade en yttre diameter av 48 mm och en inre diameter av 42 mm. Gjutningen utfördes den 22 april 1964. Bild nr 2 och 3 visar pålhuvud och pålspets för de kvadratiske pålarna.



Bild 2. Pålhuvud, kvadratisk påle

Pile head, square pile

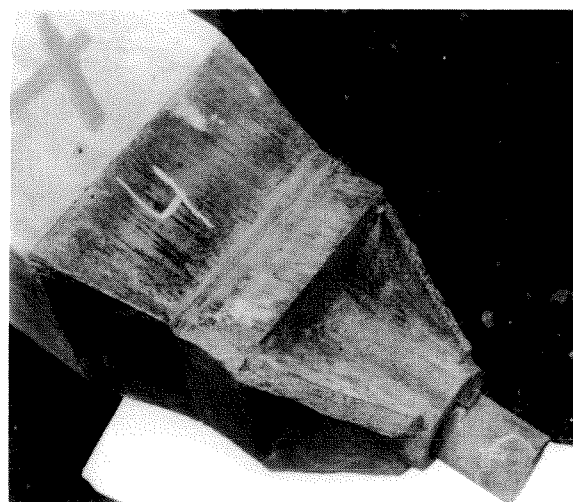


Bild 3. Bergsko, kvadratisk påle

Pile point, square pile

De sexkantiga pålarna, nr 1, 5, 10 och 12, var av typ Herkules, tillverkade vid Nya Asfalt AB:s pålfabrik vid Ucklum. Armeringen utgjordes av 6 st ϕ 16 Ks 60 med spiralarmering ϕ 5 stigning 100 mm uteder hela pålen. Skarven var av bajonettyp, modell Herkules, och bergskon av bolagets standardtyp. Pålhuvudet utgjordes av ett skarvbeslag, varpå under slagningen placerades en stålplatta enligt gängse rutin. Gjutningen utfördes den 12 mars 1964.

De runda pålarna, nr 2, 3, 7 och 14, var tillverkade av Byggnadsaktiebolaget Paul Anderson, Västerås. Armeringen utgjordes av 6 st ϕ 16 Ks 60 med spiralarmering ϕ 4,2 stigning

75 mm på en sträcka av 750 mm vid ändarna av ett pålelement och 150 mm däremellan. Skarv och pålsko var av samma typ som för de sexkantiga pålarna. Gjutningen utfördes den 6 mars 1964.

Foto 4 och 5 visar pålhuvud, skarv och pålspets för de sexkantiga och runda pålarna.

Centrumrören i de sexkantiga och runda pålarna var sömlösa och hade en yttre diameter av 45 mm och en inre diameter av 41 mm.

Betongen i samtliga pålar avsågs vara av klass I, K 500. Kubhållfastheten framgår av bil. 3b.



Bild 4. Pålhuvud och skarv
runda och sexkantiga pålar

Pile head and joint,
circular and hexagonal piles



Bild 5. Skarv och bergsko, runda
sexkantiga pålar

Joint and pile point, circular and hexagonal piles

4. UTFÖRANDE

4.1 Fältförsök

4.11 Nedslagning av provpålarna

Slagningen utfördes med pålkran av typ Åkerman med 3 ton hejare upphängd i enkel part.

Pålarnas placering framgår av pålplan, bilaga 4.

Enligt uppgjort program skulle pålarna slås ned med lätta hejarslag, 15 à 20 cm fallhöjd, tills pålspetsen nådde berget. Där-

efter skulle slagning ske med 15 cm fallhöjd tills pålens sjunkning översteg 6 cm eller till maximalt 1.500 slag, samt slutligen

	50	slag	med	30	cm	fallhöjd
	50	"	"	40	"	"
och	10	"	"	50	"	"

Skulle pålen glida utmed berget eller gå sönder, skulle slagningen omedelbart avbrytas och inklinometermätning utföras.

Detta program följdes.

När bergspetsen, genom iakttagande av hastigt avtagande sjunkning hos pålen samt studs hos hejaren och för vissa pålar genom akustisk bergindikering, bedömdes ha nått bergytan, uppmättes pålarnas sjunkning, genom ett avvägningsinstrument på en på pålen fastklistrad millimeterskala och avläsning skedde i regel efter vart 50:e slag.

För de 10 slagen med 50 cm fallhöjd uppmättes pålarnas fjädring.

Trämellanlägget i dynan, bestående av 3 lager 1" furubräder ersattes med nytt trä vid skarvningen för samtliga pålar.

Slagningen avbröts, när sjunkningen, sedan bergspetsen nått berget, av någon anledning hastigt ökade.

4.12 Bergindikering vid slagningen

Vid pålning mot släntberg är det värdefullt att kunna konstatera, när pålspetsen når bergytan. I samband med försöken utfördes därför mätningar med s. k. bergindikator av Ingenjörsfirman Orrje & Co AB under ledning av civilingenjör Runo Stenberg. Indikationen på att berg påträffats erhöles genom att med hjälp av bergmikrofon, nedförd i ett borrhål i berget, avlyssna och uppmäta det av pålslagningen alstrade och till pålspetsen transporterade ljudet. Vissa ljudvågor dämpas som bekant kraftigt vid passage genom jord, medan de i berg som regel fortplantas med ringa dämpning.

Under en första försöksomgång användes en magnetisk mikrofon med begränsat frekvensområde, omkring 1.000 Hz, placerad i borrhål A i berg, se bil. 1.

Vid slagning av pålarna 6, 10 och 14 användes som ljudupptagare en accelerometer, fabrikat Brüel & Kjaer, typ 4328, med brett frekvensområde. Accelerometern är sammanbyggd med katodföljare i vattentätt hölje. Den anbringades i borrhålet med känslighetsriktningen i vertikal led. Accelerometermätningarna registrerades genom upptagning på band med en bandspelare, typ Nagra III.

Därutöver gjordes registrering av ljud genom påle och berg för flertalet pålar, varvid slag åstadkoms dels med en pneumatisk bilningshammare, vertikalt ansatt mot betongen vid pålhuvudet, dels med en slägga (ca 4 kg) mot ett armeringsstål. Även dessa mätningar registrerades på band.

Vid Tekniska högskolan, taltransmissionslaboratoriet, har ljudupptagningar från 20 karakteristiska slag under slagning i jord och mot berg samt slag omedelbart före och efter bergkänning analyserats med en ljudspektrograf, Sonagraph, principskiss på bil. 6. Denna arbetar på så sätt, att ett tidavsnitt av det ljud, som skall analyseras, upptages magnetiskt på kanten av en roterande stålskiva. Detta avsnitt spelas därefter upp gång efter gång, medan skivan roterar. Ljudet får passera en ljudanalysator, vars frekvens ändras ett visst antal Hz för varje avspelning. Intensiteten hos ljudet vid de skilda frekvenserna registreras på en skrivare, som ger en med intensiteten varierande svärtning i ett diagram, där abskissan motsvarar frekvensen och ordinatan ljudets tidläge i upptagningen. Man erhåller alltså ett treaxligt samband mellan tid, frekvens och ljudstyrka, där ljudstyrkan dock ej mätes i någon definierad storhet utan endast bedömes med ledning av svärtningen.

4.13 Inklinatormätning

Efter nedslagningen gjordes inklinometermätning i samtliga pålar, dvs. att man i valda mätpunkter på olika nivåer i pålarna med hjälp av en s.k. inklinometer uppmätte centrumrörets maximala lutning i vertikalplanet och denna lutnings riktning (bäring) i horisontalplanet.

Lutningsvinkeln i en mätpunkt antas på ömse sidor om denna vara oförändrad på halva sträckan till intilliggande mätpunkter samt för översta och ne-

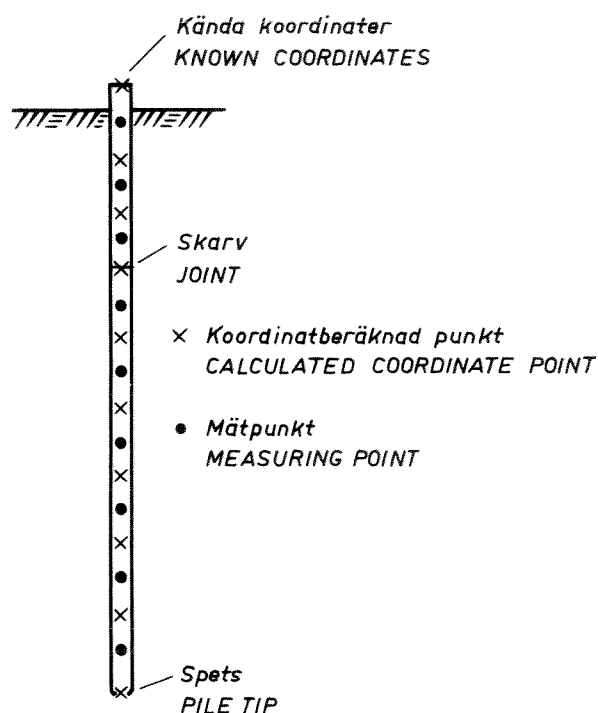


Fig. 1. Inklinometermätning, principskiss.

Inclination measurements, explanatory drawing

dersta mätpunkterna till pålhuvudet resp. påspetsen. Lägena för dessa punkter mitt emellan mätpunkterna och för påspetsen kan på detta sätt bestämmas i ett koordinatsystem med pålhuvudet som origo.

4.14 Uppdragning av provpålarna

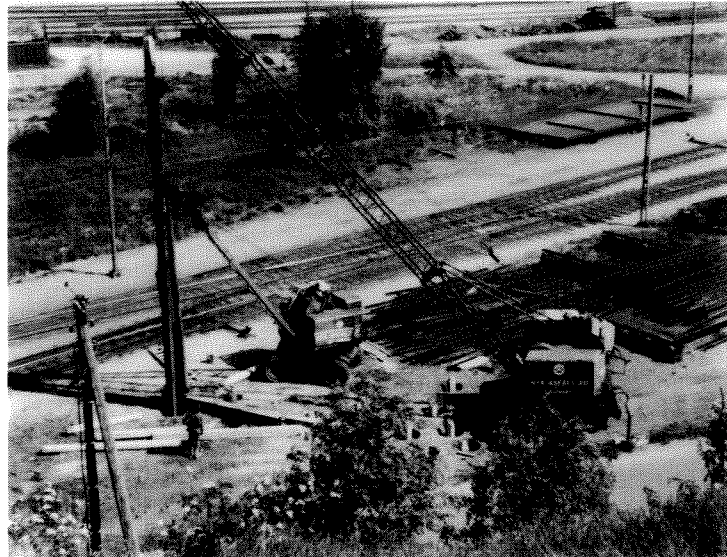


Bild 6. Vy från uppdragningen av provpålarna.

Photograph showing pulling of test piles.

När inklinometermätningarna var utförda, drogs samtliga provpålar upp. De första 3 à 4 metrarna måste uppdragningen ske med en specialkonstruerad spontuppdragare. Därefter minskade erforderlig uppdragningskraft, så att en vanlig lyftkran med lång arm kunde användas, vilket gjorde att uppdragningen kunde göras relativt snabbt.

På grund av skarvarnas konstruktion måste de kvadratiska pålarna kapas ca 3 m över skarven, då däremot de sexkantiga och runda pålarna öppnades i skarvarna.

Bild 6 och 1 visar anordningarna vid uppdragningen.

4.2 Laboratorieförsök

Sedan pålarna dragits upp och rengjorts, gjordes noggranna okulärbesiktningar med studium av uppkomna skador i form av sprickor i betongen och stukningar av stålmaterialen i bergskor.

Därefter uttogs element av pålarna för provning i laborato-

rium, med avsikt att i möjligaste mån studera slagningens och krökningens inverkan på pålmaterialet.

Laboratorieundersökningarna och erforderliga härledningar för redovisning samt bedömning av resultaten har utförts av civilingenjör Jan Ahlberg, professor Hjalmar Granholms konstruktionsbyrå, vid Chalmers Tekniska Högskola, institutionen för byggnadsteknik, Göteborg.

Proven omfattade:

1. Böjprov av oskarvade pålelement.
2. Mätning av vinkeländring i skarv vid små belastningar.
3. Böjprov av skarvade pålelement.
4. Tryckprov av pålelement. Bestämning av E-modul.

Vid böjprovningarna uppmättes med mikroskop vidden av de största iakttagna sprickorna. Mätningen skedde i samtliga fall ca 3 cm från den draga kanten.

4.21 Böjprov av oskarvade pålelement

Vid böjprovningarna belastades elementen uppåt med två hydrauliska domkrafter, placerade på golvet med ett inbördes avstånd av 100 cm. Mothållen var anordnade som förankringar i golvet med inbördes avstånd 300 cm. Domkrafterna var försedda med kulleder och vid ena mothållet var ett rullager anbringat. Trycket på domkrafterna avlästes på manometer vid pumpen. Elementen provades i möjligaste mån i samma riktning som de blivit krökta under slagningen, så gott man efter uppdragningen med ledning av sprickbildning o. dyl. kunnat bedöma denna riktning.

Belastnings- och mätanordningarna framgår av fig. 2 och bild 7.

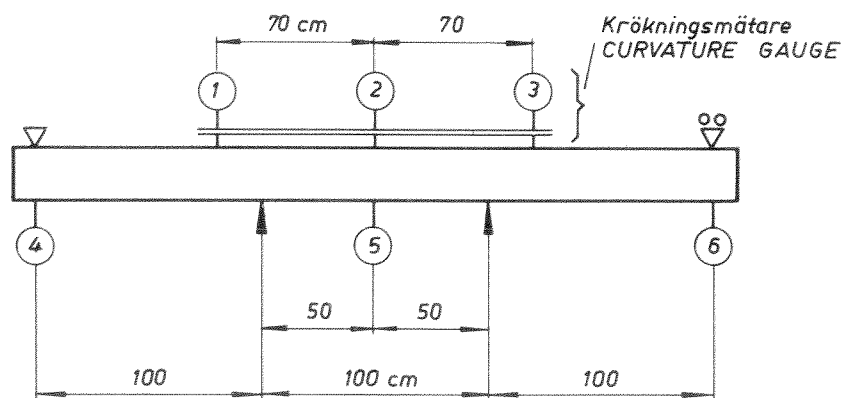


Fig. 2. Arrangemang vid böjprovning av oskarvade pålelement.

Test arrangement for bending test of pile elements without joints.

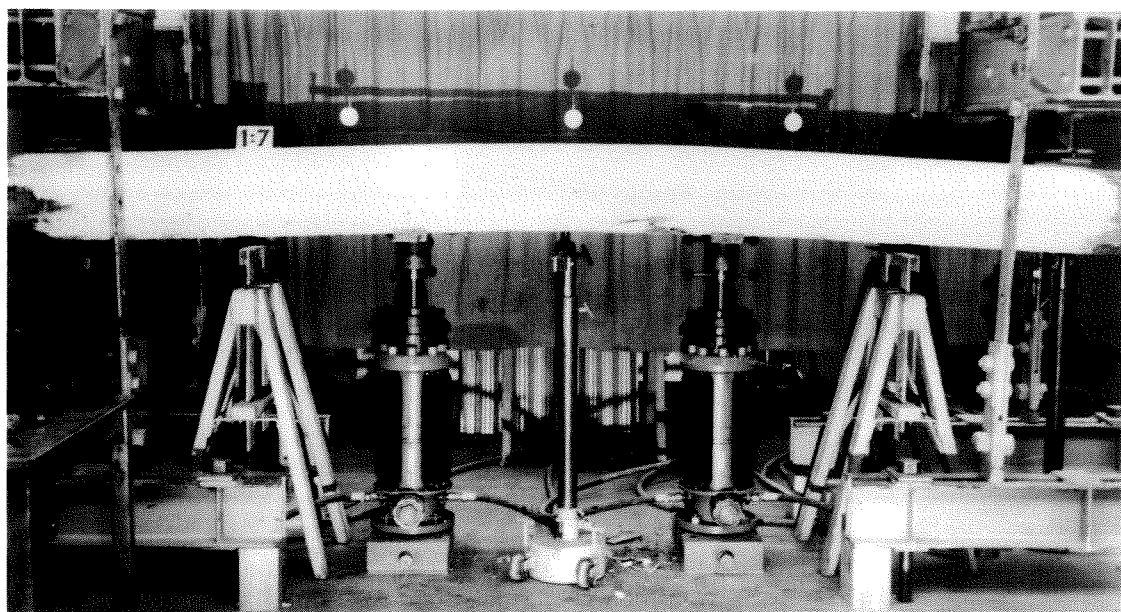


Bild 7. Böjprovning av oskarvat pålelement.

Bending test of a pile element without joints.

Klockorna 1, 2 och 3 var fast förenade med varandra till en s. k. krökningsmätare. Klockorna 4, 5 och 6 var fast uppställda på golvet.

Följande beteckningar användes:

Mittutböjningen	δ_5
Utslag på klocka i	K_i
Krökningsradien	R
Pilhöjden på längden 2 x 70 cm = krökningsmätarens längd	δ_2
Böjstyvheten uträknad på grundval av mittutböjningen	EI_{δ}
Böjstyvheten uträknad på grundval av krökningsradien	EI_R
Lasten i en domkraft	P
Maximalt böjande moment	M

Härledning av böjstyvheten uträknad på grundval av mittutböjningen.

För lasten P på vardera domkraften erhålles momentdiagram enligt fig. 3.

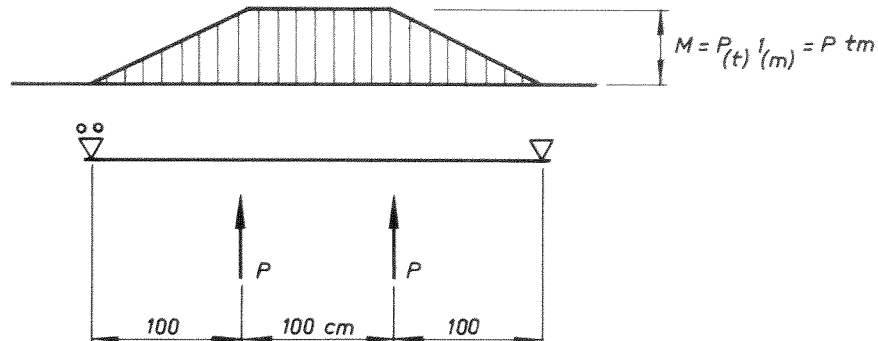


Fig. 3. Momentdiagram
Moment diagram

Mittutböjningen avlästes som

$$\delta_5 = K_5 - \frac{K_4 + K_6}{2} \quad (\text{fig. 2})$$

Genom sambandet att mittutböjningen är ekvivalent med mittmomentet för $\frac{M}{EI}$ - lasten erhålles följande

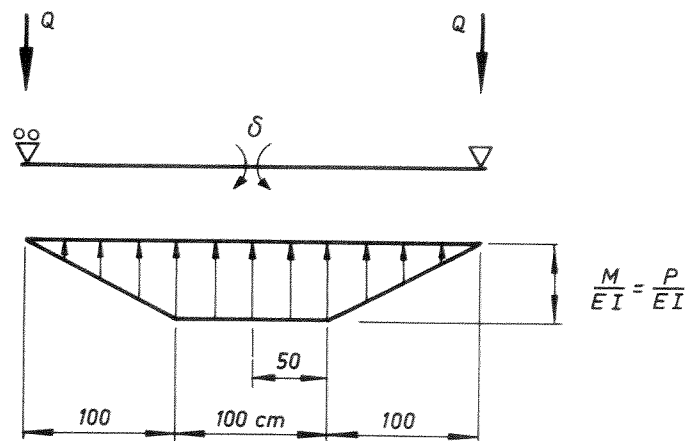


Fig. 4. "Lastfördelning" $\frac{M}{EI} = \frac{P}{EI}$ vid bestämning
av "mittutböjningsmomentet"

Calculation of maximum bending moment
by the equivalent beam method

$$Q = \frac{P}{EI} \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \times 1 \right) = \frac{P}{EI}$$

$$\begin{aligned} \delta &= \frac{P}{EI} \left(1,5 - \frac{1}{2} \left(0,5 + \frac{1}{3} \right) - \frac{1}{2} \times 0,25 \right) = \\ &= \frac{P}{EI} \left(\frac{3}{2} - \frac{5}{12} - \frac{1}{8} \right) = \frac{23}{24} \frac{P}{EI} \end{aligned}$$

således

$$\delta = \frac{23}{24} \frac{P}{EI} \quad \text{eller} \quad EI \delta = \frac{23}{24} \frac{P}{\delta_5}$$

Ingen hänsyn toges till att styvheten borde korrigeras vid ändarna.

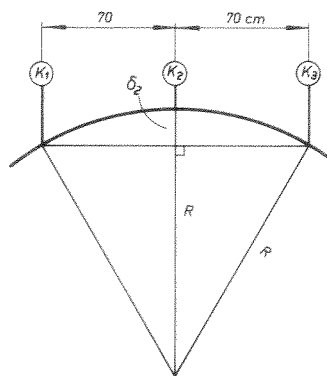
En sådan korrektion har mycket liten inverkan.

Härledning av böjstyvheten uträknad på grundval av krökningsradien.

Med hjälp av krökningsmätare erhålles krökningsradien R vid ett visst moment $M = P_{(t)} \cdot l_{(m)} \text{ mt}$

Av fig. 5 erhålles

$$\delta_2 = K_2 - \frac{K_1 + K_3}{2}$$



$$(R - \delta_2)^2 = R^2 - 70^2$$

$$\cancel{R^2} - 2R\delta_2 + \cancel{\frac{\delta_2^2}{2}} = \cancel{R^2} - 70^2$$

$$R \approx \frac{70^2}{2\delta_2}$$

Fig. 5. Bestämning av krökningsradien med hjälp av s.k. krökningsmätare

Measurement of radius of curvature with a so called curvature gauge

Böjstyvheten erhålles sedan som

$$EI_R = R M$$

För böjprov var följande oskarvade pålelement uttagna

Påle nr	Avstånd från pålspets	Elemen- tets mitt- punkt	Kröknings- radie vid inklinome- termätn.	Elemen- tets be- teckning	Anmärkning
4	1,45 - 5,05	3,24	49	1:1	Provades dia- gonalt
9	1,00 - 4,60	2,78	108	1:2	
4	5,45 - 9,05	7,20	201	1:3	
1	1,25 - 4,85	3,07	296	1:4	
7	1,30 - 4,90	3,09	406	1:5	
11	1,45 - 5,05	3,25	1830	1:6	Utan sprickor
12	1,45 - 5,05	3,25	567	1:7	" "

Elementen var utvalda med hänsyn till att de vid inklinome-
termätningarna uppvisat olika krökningsradier samt beträffande de
två sista elementen att de syntes vara utan sprickor.

4.22 Mätning av vinkeländring i skarv vid små belastningar

Vinkeländring i skarv med små belastningar (= pålelementets
egen vikt) mättes som skillnaden mellan vinklarna i skarven, när på-
elementet understöddes i sin mittpunkt och när det understöddes vid
sina ändpunkter. Mätanordningen arrangerades i princip enligt fig. 6a.

Vinkeländringen $\pm v_0 = \frac{\Delta 1 + \Delta 2}{2 h}$, där $\Delta 1$ och $\Delta 2$ är skill-
naden mellan avläsningsvärdena på klocka 1 resp. klocka 2 vid de två
uppläggningssätten och h avståndet mellan mätklockorna.

Utböjningen från den centrala linjen $\delta_0 = \frac{v_0}{2} \cdot \frac{L}{2}$ se fig. 6b.

4.23 Böjprov av skarvade pålelement

Provningsen utfördes på samma sätt som för de oskarvade ele-
menten. Mätanordningarna framgår av fig. 6a och 7 samt av bild 8.

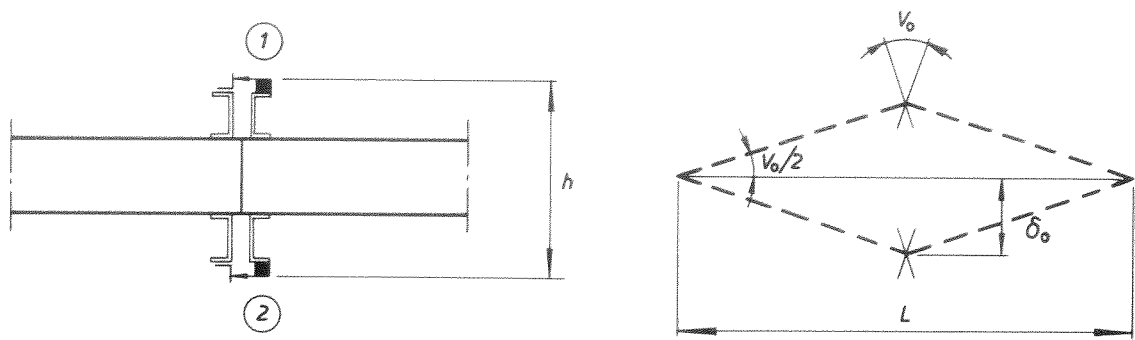


Fig. 6a och b. Bestämning av vinkeländring i skarv vid belastning av egen vikt

Determination of angle rotation in a joint as caused of the weighth of the pile

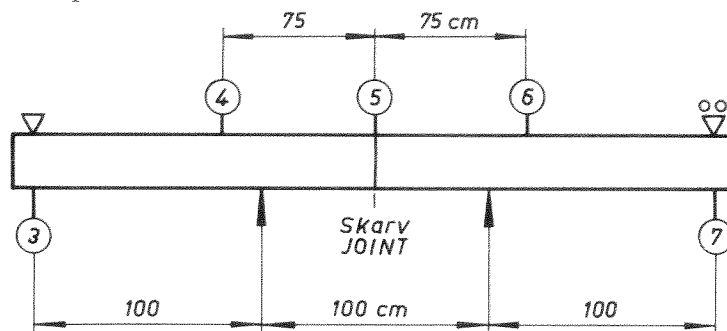


Fig. 7. Arrangemang vid böjprovning av skarvade plåtelement

Test arrangement for bending test of a jointed pile element.

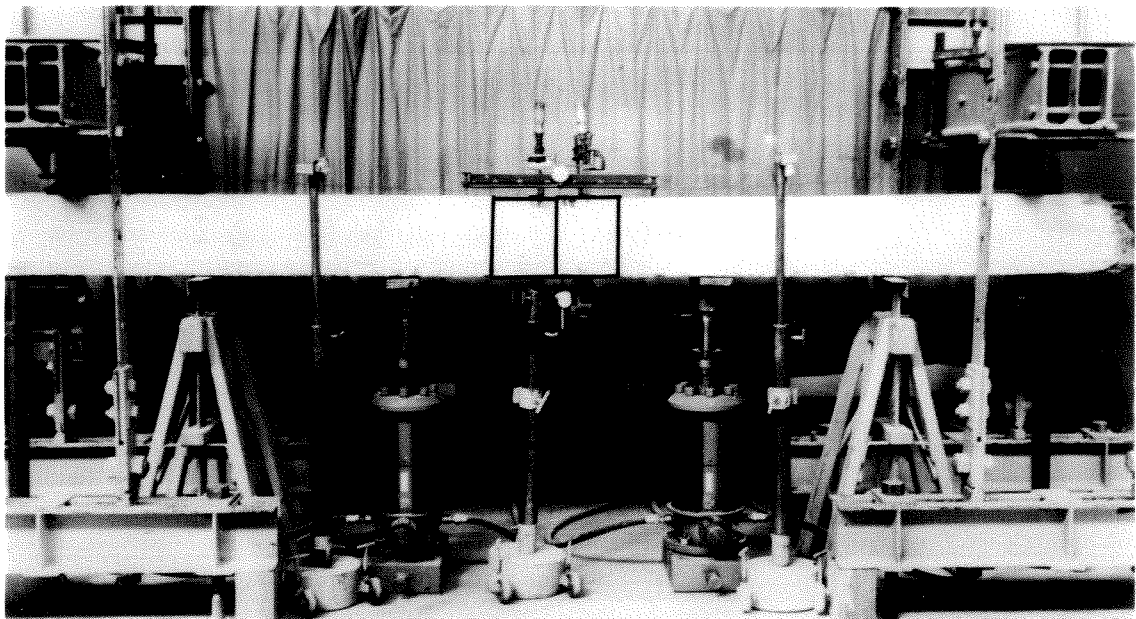


Bild 8. Böjprovning av skarvat pålelement

Bending test of a jointed pile element

Vid skarvarna kan man särskilja två funktioner, dels sammanhållningen av de båda pådelarna och dels skarvbeslagens förankring i den normala pålsektionen.

Av proven kan utläsas ett samband mellan vinkeländringen i skarvens hopkopplingsanordning och det belastande momentets storlek.

Beteckning utöver de på sid. 9 angivna:

Vinkeländringen i skarvens hopkopplingsanordning

 v_c

Man kan även studera sambandet mellan det belastande momentet M och medelstyvheten EI_m i elementen vid sidan om hopkopplingsanordningarna. Styvheten benämnes medelböjstyvhet, emedan den kan antas variera kraftigt på grund av skarvbeslagens förankringsjärn.

$$EI_m = \frac{23}{24} \frac{P}{\delta} \quad \text{där}$$

$$\delta = \delta_5 - \frac{v_c}{2} 1500 \quad \text{och} \quad \delta_5 = k_5 - \frac{k_3 + k_7}{2} \quad \text{Se fig. 8.}$$

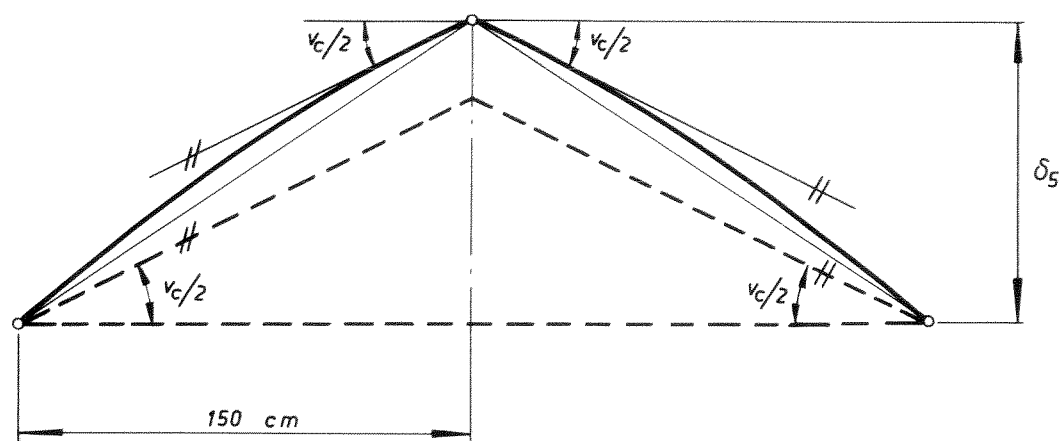


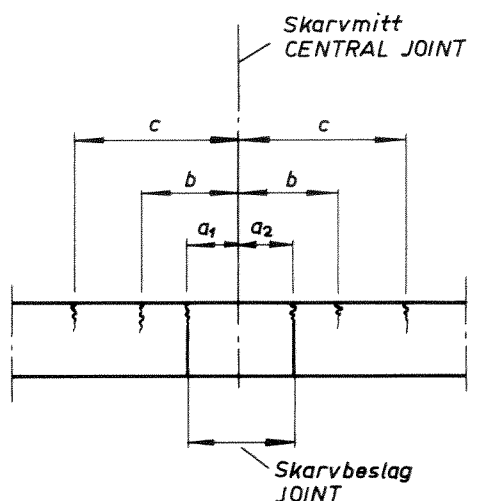
Fig. 8. Beräkning av mittutböjningen för skarvade pålelement
Calculation of the deflection at the center of jointed pile elements

För mätning av vinkeländring i skarv och böjprovning var följande skarvade pålelement uttagna

Påle nr	Avstånd från pålspets m.	Elementens mittpunkt = skarvsnittet	Elementets beteckning
9	8,50 - 12,10	10,29	2:1
11	8,50 - 12,10	10,32	2:2
2	8,55 - 12,15	10,36	2:3
1	8,50 - 12,10	10,28	2:4
3	8,50 - 12,10	10,31	2:5
5	8,50 - 12,10	10,30	2:6
6	8,50 - 12,10	10,31	2:7
7	8,55 - 12,15	10,36	2:8
10	8,45 - 12,05	10,26	2:9
12	8,50 - 12,10	10,30	2:10
14	8,50 - 12,10	10,31	2:11

På grund av att de sexkantiga och runda pålarna tagits isär i skarvarna vid uppdragningen, kunde man inte med full visshet böjprova de skarvade elementen så som de suttit hopkopplade vid slagningen. Man provade sig därför fram till den sammankoppling, som gav största vinkeländring för egen vikt och gjorde böjprovningen med denna sammankoppling.

Sprickvidden mättes i allmänhet i tre punkter på ömse sidor om skarvsnittet. Punkternas lägen för de olika elementen varierade mellan de i fig. 9 angivna måtten.



$a_1 = a_2 = 20 \text{ cm}$ för kvadratiske pålelement

$a_1 = 13 \text{ cm}$
 $a_2 = 23 \text{ cm}$ } för sexkantiga och runda pålelement

$b = 20 - 40 \text{ cm}$

$c = 40 - 56 \text{ cm}$

Fig. 9. Lägen för sprickor

Location of cracks

4.24 Tryckprov av pålelement. Bestämning av E-modul.

Pålelement med längden ca 2,7 m trycktes i en press, vars tryckplattor är ledande för att undvika att lasten skall bli excentriskt anbringad. Tryckpressen har en högsta kapacitet på 300 ton.

Hoptryckningen mättes över största möjliga längd med 4 st mätklockor jämnt fördelade runt pålelementet. Dessutom mättes hoptryckningen över 20 cm mätlängd med s.k. extensometer på tre sidor av elementet.

Principen för mätningarna visas i fig. 10.

Medelvärde av klockorna 1 - 4 gav δ .

$$\epsilon_L = \frac{\delta}{L} \quad E_L = \frac{P}{A} \frac{1}{\epsilon_L}$$

$$E_L = \frac{P \cdot L}{A \delta}$$

Medelvärde av extensometermätningarna 1 - 3 gav ϵ_1 .

$$E_1 = \frac{P}{A} \frac{1}{\epsilon_1}$$

E_L och E_1 är den sammansatta sektionens medelmodul.

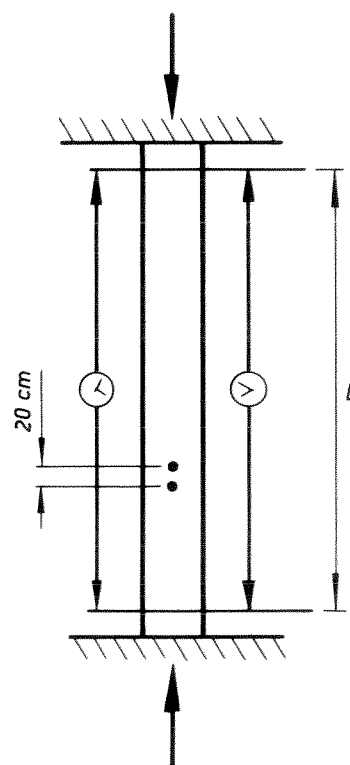


Fig. 10. Mätprincip vid centriskt tryckprov

Test arrangement at compression test

För tryckprovning var följande pålelement uttagna

Påle nr	Avstånd från pålspets	Elementets beteckning	
11	4,85 - 7,85	4:1	riklig sprickbildning
12	5,05 - 8,05	4:2	ringa "
2	2,0 - 5,0	4:3	riklig "
3	12,1 - 15,1	4:4	ringa "
6	1,8 - 4,8	4:5	riklig "
6	12,1 - 14,9	4:6	ringa "

Elementen var utvalda så, att man skulle kunna prova ett element med riklig och ett med ringa sprickbildning av vardera påltypen.

5. RESULTAT

5.1 Fältförsök

En sammanfattande redovisning av resultaten från fältförsöken framgår av tabellerna i bil. 7a. För varje påle för sig anges först vissa huvuddata, tillverkningsdatum, slagningsdatum och uppdragningsdatum. Sedan följer en kortfattad redogörelse för slagningsförloppet efter det att pålspetsen nått bergytan. Så följer i tabellform resultaten av inklinometermätningarna. Till sist redovisas gjorda iakttagelser vid uppdragningen och vilka pålelement som uttagits för laboratorieprovning.

5.11 Nedslagning av provpålarna

Provpålarnas placering framgår av pålplan, bil. 4.

Resultaten av nedslagningen framgår huvudsakligen av slagningsdiagrammen, bil. 5. Dessa visar pålarnas sjunkning under det mest intressanta skedet av slagningen, nämligen efter det att pålspetsen nått bergytan.

Programmet för slagningen var, att pålarna skulle slås med 15 cm fallhöjd tills pålen sjunkit 6 cm eller till maximalt 1500 slag. Därefter skulle slås

	50	slag	med	30	cm	fallhöjd
	50	"	"	40	"	"
och	10	"	"	50	"	"

En kortfattad redogörelse för slagningsförloppet för varje påle finns även i tabellerna, bil. 7a. Fjädringen, som i förekommande fall mättes för de 10 slagen med 50 cm fallhöjd, finns angiven i tabellerna bil. 7a.

Som ett resultat kan också framhållas, att ingen påle fick några skador vid pålskallen under slagningen.

5.12 Bergindikering

Några typiska ljudspektrogram, sonagram, redovisas på bil. 6.

Uppmätningarna i ljudintensiteten under arbetets gång och den däremot svarande utvärderingen av bandupptagningarna på laboratoriet gav icke entydig och säker bergindikation.

Studiet av frekvensfördelningen genom spektrografering, bil. 6, visar, att frekvensfördelningen är likartad vid slagning i jord och i berg. Den påtagliga skillnaden i detta fall mellan slagning i jord och berg är, att vid slagning mot berg registreras slaget efter hejarstudsens såsom en svärtad mindre figur. Vid slagning i jord erhöles ingen hejarstuds. Att hejarstuds uppstår är emellertid som bekant inte alltid en indikation att pålspetsen nått berg.

Bandinspelningarna från hela slagningsförloppet för pålarna 6, 10 och 14 har även möjliggjort vissa andra observationer.

Det har konstaterats att:

1. I slagningens början är ljudnivån låg för hejarlaget men stiger allteftersom pålen slås ned.
2. Efter byte av trä mellanlägg erhålles en påtaglig sänkning av ljudnivån för slaget. Vid fortsatt slagning ökar ljudnivån successivt.
3. På provningsplatsen överlagras berget endast av ett tunt friktionsjordlager. Det är därför, som ovan nämnts, troligt, att första hejarstuds erhålles när pålspetsen fått fäste i berget. Jämförelsen mellan sjunkningsdiagram och registrering av hejarstuds på bandet talar härför. De ljudspektrogram, som upptagits på slag före och efter förmodad bergkänning, visar karaktäristiskt skilda utseenden på grund av hejarstudsens. I bil. 6 är upptagningarna från påle 10 serie 25 slag 1, 2, 4 och 5 gjorda före bergkänning, medan övriga är gjorda efter bergkänning. I de först nämnda sonagrammen saknas den efter figurerna av huvudslaget följande mindre figuren av studsslaget. Ljudspektrogrammen, som utförts på de sista slagen under inmejslingen av påle 10 i berget (serie 80), visar hur hejarstudsens successivt försvagas, då pålen förlorar fäste i berget. Dessa förlopp kan utan svårighet följas genom avlyssning av bandupptagningen.

Vad är anledningen till att bergindikatorn ger kraftig ljudni-

våändring, då berget träffas under jordbergborrning men obetydlig under påslagning? En anledning torde kunna vara, att lågfrekvent ljud dämpas mindre i jord än högfrekvent. Borrljuden vid jordbergborrning har nämligen hög intensitet i frekvensområdet omkring 1.000 Hz, medan pålningsljuden har högst intensitet i frekvensområdet 0 - 500 Hz. Även pulsens längd kan inverka. Vid jordbergborrning är pulsen mycket kortvarig, ca $1/1000$ av pulsen vid påslagning. Den långa pulsen ger en tillräckligt stor kompression för att vågen skall kunna fortplantas utan alltför stora störningar genom partiell reflexion. Den korta pulsen däremot ger reflexion för mycket små diskontinuiteter i jorden.

5.13 Inklinometermätning

Resultaten av inklinometermätningarna redovisas i tabellerna, bil. 7a och på ritning visande pålarnas horisontalprojektioner, bil. 7b. I tabellerna anges mätpunkternas nivåer, de uppmätta lutningsvinklarna samt med polära koordinater, avstånd och riktning, lägena för de i avsnitt 4.13 nämnda koordinatbestämda punkterna och de uträknade krökningsradierna mellan mätpunkterna. På ritningen visas horisontalprojektionerna för de olika pålarna. På dessa har med små streck markerats nivåerna på varannan meter, räknat från pålskallen, vilket ger en uppfattning om pålarnas lutning.

Vid inklinometermätningen behövde urspolning av centrumrör inte tillgripas i någon påle, vilket visar, att tätningen i skarvarna under slagningen varit tillräcklig.

5.14 Uppdragning av provpålarna

Vid uppdragningen inkopplades en dynamometer i uppdragningsanordningarna, så att man något så när kunde uppskatta erforderlig uppdragningskraft. Denna var ca 8 à 10 ton för samtliga pålar utom för nr 4, för vilken erfordrades en kraft på ca 12 à 15 ton.

Pålarnas yta var täckt av ett lerlager av varierande tjocklek upp till ca 2 cm. De sexkantiga pålarna kunde på en del ställen vara täckta med lera, så att de föreföll att vara runda. Se bild 9.

Mellan förstyvningssplåtarna på bergskorna fanns på en del pålar ett mycket hårt packat material innehållande grus, sand och mo och i vissa fall trärester. Bild 10.



Bild 9. Uppdragen påle. Obs. lerlagrets tjocklek

Pulled pile. Notice the thickness of clay layer



Bild 10. Uppdragen påle med vidhäftande jord

Pulled pile with soil which was adhered to pile

Prover av täckande lerlager och av material från bergskor togs för laboratorieanalys. Resultaten finns i tabellen, bil. 8.

Vid okulärbesiktning av pålarna efter rengöring kunde en hel del sprickbildning konstateras i samtliga pålar och på påle nr 4 ett begynnande böjbrott 3,24 m från pålspetsen med tydlig stukning i tryckzonen.

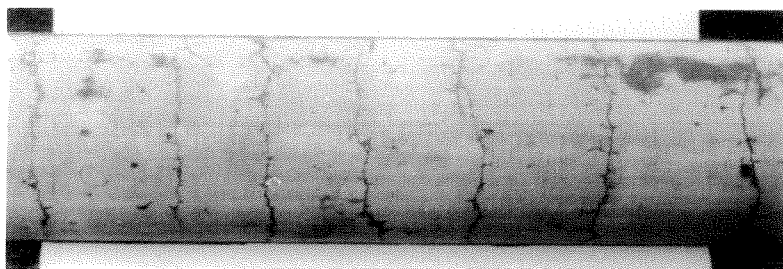


Bild 11. Sprickbildning i rund påle.

Cracks in a circular pile.

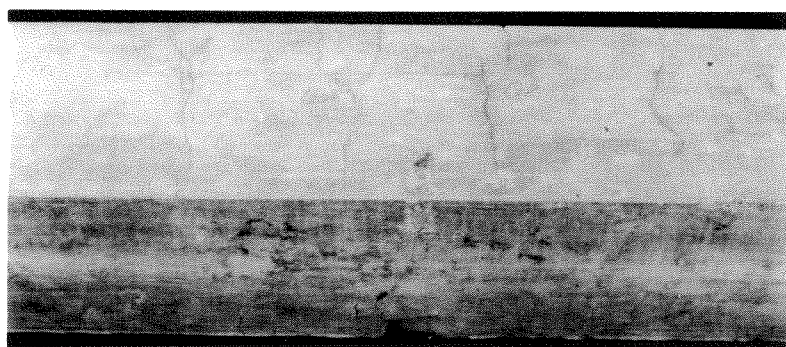


Bild 12. Begynnande böjbrott, påle nr 4.

Incipient flexural failure

5.2 Laboratorieförsök

5.21 Böjprov av oskarvade pålelement

Resultaten av böjprovningarna av de oskarvade pålelementen finns sammanställda i fyra diagram, bil. 9a - c och e samt i tabell, bil. 9d.

Bil. 9a visar samband mellan böjande moment och krökningsradie. Bil. 9b visar samband mellan böjande moment och böjstyvhets, där böjstyvheten uträknats på grundval av krökningsradien. Bil. 9c visar samband mellan böjande moment och maximal sprickvidd. Bil. 9e visar samband mellan böjande moment och mittutböjningen.

I bil. 9d redovisas antal slag pålen utsatts för, krökningsradie vid slagningen (enligt inklinometermätningen), brottmoment, böjstyvhets vid momentet $M = 4 \text{ mt}$ och maximal sprickvidd vid $M = 4 \text{ mt}$.

Böjstyvheten har uträknats på två olika sätt, dels på grundval av krökningsradien och dels på grundval av mittutböjningen. Resultaten visar god överensstämmelse mellan de båda uträkningssätten.

5.22 Mätning av vinkeländring i skarv vid små belastningar

Vinkeländringen i hopkopplingsanordningarna vid belastning av pålelementets egen vikt visas i tabell, bil. 10a.

5.23 Böjprov av skarvade pålelement

Resultaten av böjprovningarna av de skarvade pålelementen redovisas dels på tre diagram, bil. 10 b, c och e, och i tabell, bil. 10d. Bil. 10b visar samband mellan böjande moment och vinkeländring i skarvarnas hopkopplingsanordningar och 10c samband mellan böjande moment och medelböjstyvhets för elementen. Bil. 10e visar samband mellan böjande moment och mittutböjningen.

De sexkantiga och runda pålarna blev vid uppdragningen isärtagna i skarvarna. Det bestämdes, att elementen från dessa pålar skulle böjprovas med den sammansättning av skarven som gett största vinkeländring vid belastning av enbart egen vikt.

5.24 Tryckprov av pålelement. Bestämning av E-modul

Vid tryckprovningen trycktes sammanlagt två kvadratiska, ett sexkantigt och två runda pålelement. Bil. 11 visar samband mellan medeltryckpåkänning och sammantryckning för elementen.

6. DISKUSSION AV FÖRSÖKSRESULTATEN

Som antytts i orienteringen, sid. 1, avsåg försöken att få fram lämpligaste utformningen av tvärsnittet för pålar som slås mot släntberg.

Primärresultaten från fältförsöken redovisas, förutom i bil. 7a, i sammandrag i tabellen på följande sida.

Beroende på provpålarnas ringa antal blir en inbördes jämförelse mellan de olika påltyperna på grundval av de utförda fältförsöken osäker. En sammanställning av försöksresultaten i fält och laboratorium har dock gjorts i bil. 12. Dessutom har som jämförelsematerial även medtagits statistiskt material från två närbelägna arbetsplatser, se nedan och bil. 13.

Principen för uttagningen av provelement för laboratorieförsöken var, att elementen skulle representera påldelar med olika grad av krökning från pålarna i nedslaget skick, t. ex. 50, 100, 200, 300 och 400 m krökningsradie uppmätt vid inklinometermätningen eller påddel utan synliga sprickor. Vilken påltyp som härvid blev representerad ansågs vara av underordnad betydelse. Detta är anledningen till att av oskarvade pålelement böjprovats fyra kvadratiska, två sexkantiga och endast ett runt pålelement.

Nedslagning av provpålarna

Av tabell 1, bil. 12, framgår, att av de tolv provpålarna två kvadratiska, tre sexkantiga och tre runda pålar slagits till stopp i enlighet med programmet. Av dem som inte slagits till stopp fick en kvadratisk påle (nr 9) över huvud taget inte fäste i berget. En kvadratisk påle (nr 11), en sexkantig (nr 10) och en rund (nr 2) visade plötsligt ökandesjunkning under stoppslagningen, varför slagningen avbröts.

Inklinometermätningen av påle nr 9, se tabellen i bil. 7a, visar att pålen utsatts för kraftig krökning mellan pålspets och skarv. Vid uppdragningen konstaterades stukning på bergskon.

Beträffande pålarna 11 (kvadr.), 10 (sexk.) och 2 (rund), för vilka slagningen avbröts på grund av plötsligt ökande eller stor sjunkning, visar inklinometermätningen inga anmärkningsvärt små krökningsradier. Vid besiktning av pålskorna efter uppdragning kunde stukning på bergdubbar och förstyrvningsplåtar konstateras. Vid slagningen av pålarna nr 11 och 10 hördes en dov smäll, när sjunk-

	Kvadratiska				Sextantiga				Runda			
	4	6	9	11	1	5	10	12	2	3	7	14
Sjunksn. i cm för 1500 slag			53, 6 Ej fäste i berget	2, 8	4, 3	2, 6		5, 5 cm för 1600 slag	6, 8	3, 8	1, 7	
Erf. antal slag för sjunksn. 6 cm	6, 0 cm för 900 slag	6, 8 cm för 750 slag					6, 7 cm för 1250 slag					6, 1 cm för 900 slag
Sjunksn. i cm för 50 slag med 30 cm fallhöjd	0, 6	1, 05		0, 3	0, 2	1, 8	3, 6 cm för 8 slag Slagningen avbruten	0, 1	0, 7	0, 3	0	0, 7
Sjunksn. i cm för 50 slag med 40 cm fallhöjd	1, 4	0, 95		1, 8 cm för 7 slag Slagningen avbruten	0, 3	0, 4		0, 1	7 slag, sjunkning 2, 3 Slagningen avbruten	0, 5	0, 8	1, 4
Sjunksn. i cm för 10 slag med 50 cm fallhöjd	0, 6	0, 8			0	0, 3		0, 4		0, 5	0, 1	0, 4
Fjädr. i cm per slag, 50 cm fallhöjd	1, 1	1, 2			1, 0	1, 1		1, 05		1, 05	1, 15	1, 15
Påspetsens djup under markytan, m	14, 5	14, 8	15, 8	13, 1	15, 2 m	13, 6	13, 7	15, 02	13, 4	15, 8	15, 1	13, 5
Vinkel i 10^{-3} skarv, rad	8, 2	10, 0	4, 0	0, 7	7, 5	2, 8	2, 1	0, 9	7, 3	6, 6	5, 9	3, 7
Minsta krökningsradien oskarv, på del, m	4, 9	17, 2	108	1830	296	280	329	374	705	313	352	5950
Sprickbildning o. dyl.	Riklig. Begynnande böjbrott	Riklig. O-betydl. skador på bergsko	Riklig. Kraftig stukn. på bergskon	Någon stukning på bergdubben	Riklig på dragsidan Bergdubben stukad	Riklig. Bergskon obetydligt stukad	Fina spikor. Någon stukning på bergskon	Riklig. Bergskon oskadad	Riklig. Skador på bergskon	Riklig. Bergskon o. nedre del av på-lar skadad	Riklig. Bergskon oskadad	Riklig. Bergskon oskadad

ningen ökade, varför brott misstänktes och slagningen avbröts. Det är troligt, att brott erhållits i berget. På en byggnadsplats skulle i motsvarande situation slagningen ha fortsatts, för att försöka få nytt fäste för dubben.

Vid jämförelse med djupet till berg enligt grundundersökningarna finner man, att pålspetsarnas djup stämmer mycket bra utom för pålarna 5 och 10, vilka stannat maximalt en meter över den interpolerade bergnivån.

Krökningsradier i pålar, uppmätta vid inklinometermätning

Beträffande krökningsradier i stoppslagna pålar, bil. 12, tabell 3a, skarvområden undantagna, har i kvadratiska pålar i två mätpunkter uppmätts radier mellan 0 och 100 m och i tre mätpunkter radier mellan 100 och 200 m. Medräknas samtliga pålar, tabell 3b, stiger antalet mätpunkter till sex med radier mellan 100 och 200 m. Minsta uppmätta radie i de sexkantiga och runda pålarna är 280 resp. 313 m.

Sprickor i uppdragna pålar

Efter uppdragningen studerades och uppmättes uppkomna sprickor. Erforderlig dragningskraft var av storleksordningen 10 ton. En generell bedömning gjordes av varje påle, vilket framgår av bil. 7a. I pålavsnitt med relativt stor krökning förekommer i allmänhet riklig sprickbildning.

För tre av de kvadratiska pålarna har antecknats riklig sprickbildning och en (nr 11) har ej omnämnts i detta sammanhang. I de förstnämnda har uppmätts krökningsradier på 200 m och mindre. I påle 11 förekommer ingen krökningsradie under 1830 m. Ur påle 6 har tagits ett provelement med ringa sprickbildning från ett avsnitt där krökningsradien enligt inklinometermätningen var 586 m.

Av de sexkantiga pålarna hade tre riklig sprickbildning och en (nr 10) sprickbildning med fina sprickor. Minsta krökningsradie i sistnämnda påle var 329 m.

De runda pålarna, som var tillverkade i Västerås och transporterats på järnväg hade samtliga riklig sprickbildning. Fina sprickor iaktogs redan före slagningen.

Sprickvidden var i samtliga pålar av storleksordningen max. 0,2 à 0,3 mm. men var, medan pålarna befann sig i jorden, antagligen större, eftersom då även krökningen förmodligen var större.

Vid böjprovning av oskarvade pålelement erhöll det runda provelementet påfallande stora sprickor.

Böjprov av oskarvade pålelement

I bil. 9d, som behandlar oskarvade pålelement, skiljer sig det första kvadratiske elementet (1:1) från de övriga genom lågt värde på böjstyvheten vid $M = 4$ mt. Anledningen torde vara, att detta element tagits från den del av påle nr 4, som hade störst krökning ($R = 49$ m) och synliga skador ca 3,2 m från pålspetsen. Något förvånansvärt är, att brottmomentet så relativt lite påverkats av skadorna. Skillnaden mellan det högsta och det lägsta brottmomentet för de övriga pålarna är ganska liten, ca 4 %.

Bortser man från det skadade elementet 1:1, så har element 1:6 avsevärt lägre böjstyvhet än de två övriga elementen 1:2 och 1:3 från kvadratiske pålar. Detta element är taget från påle nr 11. Vid studium av denna påle i bil. 7a, finner man, att hela pålen varit praktiskt taget rak och att sjunkningen för 1.500 slag med 15 cm fallhöjd var 2,8 cm och för 50 slag med 30 cm fallhöjd 0,25 cm. Detta tyder på att motståndet vid slagningen varit mycket stort. Möjligen skulle den slutsatsen kunna dras, att det är slagningen som åstadkommit en försämring av betongmaterialet. Vidare att det inte bara är antalet slag utan även storleken av det motstånd, som möter pålen vid spetsen, som är avgörande för den inverkan som slagningen har på betongmaterialet.

En annan tänkbar anledning till det lägre värdet på böjstyvheten kan vara ojämnheter i betongkvaliteten redan vid gjutningen. Resultaten för kubprovningen visar dock maximalt ca 7,5 % avvikelse från medelvärdet, bil. 3b.

Från sexkantiga pålar är två oskarvade element böjprovade, det ena (1:4) från påle nr 1 och det andra (1:7) från påle nr 12. Böjstyvheten vid $M = 4$ mt är ca 10 % lägre för elementet från påle nr 1 än för elementet från påle nr 12. Även för dessa båda pålar gäller, att påle nr 1 mött hårdare motstånd vid spetsen än påle nr 12, vilket kan tänkas ha påverkat provningsresultaten. Resultaten för kubprovningarna visar för de sexkantiga pålarna maximalt ca 4,3 % avvikelse från medelvärdet, bil. 3b.

Från de runda pålarna är endast ett element provat. Påfallande stor är sprickvidden vid provningen av detta element. Elementet är taget från påle nr 7. Av bil. 5 framgår att just denna påle mött det största motståndet vid slagningen.

Jämför man böjstyvheten för de olika påltyperna och härvid endast medtager sådana element, som till synes icke påverkats av slagningen, erhålles följande:

Påltyp	Pålelement, beteckning	Böjstyvhet tm^2 , vid momentet $M = 4 \text{ mt}$
Kvadratiska pålar	1:2 och 1:3	386 (medelvärde)
Sexkantiga pålar	1:7	381
Runda pålar	1:5	368

Det är således obetydlig skillnad i böjstyvhet mellan kvadratiska och sexkantiga pålelement.

Vinkeländring i skarvar och böjprov av skarvade pålelement

Tabell 2a i sammanställningen, bil. 12, visar vinkeländring i skarv i stoppslagna pålar och tabell 2b samma uppgifter för samtliga pålar. Uppgifterna är resultat av inklinometermätningarna.

Som synes uppvisar de båda stoppslagna kvadratiska pålarna (nr 4 och 6) de största vinkeländringarna i skarvarna, 8.2×10^{-3} resp. 10.0×10^{-3} radianer. Av de sexkantiga och runda stoppslagna pålarna har pålarna nr 1 och nr 3 de största vinkeländringarna i skarvarna 7.5×10^{-3} resp. 6.6×10^{-3} radianer. Av uppgifter om respektive pålar i bil. 7a ser man att de sexkantiga och runda pålarna säkerligen fått hårdare slagning än de kvadratiska pålarna nr 4 och nr 6.

Av tabell 2c, bil. 12 och bil. 10d (resultat från laboratorieproven) framgår dels vinkeländring i skarv vid små belastningar av egen vikt och dels vinkeländring i hopkopplingsanordningarna vid momentet $M = 4,0 \text{ mt}$.

Vinkeländringen vid belastningen av egen vikt kallas vanligtvis "glapp" i skarven. Som synes är detta mycket litet för de kvadratiska, något större för de runda och störst för de sexkantiga pålelementen. Liknande är förhållandet mellan de olika påltypernas vinkeländring vid belastning motsvarande momentet $M = 4,0 \text{ mt}$. De sexkantiga och runda pålarna har samma skarvkonstruktion.

Vid fältförsökens inklinometermätning uppvisar de kvadratiska pålarna en större uppmätt vinkel i skarv än de sexkantiga pålarna, men vid laborieförsöken konstaterades däremot, som ovan nämnts, att vinkeländringen i skarv blev mindre för kvadratis-

ka än för sexkantiga pålar vid samma belastning. Det kan inte helt uteslutas, att de kvadratiske pålarna av någon anledning vid slagningen utsatts för större moment i skarvarna och därav trots större styvhet, erhållit större vinkel.

Emellertid ligger det nog närmare till hands att förmoda, att de kvadratiske pålarnas skarvar redan före slagningen haft en viss vinkel. Denna vinkel kan i så fall bero på mindre noggrann ingjutning av skarvbeslagen.

Om man genom inklinometermätning vill dra några slutsatser beträffande påkänningar i skarven, måste skarvbeslagen ingjutas med stor noggrannhet. För kvadratiske pålar skulle man t. ex. kanske kunna godtaga en vinkeländring i skarven på 6×10^{-3} radianer efter slagning, vilket enligt bil. 10b skulle motsvara ett moment av ca 6 mt dvs. ca $2/3$ av brottmomentet. Om skarvbeslaget hade varit exakt ingjutet, hade man då vid inklinometermätning kunnat tolerera vinkeln 6×10^{-3} radianer. Vet man emellertid, att noggrannheten vid ingjutningen inte är bättre än att en vinkel på t. ex. $1 : 300 = 3,3 \times 10^{-3}$ radianer kan uppstå, bör man vid inklinometermätning ej tillåta större vinkel än $6 - 3,3 = 2,7 \times 10^{-3}$ radianer, för att vara säker på att påkänningen ej skall överstiga $2/3$ av brottmomentet.

Den vinkel som vanligen brukar tolereras vid ingjutning av skarvbeslag, nämligen 1:75, är alltför stor för att man sedan med inklinometermätning skall kunna få en uppfattning om hur hårt ansträngd skarven och omgivande delar av pålen är.

Beträffande skarven i t. ex. påle nr 6, där man enligt tabell 2a, bil. 12 uppmätt 10×10^{-3} radianer med inklinometer, vet man ej hur stort momentet är. Om man antar att skarvbeslagen blivit exakt ingjutna skulle skarven enligt bil. 10b ha varit utsatt för 7,5 mt. Om skarvbeslagen däremot från början haft vinkeln $1:75 = 13,3 \times 10^{-3}$ radianer, är vinkeländringen $(10 \pm 13,3) \times 10^{-3} = 3,3 \times 10^{-3}$ eller $23,3 \times 10^{-3}$ radianer och då blir momentet enligt bil. 10b - 5,7 resp. ca + 9,0 mt. Således kan man om påle nr 6 endast säga, att skarven efter nedslagningen varit utsatt för mellan - 5,7 och + 9,0 mt.

I bil. 10d, gällande skarvade pålelement, framträder stora olikheter i böjstyvhet och vinkeländring i skarvar mellan de olika påltyperna sannolikt beroende på olikheter i den konstruktiva utformningen. De sexkantiga och runda pålarna var skarvade med den s.k. Herkulesskarven av bajonettyp, vilken inte åstadkommer samma stumma hopskarvning som ABB-skarven i de kvadratiske pålarna.

I denna skarv åstadkommes vid inslagningen av låspinnarna en förspänning mellan pådelarna. Förspänningskraften uppges av pålfabrikanten vara 9 à 10 ton.

Av resultaten för böjprovningarna kan även utläsas, att vid momentet $M = 4$ mt är medelböjstyvheten i ett skarvat pålelement avsevärt större än böjstyvheten i ett oskarvat element. Detta är naturligt med hänsyn till den kraftigare armering, som åstadkommes av skarvanordningarnas förankringsjärn. Med medelböjstyvhet menas då det skarvade pålelementets böjstyvhet, beräknad ur nedböjningarna, varvid den av vinkeländringen i skarvsnittet orsakade nedböjningen frånräknas.

Brottmomenten för de kvadratiske och sexkantiga pålelementen var relativt lika, men för de runda låg värdena påfallande högt.

Brott inträffade i de kvadratiske pålarna i anslutning till förankringarna på så sätt att betongen "drogs ur manteln på skarvbeslaget på dragsidan" med betongkrossbrott på trycksidan som följd.

För de sexkantiga och runda pålarna inträffade brott i området kring det snitt, där skarvarnas förankringsjärn slutar, utom för ett runt element, 2:5, där brott inträffade som sprött brott i samtliga sex förankringsjärn vid infästningen i handelen.

Framträdande är den lägre böjstyvheten och den större vinkeländringen i hopkopplingsanordningarna vid momentet $M = 4$ mt för de sexkantiga och runda pålelementen vid jämförelse med de kvadratiske. Härvid bör beaktas, att de sexkantiga och runda pålarna var hopfogade på ur glappsynpunkt ogynnsammaste sätt.

Tryckprov av pålelement. Bestämning av E-modul

På bil. 11 har uppritats resultaten av tryckningen av ett element av vardera sorten i form av ett σ - ϵ - diagram. Spänningen är här en medelspänning innefattande verkan av såväl betong som armering och centrumrör. Som synes är avvikelserna lita mellan de tre kurvorna, vilka även ansluter sig väl till den streckade linjen gällande för $E = 350.000 \text{ kg/cm}^2$.

Jämförelse med statistiskt material från två närbelägna byggnadsplatser

Resultaten av pålprovningen vid Skansen Lejonet antyder, att de sexkantiga och runda pålarna uppvisar fördelaktigare resultat i fråga om antalet stoppslagna pålar samt krökning såväl i som mellan

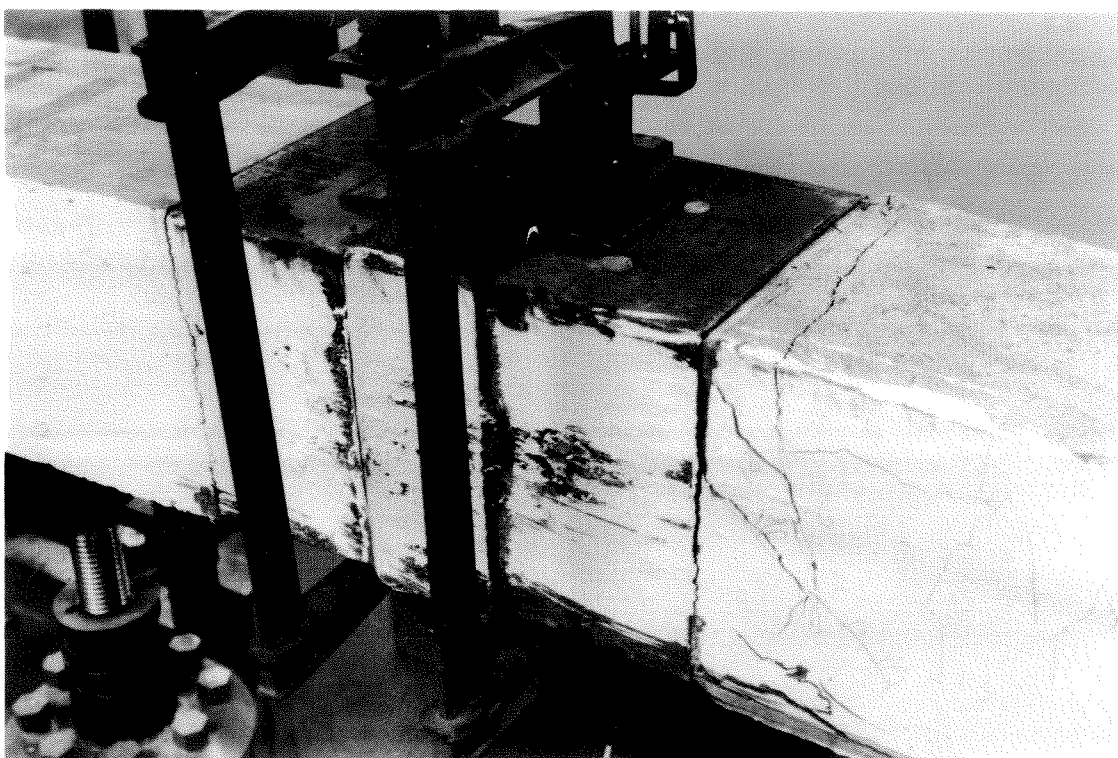


Bild 13. Böjprovning av skarvat pålelement. Förankringsbrott.
Bending test of a jointed pile element. Anchor failure.

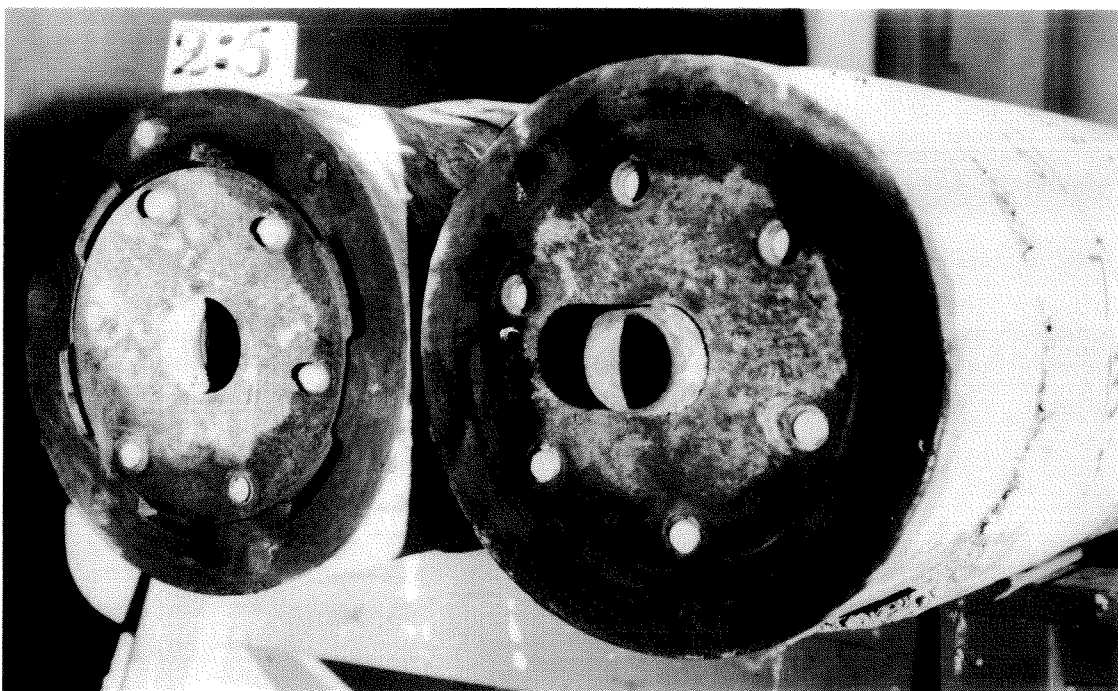


Bild 14. Böjprovning av runt pålelement. Brott i förankringsjärnen.
Bending test of a circular pile element. Failure of the anchor bolts.

skarvar. Det begränsade antalet provpålar tillåter dock icke att dra några slutsatser.

För att komplettera materialet har en utredning gjorts på grundval av material från vägportarna 0 1 och 0 8 och provisoriska spårbyggarna förbi 0 1 och 0 2 vid Olskroksmotet i Göteborg, där pålning för vägportarna utförts med kvadratiske pålar med ABB-skarvar och för spårbyggarna med runda pålar med ospänd armering och Herkulesskarvar. Pålarna var i båda fallen försedda med centrumrör och inklinometermätning utfördes. Resultaten redovisas i bil. 13.

Jämförelsen har gjorts, beträffande vinkel i skarv, mellan störst uppmätta vinkel i 50 kvadratiske och 54 runda pålar och beträffande krökning i oskarvad påldel mellan minsta krökningsradien i 54 kvadratiske och 54 runda pålar.

I blockdiagrammen bil. 13 anger staplarnas höjd procentuella andelen av totala antalet pålar med $\leq$ angiven vinkel i skarv resp. krökningsradie i oskarvad påldel.

Sålunda framgår att de kvadratiske pålarnas skarvar trots sin större styvhet procentuellt sett erhållit större vinklar än de runda pålarna. Betraktande vad som tidigare nämnts beträffande skarvbeslagens ingjutning, kan man nog inte av kurvorna över vinkeln i skarv dra andra slutsatser än att möjligen precisionen vid ingjutningen av skarvbeslag sannolikt varit sämre vid de kvadratiske än vid de runda pålarna.

Vidare framgår att krökningen i oskarvad påldel för det undersökta materialet är mycket lika i de båda påltyperna.

7. SLUTORD

Försöken har visat, att åtta av tolv pålar fått fäste i det kraftigt sidolutande berget (ca 45° lutning) genom att slagningen omedelbart före bergkänning utförts med låg fallhöjd (10 - 15 cm), och genom att den därpå följande slagningen utförts med tillräckligt antal slag (ca 1.500) med låg fallhöjd (15 cm). Tre pålar förlorade fästet vid slagning med 30 - 40 cm fallhöjd efter 1.200 - 1.500 slag med 15 cm fallhöjd. Till pålspetsen nedförd kraft vid slagning med 40 cm fallhöjd kan uppskattas till 150 à 200 ton. Inmejslingen av påldubben i starkt sidolutande berg kan således i regel kräva väsentligt större antal slag än 300, som i vissa fall föreskrives.

Det statistiska materialet från inklinometermätning i pålar vid två närbelägna arbetsplatser visar obetydlig skillnad mellan runda och kvadratiske pålar beträffande krökning i oskarvad påldel. Vid provpålningen har de största krökningarna uppmätts i kvadratiske pålar.

De vid inklinometermätning uppmätta vinklarna i skarvar visar såväl vid provpålningen som vid arbetsplatserna att vinklarna är något större i de kvadratiske än i de runda och sexkantiga pålarna. Enligt vad som ovan nämnts i diskussionen av försöksresultaten beror detta förmodligen på mindre god precision vid fastgjutning av beslag.

Om man med inklinometermätning vill få en uppfattning om påkänningar i skarvarna, måste man utarbeta andra metoder vid mätningarna än de som nu användes.

Av laboratorieproven tycks man kunna utläsa, att böjstyvheten sjunker och att sprickvidden vid böjning ökar, ju kraftigare spetsmotståndet och slagningen har varit.

Det vore önskvärt, att man vid framtida provningar försöker särskilja inverkan av den rena slagningen och spetsmotståndet från inverkan av att pålen vid slagningen utsätts för krökning.

Det kan även ifrågasättas, om icke vid laboratorieprovning av pålelement de rena böjproven bör erästas med provningar med samtidig inverkan av såväl normalkraft som böjande moment.

GLOSSARY

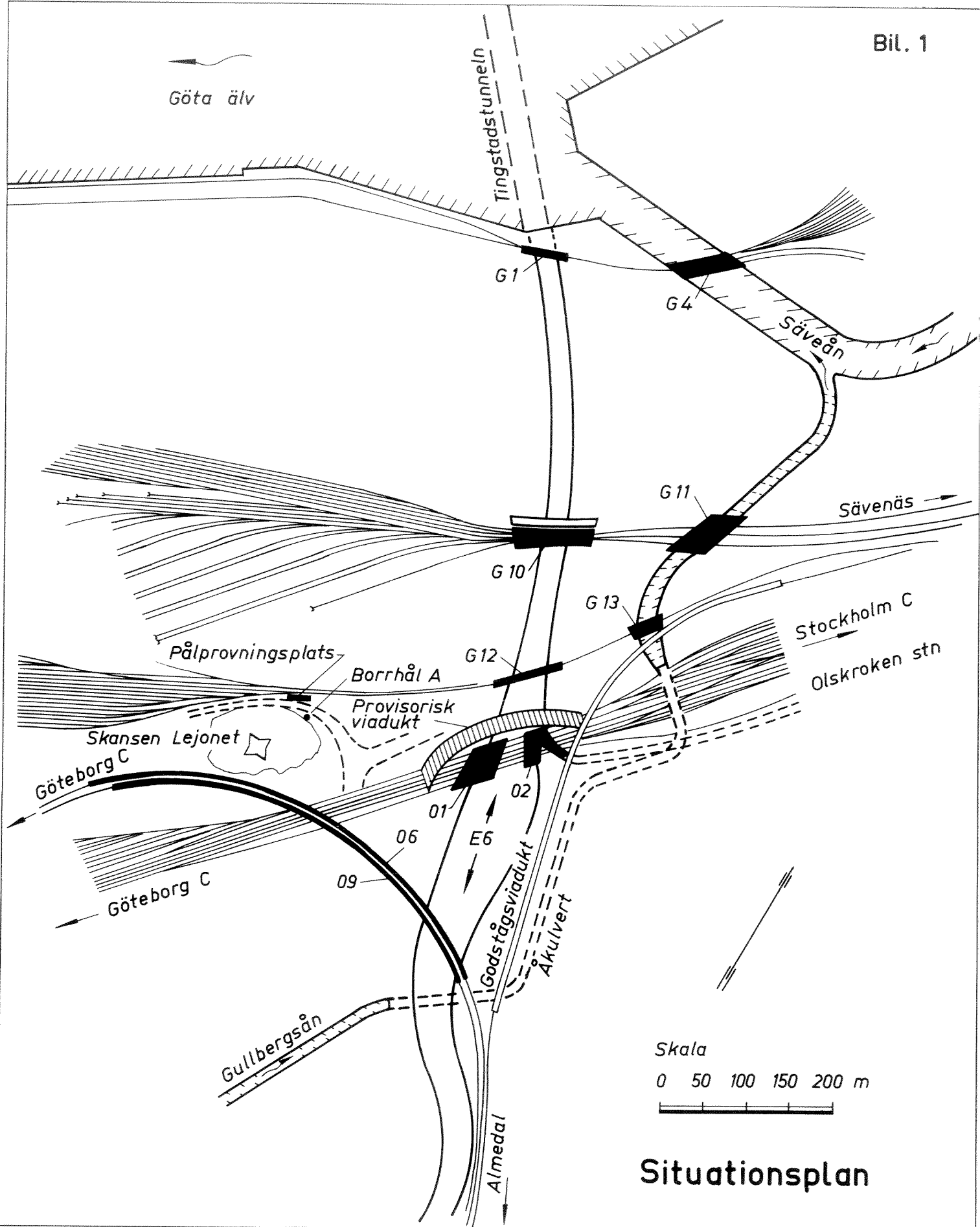
Bil. 1	Översiktsplan Provpålningsplats Provisorisk viadukt Borrhål A	General plan Location of test piles Temporary overpass Borehole A
Bil. 2 a	Grundundersökning Borrplan Gyttjig, mjällig lera Sondering för bestämning av jordens ungefärliga fasthet genom belastning-vridning Borrning till förmodat berg Borrning till förmodad fast botten Djup till berg under markytan Tagning av ostörda jordprover med t. ex. kolvborr Borrning i förmodat berg Block Fyllning Friktionsjordart Lera Baslinje Interpolerade nivålinjer för bergytan	Investigation of soil conditions Boring plan Organic silty clay Determination of approximate soil strength by a torque loading test Boring to assumed rock Boring to assumed firm bottom Depth to rock below the ground surface Extraction of undisturbed samples with e. g. a piston sampler Boring in assumed rock Boulder Fill Cohesionless soils Clay Base-line Interpolated rock surface
Bil. 2 b	Diagram över resultat från laboratorieprovningar och vingborrning Djup i meter Jordart Vol. vikt Vattenhalt (i vikts-procent av torrsubstans) Finlekstal w_p = utrullningsgräns w_L = flytgräns Hållfasthetstalen H_3 o. H_1 Sensitivitet Skärhållfasthet t/m^2 ur H_3 med vingborr med tryckförsök	Results from laboratory tests and vane boring Depth in meter Soil type Unit weight Water content (percent of dry weight) Finness number w_p = plastic limit w_L = liquid limit Relative strength H_3 and H_1 Sensitivity Shearing strength from H_3 vane tests unconfined compression tests

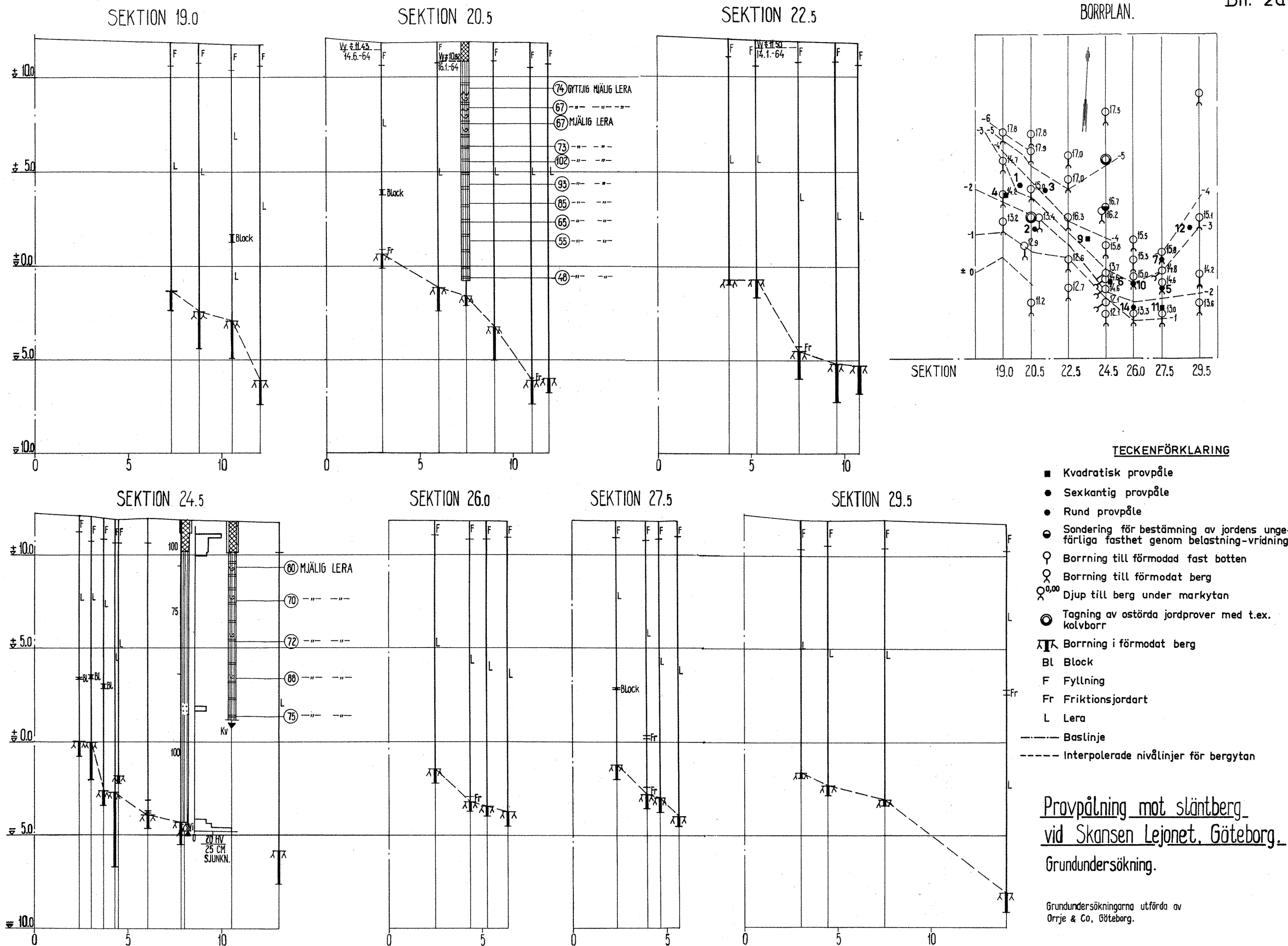
Bil. 3 a	Kvadratisk provpåle 25 x 25 cm	Square test pile 25 x 25 cm
	Pålhuvud	Pile head
	Plattjärn t = 5 mm	Flat iron
	Tvärsektion	Cross section
	Längsgående armering 4 ϕ 19	Longitudinal reinforcement 4 ϕ 19
	Byglar ϕ 5, stigning 100 mm på en sträcka av 1 m vid påldelsändar och 200 mm däremellan	Stirrups ϕ 5, spaced 200 mm and 100 mm along a length of 1 m from the ends of a pile section
	Pålspets	Pile point
	4 ϕ 19 Ks 40 s, längd 700 mm	4 ϕ 19 Ks 40 s, length 700 mm
	2 st inspektionshål	2 inspection holes
	Manschett av pl 3	Sheeting of 3 mm sheet
	Stålplatta 190x190x60 mm	Steel plate 190x190x60 mm
	Fjäder av pl 20	Steel plate 20 mm
	1/2" bult	1/2" screw
	Ämnesrör SMS 689,	Pipe,
	D _y = 90 mm	D outside = 90 mm
	D _i = 63 mm	D inside = 63 mm
	Dubb av oljehärdat special- stål SIS 2090 med en egg- hårdhet av 58 R _C	Dowel with an edge hard- ness of 58 R _C
	Skarv	Joint
	Sexkantig provpåle	Hexagonal test pile
	Pålhuvud	Pile head
	20 mm slagplatta av stål	20 mm steel plate
	Skarvbeslag typ Herkules	Joint type Herkules
	Tvärsektion	Cross section
	Längsgående armering 6 ϕ 16, Ks 60	Longitudinal reinforcement
	Byglar ϕ 5, stigning 100 mm	Stirrups ϕ 5, pitch 100 mm
	Pålspets	Pile point
	6 ϕ 16 Ks 60, längd 500 mm, gängade fast i bottenplattan	6 ϕ 16 Ks 60, length 500 mm, screwed to bottom plate
	Inspektionshål ϕ 20 mm	Inspection hole
	Fjäder av pl 22	Spring steel plate 22 mm
	Stoppskruv S6SS, 1/2", längd 15 mm	Lockscrew, length 15 mm
	Rundstål d = 90 mm vari- urfräsning gjorts för berg- dubben	Round steel bar with groove for dowel
	Dubb av oljehärdat special- stål SIS 2090 med en egg- hårdhet av 58 R _C	Dowel
	Skarv	Joint
	Rund provpåle	Circular test pile
	Pålhuvud	Pile head
	Ring av pl 4	Ferrule of flat steel 4 mm
	Tvärsektion	Cross section
	Längsgående armering 6 ϕ 16, Ks 60	Longitudinal reinforcement
	Spiralarmering ϕ 4,2 mm med stigning 75 mm på en sträcka av 750 mm vid ändarna av ett pålelement och 150 mm däremellan	Spiral reinforcement ϕ 4,2 mm spaced 150 mm and 75 mm along a length of 750 mm from the ends of a pile element

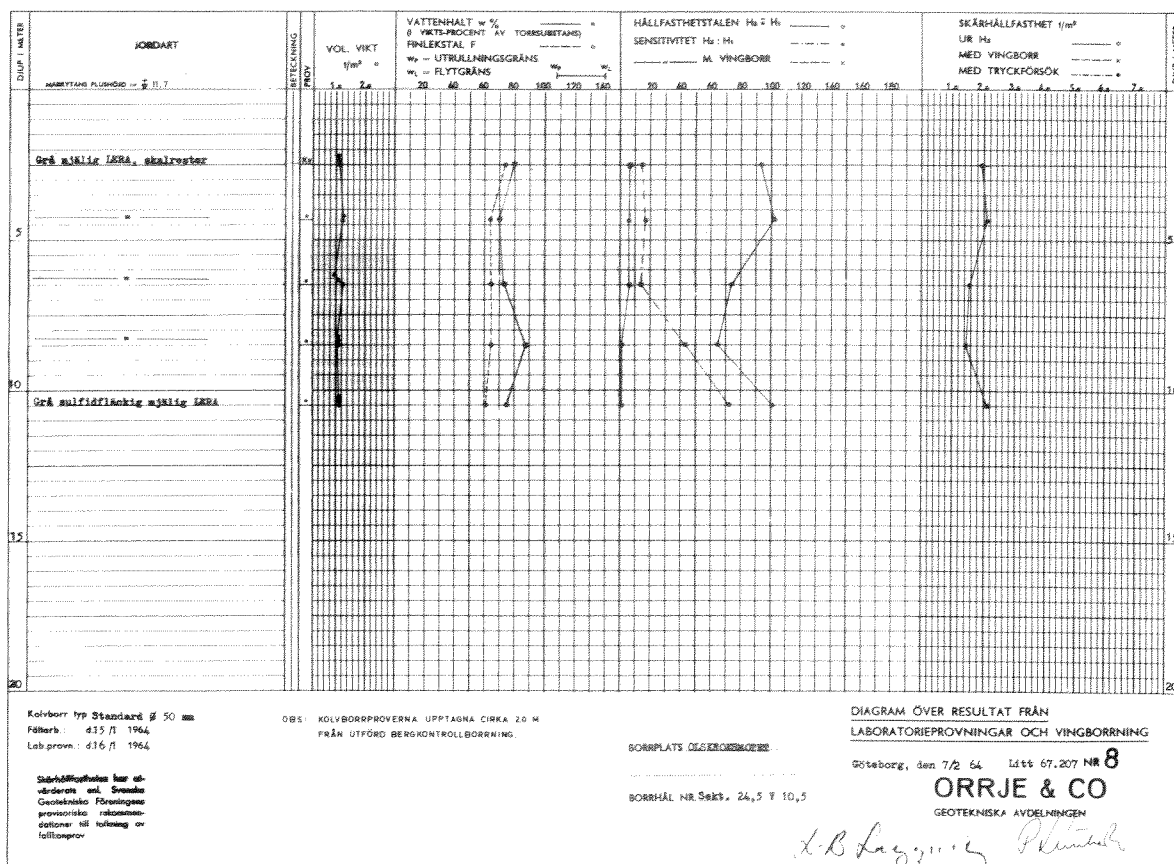
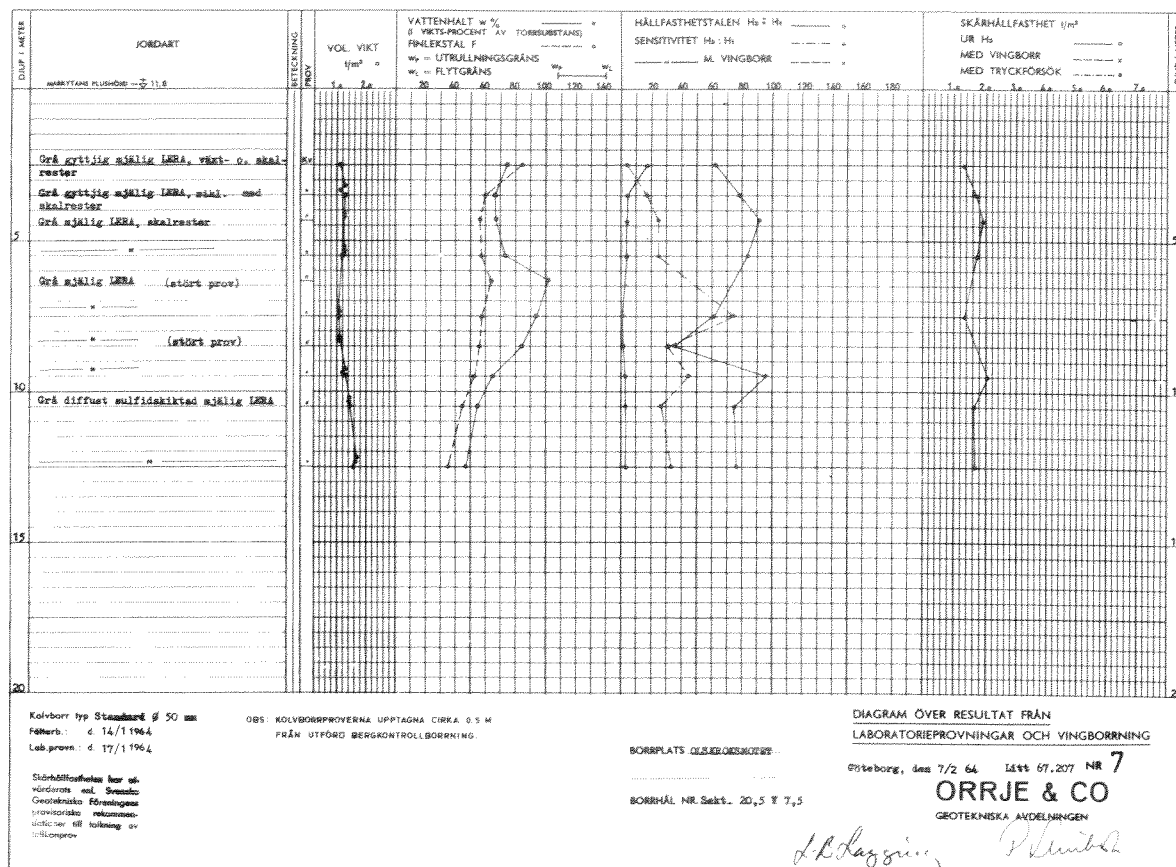
	De runda provpålarna var försedda med skarvar och pålspetsar av samma typ som de sexkantiga, anpassade till den runda tvärsektionen	The round test piles were equipped with joints and points of the same type as the hexagonal piles but adapted to the circular cross section of the round piles
Bil. 4	Pålplan	Location of piles
	Baslinje	Base line
	Interpolerade nivålinjer för bergytan	Interpolated rock surface
Bil. 5	Slagningsdiagram efter bergkänning	Pile driving diagram from tip of the pile reaching the rock level
	3 ton fallhejare i enkel part	3 tons drop hammer in single part
	Pålens sjunkning i cm	Penetration of pile in cm
	Summa slag	Number of blows
	Fallhöjd i m	Height of free fall in m
	Ökande sjunkning	Increasing penetration
	Slagningen avbruten	Pile driving interrupted
	Ej bergfäste	No penetration into the rock
	Nytt mellanläggsträ i slagdynan inlades vid skarvningen av varje provpåle	New wood cushion was inserted in helmet when each pile was jointed
	Slagningsschema efter bergkänning	Schedule of driving after tip of the pile had reached rock level
	1500 slag med 0,15 m fallhöjd eller till 6 cm sjunkning, därefter	1500 blows with 0,15 m free fall or after a penetration of 6 cm, thereafter
	50 slag med 0,30 m fallhöjd	50 blows with 0,30 m free fall
	50 slag med 0,40 m fallhöjd	50 blows with 0,40 m free fall
	10 slag med 0,50 m fallhöjd	10 blows with 0,50 m free fall
Bil. 6	Sonagram från ljudupptagning under slagning av betongpålar	Sonagram obtained from a sound-recording during driving of a concrete pile
	Principskiss av Sonagraph för ljudanalys	Sketch showing principle for a Sonagraph for sound analysis
	1000 Hz motsvarar 25 mm i samtliga delfigurer	1000 Hz corresponds to 25 mm in all figures
	Serie, slag	Series, blows
Bil. 7 b	Inklinometermätning	Inclination measurement
	Pålhuvud, skarv, pålspets	Pile head, joint, pile point
	Brott	Failure

Bil. 9 a	Pålar med ospänd armering Samband mellan böjande moment och krökningsradie Oskarvade pålelement Beteckning, påle nr Elementets beteckning Avstånd från pålspets Krökningsradie vid inklinometermätning Provad i diagonalled	Piles with reinforcement Relationship between bending moment and radius of curvature Unjointed pile elements Designation, pile number Designation of pile element Distance from pile point Radius of curvature determined from inclinometer measurements Tested diagonally
Bil. 9 b	Samband mellan böjande moment och böjstyvhet Siffrorna hänvisar till samma element som i bil. 9 a Böjstyvhet beräknad vid stadium II med $n = 15$	Relationship between bending moment and stiffness of pile section The figures refer to the pile element shown in appendix 9 a Bending stiffness during stage II with $n = 15$
Bil. 9 c	Samband mellan böjande moment och maximal sprickvidd	Relationship between bending moment and maximum crack width
Bil. 9 e	Samband mellan böjande moment och mittutböjningen. Oskarvade pålelement.	Relationship between bending moment and the central deflection. Pile elements without joints.
Bil. 10 b	Samband mellan böjande moment och vinkeländring i skarvarnas hopkopplingsanordningar	Relationship between bending moment and angular change in the joints
Bil. 10 c	Samband mellan böjande moment och medelböjstyvhet Skarvade pålelement	Relationship between bending moment and the average stiffness Jointed pile elements
Bil. 10 e	Samband mellan böjande moment och mittutböjningen. Skarvade pålelement.	Relationship between bending moment and the central deflection. Jointed pile elements.
Bil. 11	Tryckprov på oskarvade pålelement	Compression test on unjointed pile elements
Bil. 13	Jämförelser beträffande vinkel i skarv och krökning i oskarvat pålavsnitt i ett antal kvadratiske pålar slag-na vid vägportarna 0 1 och 0 8 och runda pålar slag-na vid provisoriska spårbryggor förbi 0 1 och 0 2 inom Olskroksmotet, Göteborg Procentuell andel av totala antalet pålar med $\leq$ angiven vinkel i skarv	Comparison between angle in joint and curvature of unjointed part for a number of square piles driven for the rigid frame bridges 0 1 and 0 8 and for circular piles driven for the provisional railway bridges by the rigid frame bridges 0 1 and 0 2 at Olskroksmotet, Gothenburg Percentage of total number of piles with angular rotation $\leq$ given angular joint rotation

Vinkel i skarv uppmätt vid inklinometermätning	Angular joint rotation determined from inclination measurements
Jämförelsematerial: 50 kvadratiska pålar, längd 49,0-69,6 m 54 runda pålar, längd 29,0-42,0 m Största vinkel i skarv i varje påle medräknad	Comparison: 50 square piles, length 49,0-69,6 m 54 circular piles, length 29,0-42,0 m The largest angular joint rotation for each pile is included
Kvadratisk påle, 25x25 cm med ABB-skarv	Square pile, 25x25 cm with joint, type ABB
Rund påle, 28 cm diam. med Herkules-skarv	Circular pile, ϕ 28 cm with joints, type Hercules
Procentuell andel av totala antalet pålar med $\leq$ angiven krökningsradie	Percentage of total number of piles with radius of curvature $\leq$ stated radius of curvature
Krökning i oskarvad påldel uppmätt vid inklinometermätning	Curvature for unjointed part of pile determined from inclinometer measurements
Jämförelsematerial: 54 kvadratiska pålar, längd 39,8-69,6 m 54 runda pålar, längd 29,0-42,0 m Minsta krökningsradie i varje påle medräknad	Comparison: 54 square piles, length 39,8-69,6 m 54 round piles, length 29,0-42,0 m The smallest radius of curvature for each pile is included

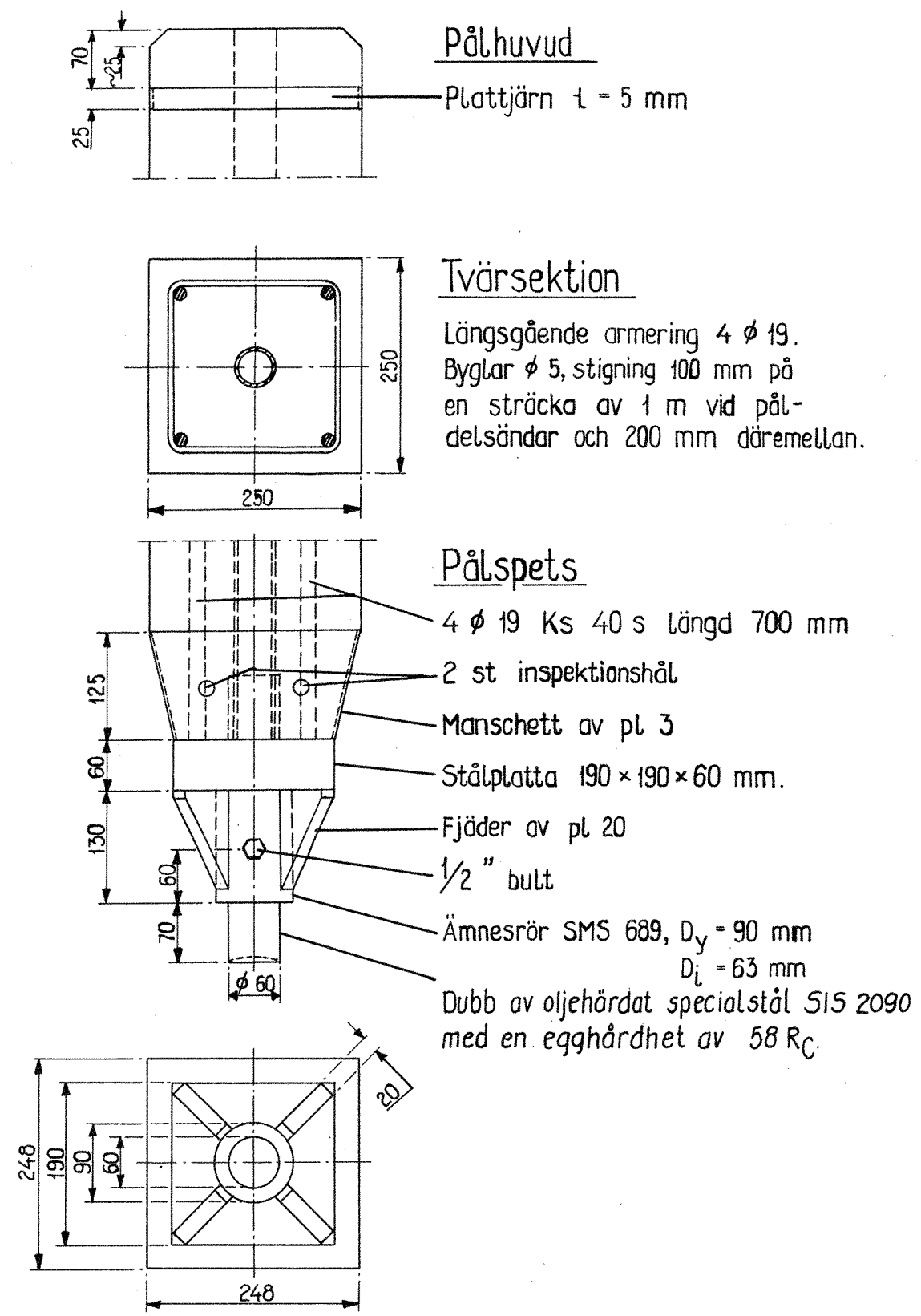




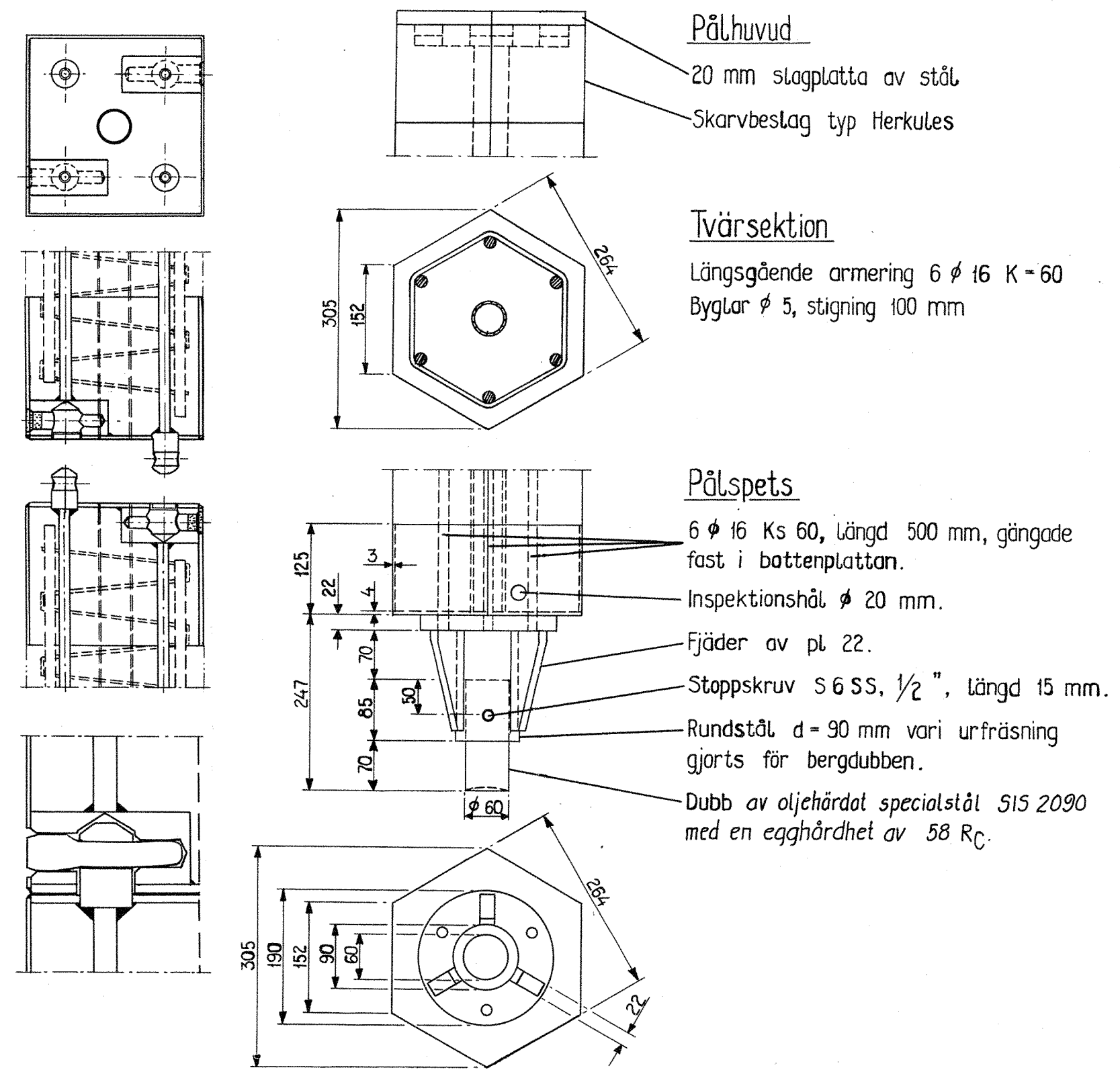


PROVPÅLNING MOT SLÄNTBERG VID SKANSEN LEJONET, GÖTEBORG

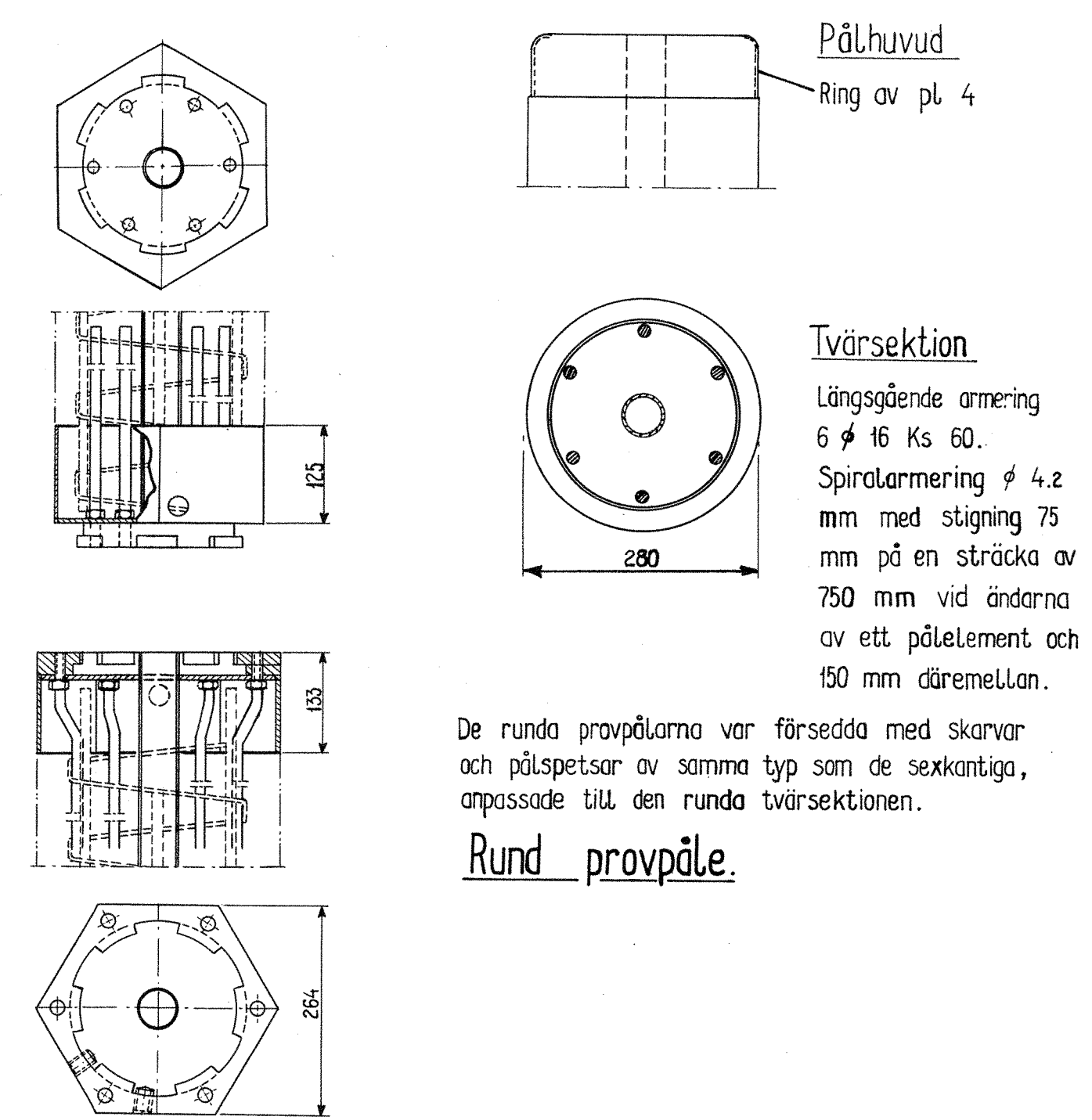
GRUNDUNDERSÖKNINGAR



Kvadratisk provpåle 25 x 25 cm.



Sexkantig provpåle



De runda provpålarne var försedda med skarvar
och pålspetsar av samma typ som de sexkantiga,
anpassade till den runda tvärsektionen.

Rund provpåle.

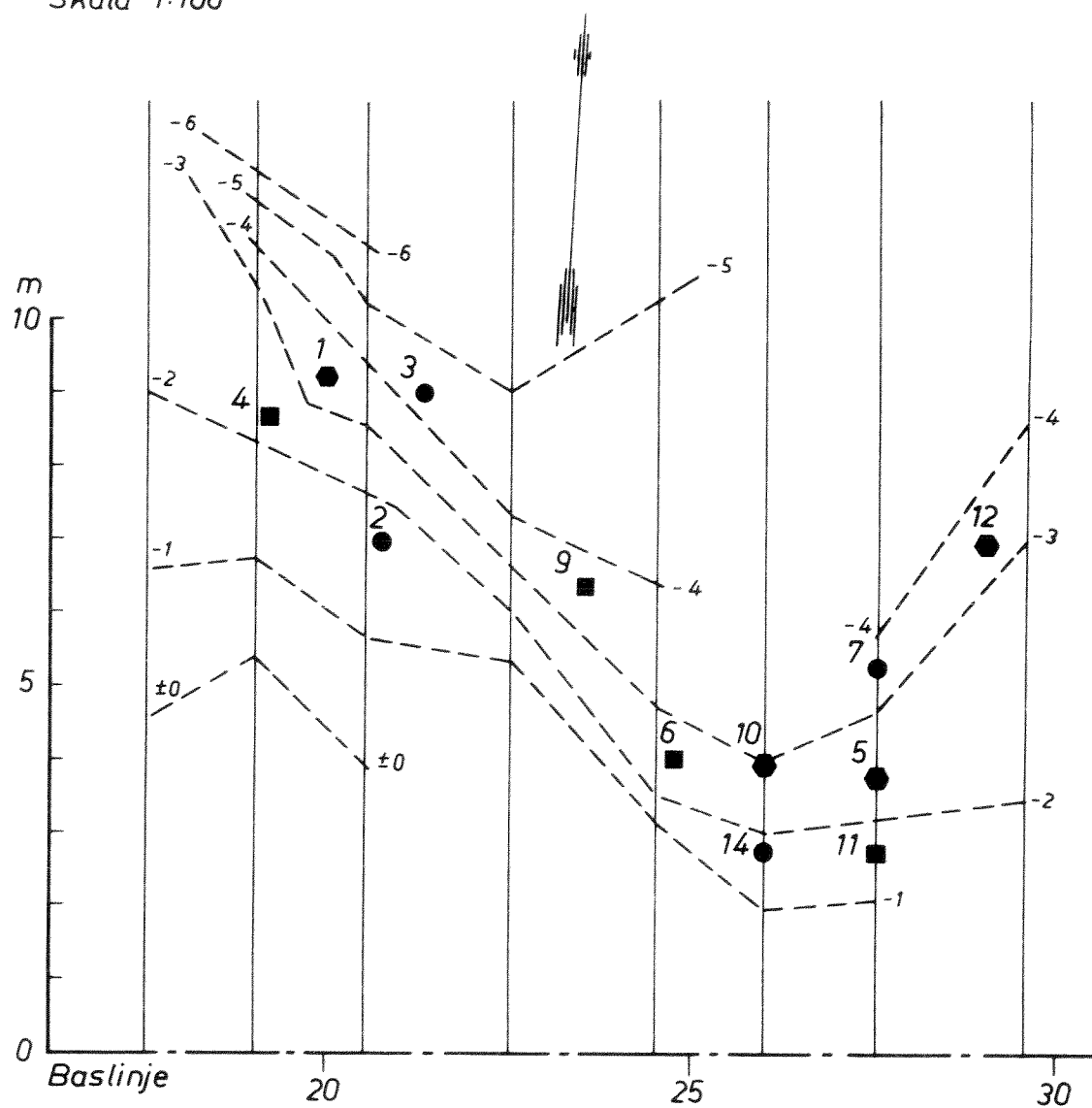
Provpålning mot släntberg vid
Skansen Lejonet, Göteborg.
Provpålar, konstruktionsritning.

Sammanställning av resultat av kubprovningar.

Enligt kopior av intyg från Chalmers Provningsanstalt
var kubhållfastheten följande.

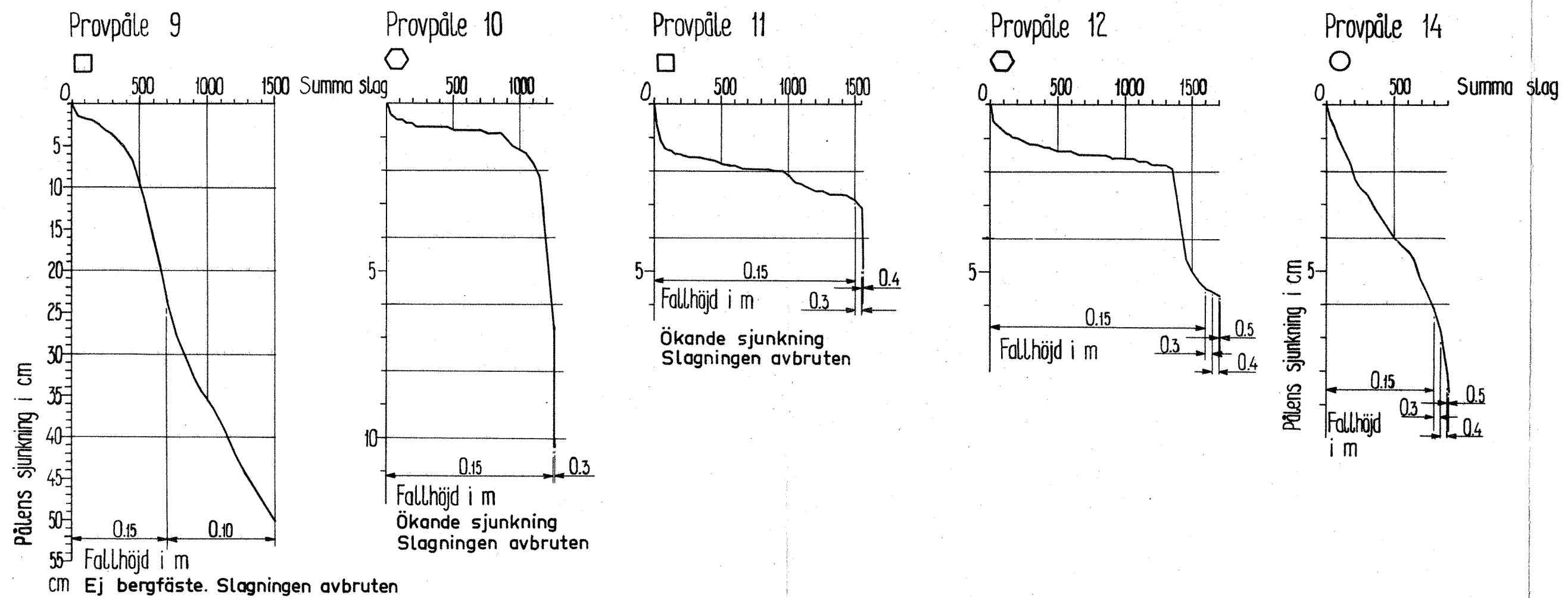
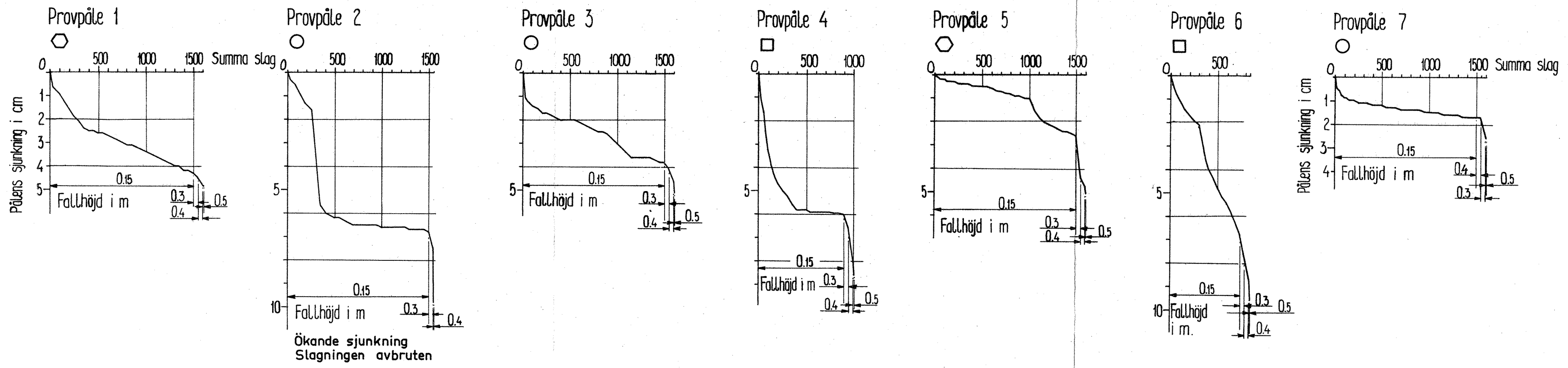
Kvadratiska pålar 28-dygnsprov	Sexkantiga pålar 28-dygnsprov	Runda pålar 45-dygnsprov
532	560	510
601	607	476
<u>592</u>	<u>589</u>	<u>493</u>
medel- värde 575	medel- värde 585	medel- värde 493
Intyg nr 103816	Intyg nr 103270	Intyg nr 103430

Skala 1:100



----- Interpolerade nivålinjer för bergytan

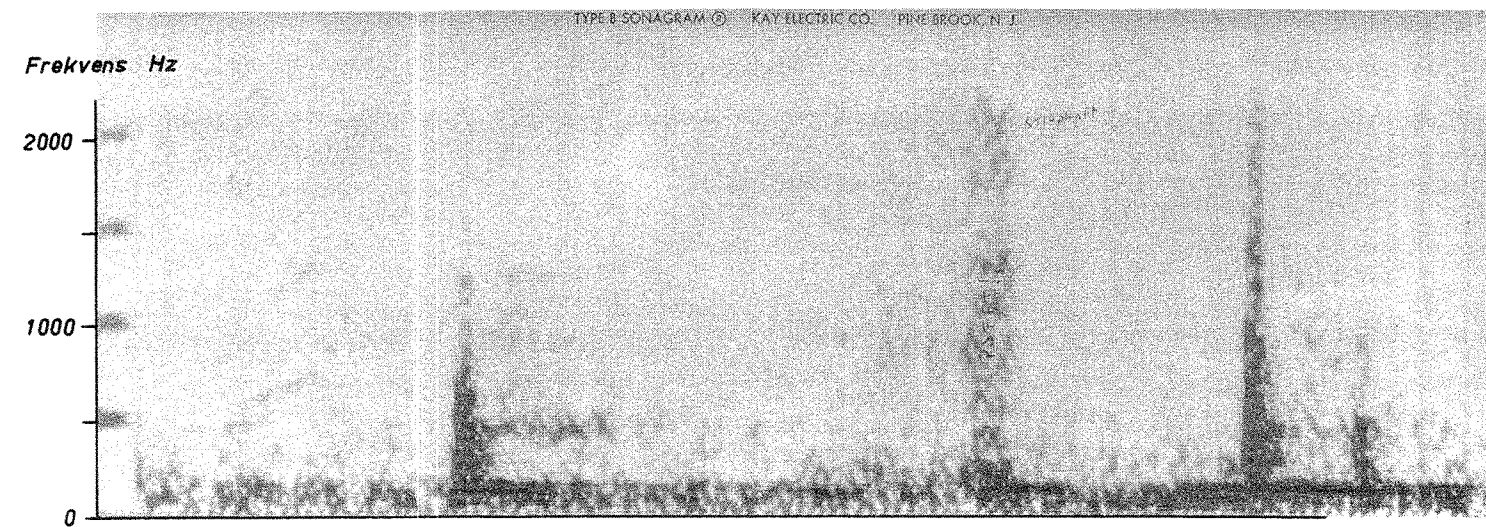
3 ton fallhejare i enkel part



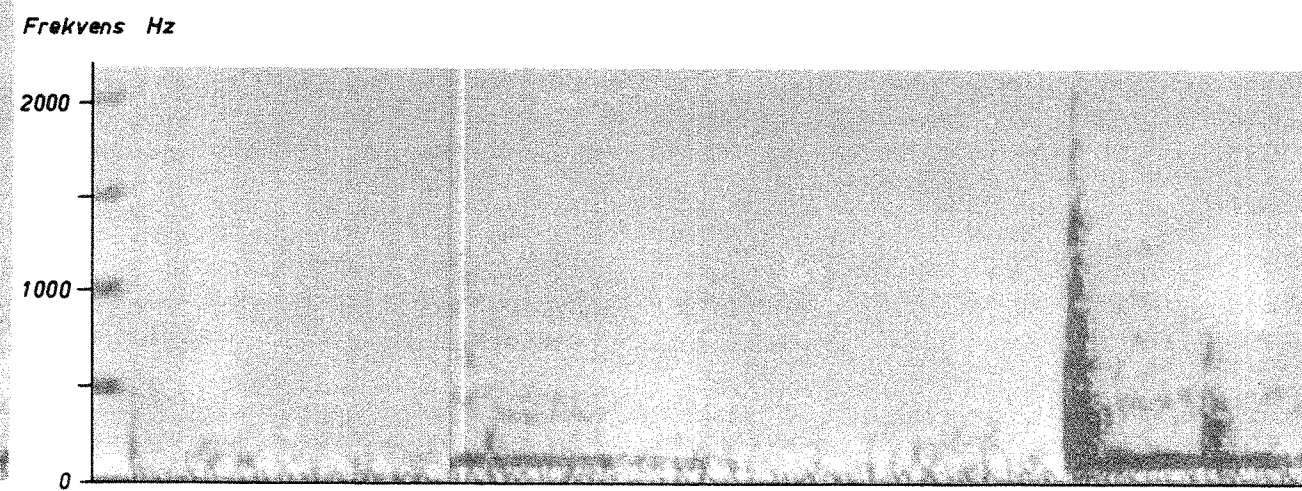
Nytt mellanläggsträ i slagdynan
inlades i skarvningen av varje
provpåle.

Slagningsschema efter bergkänning
1500 slag med 0,15 m fallhöjd eller
till 6 cm sjunkning, därefter
50 slag med 0,30 m fallhöjd
50 " " " 0,40 m " " och
10 " " " 0,50 m " "

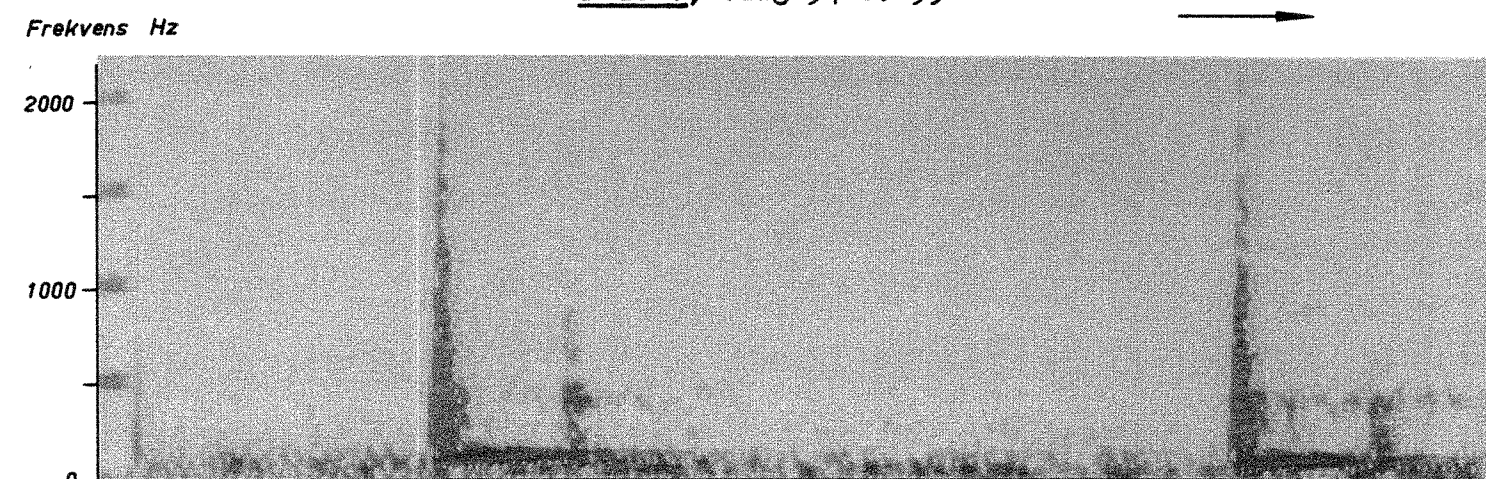
Provpålning mot släntberg vid
Skansen Lejonet, Göteborg.
Slagningsdiagram efter bergkänning



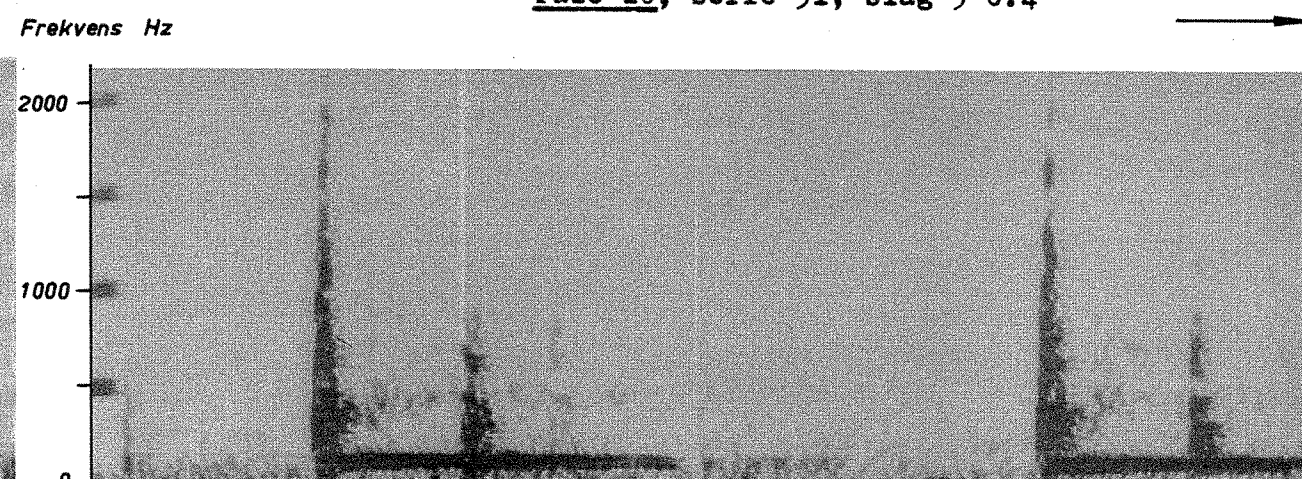
Pål 6, slag 34 o. 35



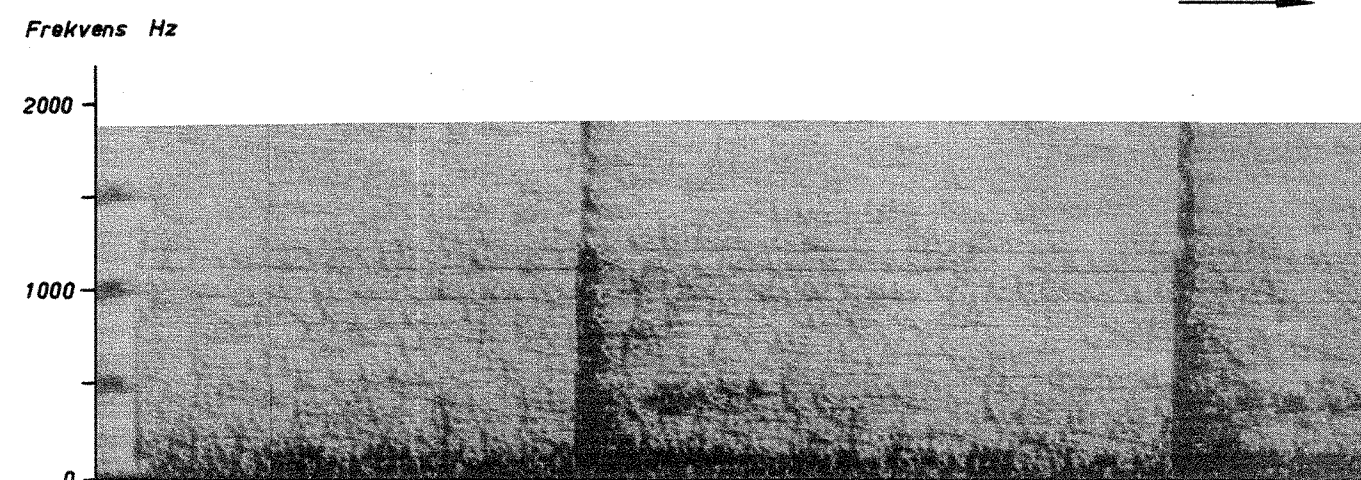
Pål 10, serie 31, slag 3 o. 4



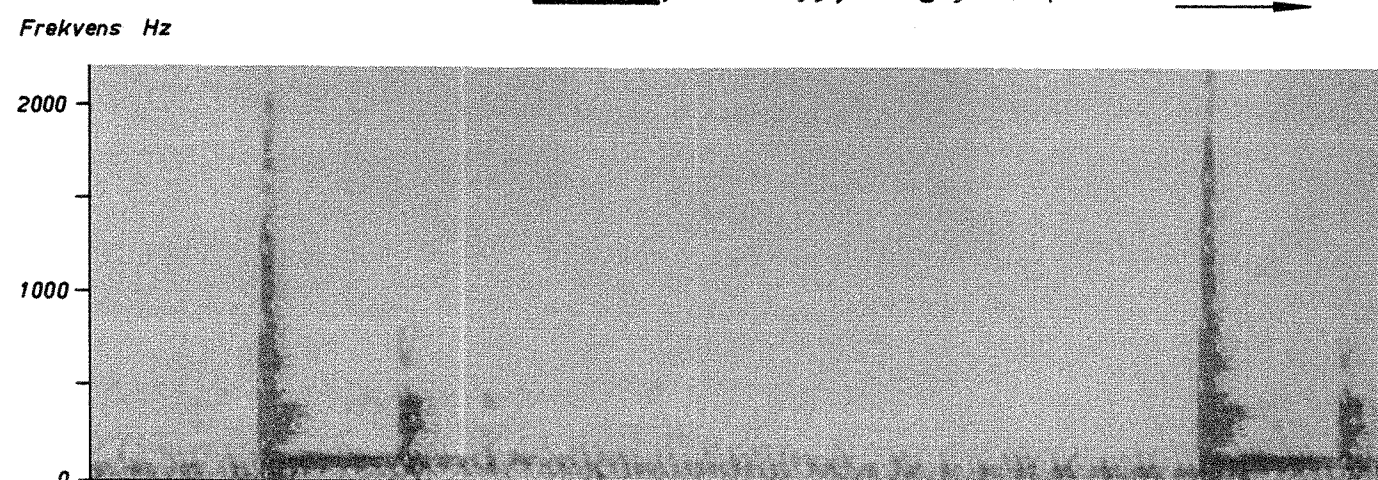
Pål 6, slag 36 o. 37



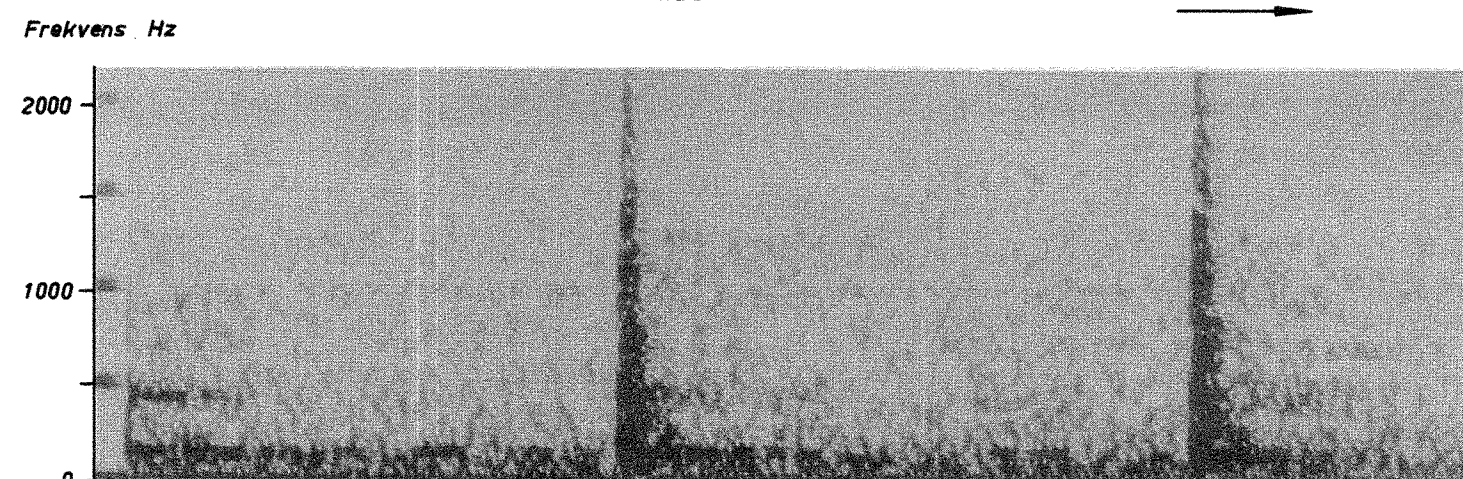
Pål 10, serie 33, slag 3 o. 4



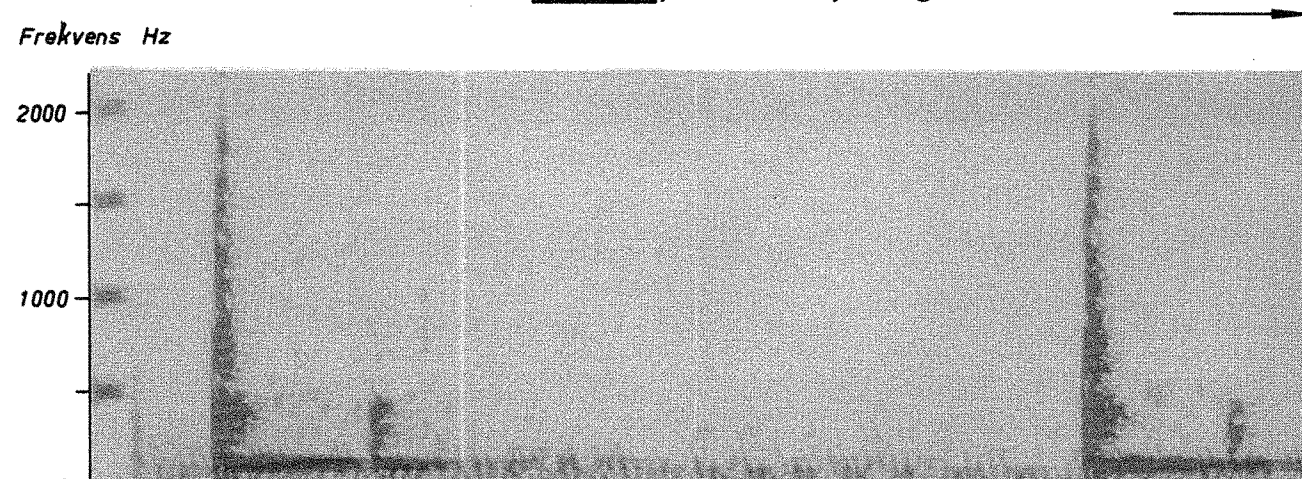
Pål 10, serie 25, slag 1 o. 2



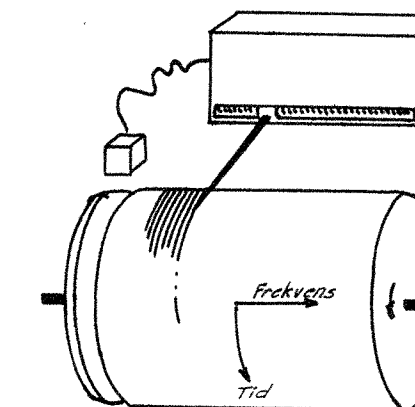
Pål 10, serie 80, slag 1 o. 2



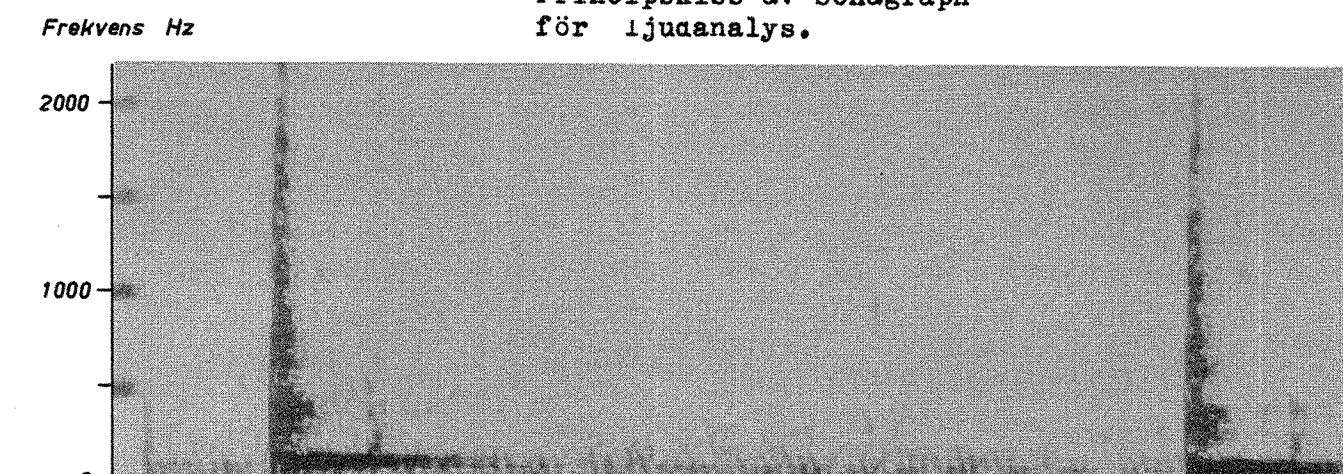
Pål 10, serie 25, slag 4 o. 5



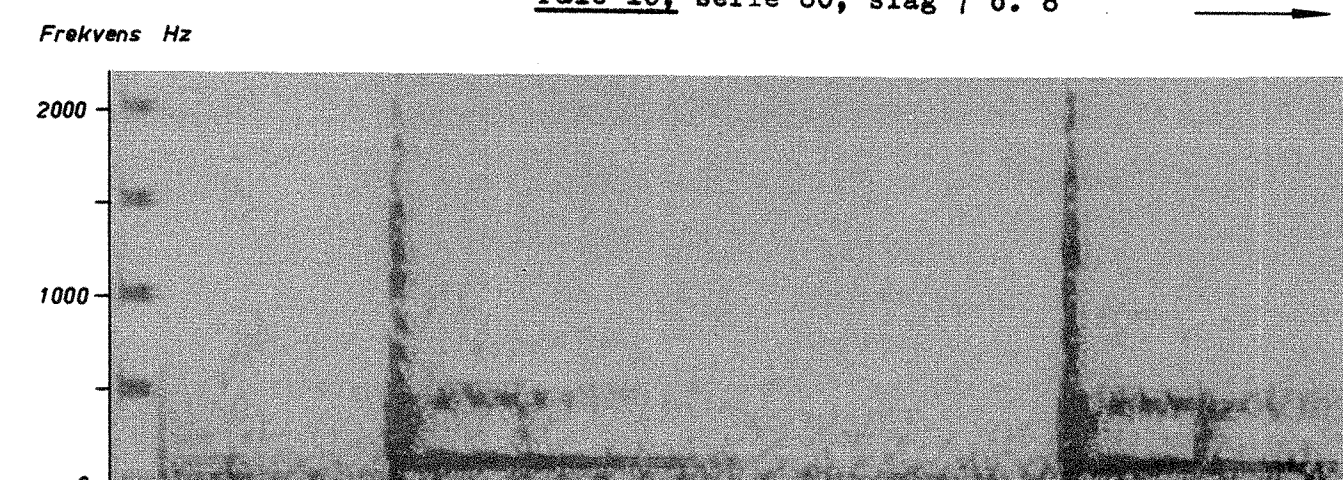
Pål 10, serie 80, slag 4 o. 5



Principskiss av Sonagraph
för ljudanalys.



Pål 10, serie 80, slag 7 o. 8



Pål 14, slag 54 o. 55

1000 Hz motsvarar 25 mm i samtliga delfigurer

PROVPÅLNING MOT SLÄNTBERG VID SKANSEN LEJONET, GÖTEBORG.

SONAGRAM FRÅN LJUDUPPTAGNING UNDER
SLAGNING AV BETONGPÅLAR.

Påle nr 4

Kvadratisk påle 25 x 25 cm.

Tillverkad den 22.4 1964. Slagen den 25.5 1964. Uppdragen den 30.5 1964.

Slagningen efter det att pålspetsen nått bergytan:

Sjunkningen 6 cm nåddes efter 900 slag. För 30-50 cm slagen var sjunkningen sammanlagt 2,6 cm. Fjädringen i medeltal = 11 mm vid 50 cm fallhöjd.

Pålspetsens djup under markytan 14,5 m.

Resultat av inklinometermätning:

Djup i m från pål- huvud	Avstånd i m från pålspet- sen	Horisontalt av- stånd i m från lodlinjen genom pålhuvudet	Riktning (Bäring)	Vertikal- vinkel i mätpunkt	Kröknings- radie i m	Anm.
0	14,86					pålhuvud
1,92	12,94			0,80°		mätpkt
2,75	12,11	0,039	93°		1190	
3,59	11,27			0,72°		mätpkt
4,59	10,27	0,063	91°		244	skarv
5,59	9,27			0,25°		mätpkt
7,66	7,20	0,076	92°		201	
9,73	5,13			1,43°		mätpkt
10,26	4,60	0,018	140°		90	
10,79	4,07			2,11°		mätpkt
11,29	3,57	0,032	143°		49	
11,79	3,07			3,29°		mätpkt
12,82	2,04	0,116	262°		140	
13,86	1,00			4,14°		mätpkt
14,86	0	0,261	259°			pålspets

Efter uppdragningen konstaterades riklig sprickbildning och begynnande böjbrott 3,24 m från pålspetsen samt stukning på bergdubben, en förstyrningsplåt på bergskon och på ett hörn av pålens nedre ände.

Från pålen uttogs två oskarvade element för böjprovning.

Avstånd från pålspets m	Elementets mittpunkt	Krökningsradie vid inklinome- termätning m	Elementets beteckning	Anmärkning
1,45-5,05	3,24	49	1:1	provades diagonalt
5,45-9,05	7,20	201	1:3	

Påle nr 6

Kvadratisk påle 25 x 25 cm.

Tillverkad den 22.4.64. Slagen den 28.5.64. Uppdragen den 30.5.64.

Slagningen efter det att pålspetsen nått bergytan:

Pålen sjönk 6,8 cm för 750 slag och 2,8 cm för 30-50 cm-slagen.

Fjädringen = 12 mm vid 50 cm fallhöjd.

Pålspetsens djup under markytan 14,8 m.

Resultat av inklinometermätning:

Djup i m från pålhuvud	Avstånd i m från pålspetsen	Horisontalt avstånd i m från lodlinjen genom pålhuvudet	Riktning (Bäring)	Vertikalvinkel i mätpunkt	Krökningsradie i m.	Anm.
0	15,14					pålhuvud
1,48	13,66			2,11°		mätppunkt
2,66	12,48	0,100	237°		586	
3,83	11,31			1,88°		mätppkt
4,83	10,31	0,170	242°		201	skarv
5,83	9,31			2,45°		mätppkt
6,83	8,31	0,255	244°		286	
7,83	7,31			2,85°		mätppkt
8,92	6,22	0,359	245°		204	
10,00	5,14			3,46°		mätppkt
10,57	4,57	0,458	246°		172	
11,14	4,00			3,84°		mätppkt
11,64	3,50	0,530	245°		191	
12,14	3,00			4,14°		mätppkt
12,64	2,50	0,602	244°		238	
13,14	2,00			4,38°		mätppkt
13,64	1,50	0,677	243°		229	
14,14	1,00			4,63°		mätppkt
15,14	0	0,798	243			pålspets

Efter uppdragningen konstaterades riklig sprickbildning samt obetydlig stukning på bergdubben och på en förstyrningsplåt på bergskon.

Från pålen uttogs ett skarvat element för böjprovning och två oskarvade element för tryckprovning.

Avstånd från pålspets m	Elementets		Anmärkning
	mittpunkt	beteckning	
8,50-12,10	10,31	2:7	
1,8 - 4,8		4:5	riklig sprickbildning
12,1 -14,9		4:6	ringa "

Påle nr 9

Kvadratisk påle 25 x 25 cm.

Tillverkad den 22.4 1964. Slagen den 27.5 1964. Uppdragen den 30.5 1964.

Slagningen efter det att pålspetsen nått bergytan:

För 1500 slag sjönk pålen 53,6 cm. Man tolkade detta så, att pålspetsen ej fått fäste i berget, varför slagningen avbröts.

Pålspetsens djup under markytan 15,8 m.

Resultat av inklinometermätning:

Djup i m från pålhuvud	Avstånd i m från pålspetsen	Horisontalt avstånd i m från lodlinjen genom pålhuvudet	Riktning (Bäring)	Vertikalvinkel i mätpunkt	Krökningsradie i m.	Anm.
0	16,06					pålhuvud
1,27	14,79			0,55°		mätpunkt
2,02	14,04	0,019	198°		661	
2,77	13,29			0,68°		mätpunkt
3,77	12,29	0,040	195°		3820	
4,77	11,29			0,65°		mätpunkt
5,77	10,29	0,062	187°		498	skarv
6,77	9,29			0,42°		mätpunkt
8,84	7,22	0,080	177°		1400	
10,91	5,15			0,25°		mätpunkt
11,70	4,36	0,071	169°		159	
12,49	3,57			0,82°		mätpunkt
13,27	2,79	0,049	165°		108	
14,06	2,00			1,65°		mätpunkt
14,56	1,50	0,016	129°		173	
15,06	1,00			1,98°		mätpunkt
16,06	0	0,063	171°			pålspets

Efter uppdragningen konstaterades riklig sprickbildning. Bergdubben var något stukad samt en förstyrvningsplåt och ett hörn på bergskon ganska kraftigt stukade.

Från pålen uttogs ett oskarvat och ett skarvat element för böjprovning.

Avstånd från pålspets m	Elementets mittpunkt	Krökningsradie vid inklinometermätning m	Elementets beteckning	Anmärkning
1.00-4,60	2,78	108	1:2	
8,50-12,10	10,29	-	2:1	

Påle nr 11

Kvadratisk påle 25 x 25 cm.

Tillverkad den 22.4 1964. Slagen den 28.5 1964. Uppdragen den 30.5 1964.

Slagningen efter det att pålspetsen nått bergytan:

Sjunkningen var 2,8 cm för 1500 slag, 0,25 cm för 30 cm-slagen och 1,8 cm för 7 slag med 40 cm fallhöjd. Eftersom sjunkningen visade en så kraftigt ökande tendens, avbröts slagningen.

Pålspetsens djup under markytan 13,1 m.

Resultat av inklinometermätning:

Djup i m från pålhuvud	Avstånd i m från pålspetsen	Horisontalt avstånd i m från lodlinjen genom pålhuvudet	Riktning (Bäring)	Vertikalvinkel i mätpunkt	Krökningsradie i m.	Anm.
0	13,27					pålhuvud
1,88	11,39			1,69°		mätpunkt
2,88	10,39	0,087	107°		2860	skarv
3,88	9,39			1,65°		mätpunkt
5,96	7,31	0,174	99°		4770	
8,04	5,23			1,60°		mätpunkt
10,12	3,15	0,288	93°		1830	
12,20	1,07			1,73°		mätpunkt
13,27	0	0,381	93°			pålspets

Efter uppdragningen konstaterades att bergdubben var något stukad och att trärester fastnat på bergskon.

Från pålen uttogs ett oskarvat och ett skarvat element för böjprovning.

Avstånd från pålspets m	Elementets mittpunkt	Krökningsradie vid inklinometermätning m	Elementets beteckning	Anm.
1,45-5,05	3,25	1830	1:6	Utan sprickor
8,50-12,10	10,32	-	2:2	

Påle nr 1

Sexkantig påle, sidlängd 15,2 cm, tvärsnittsarea 600 cm².

Tillverkad den 12.3 1964. Slagen den 26.5 1964. Uppdragen den 30.5 1964.

Slagningen efter det att pålspetsen nått bergytan:

Pålen sjönk 4,3 cm för 1500 slag och sammanlagt 0,5 cm för 30 - 50 cm-slagen.

Fjädringen = 10 mm vid 50 cm fallhöjd. Pålspetsens djup under markytan 15,2 m.

Resultat av inklinometermätning:

Djup i m från pålhuvud	Avstånd m från pålspetsen	Horisontalt avstånd i m från lodlinjen genom pålhuvudet	Riktning (Bäring)	Vertikalvinkel i mätpunkt	Krökningsradie i m.	Anm.
0	15,88					pålhuvud
2,00	13,88			1,27°		mätpunkt
3,18	12,70	0,071	351°		843	
4,35	11,53			1,43°		mätpunkt
5,35	10,53	0,131	353°		266	skarv
6,35	9,53			1,86°		mätpunkt
8,42	7,46	0,222	352°		474	
10,49	5,39			2,36°		mätpunkt
12,56	3,32	0,392	357°		296	
14,63	1,25			3,16°		mätpunkt
15,88	0	0,574	359			pålspets

Efter uppdragningen konstaterades riklig sprickbildning på dragsidan. Bergdubben var något stukad.

Från pålen uttogs ett oskarvat och ett skarvat element för böjprovning och ett oskarvat element för tryckprov.

Avstånd från pålspets m	Elementets mittpunkt	Krökningsradie vid inklinometermätning m	Elementets beteckning	Anm.
1,25-4,85	3,07	296	1:4	
8,50-12,10	10,28	-	2:4	
4,85-7,85	-	-	4:1	riklig sprickbildning

Påle nr 5

Sexkantig påle, sidlängd 15,2 cm, tvärsnittsarea 600 cm².

Tillverkad den 12.3 1964. Slagen den 27.5 1964. Uppdragen den 30.5 1964.

Slagningen efter det att pålspetsen nått bergytan:

Sjunkningen var 2,6 cm. för 1500 slag och sammanlagt 2,5 cm för 30-50 cm-slagen. Fjädringen = 11 mm vid 50 cm fallhöjd.

Pålspetsens djup under markytan 13,6 m.

Resultat av inklinometermätning:

Djup i m från pålhuvud	Avstånd i m från pålspetsen	Horisontalt avstånd i m från lodlinjen genom pålhuvudet	Riktning (Bäring)	Vertikalvinkel i mätpunkt	Krökningsradie i m.	Anm.
0	14,03					pålhuvud
2,71	11,32			0,68°		mätpunkt
3,71	10,32	0,044	140°		717	skarv
4,71	9,32			0,84°		mätpunkt
6,79	7,24	0,089	139°		280	
8,86	5,17			1,69°		mätpunkt
10,93	3,10	0,211	138°		2300	
13,01	1,02			1,94°		mätpunkt
14,03	0	0,313	141°			pålspets

Efter uppdragningen konstaterades riklig sprickbildning. Bergdubben och ett hörn på pålens nedre ände var obetydligt stukade.

Från pålen uttogs ett skarvat element för böjprovning.

Avstånd från pålspets m	Elementets	
	mittpunkt	beteckning
8,50-12,10	10,30	2:6

Påle nr 10

Sexkantig påle, sidlängd 15,2 cm, tvärsnittsarea 600 cm².

Tillverkad den 12.3 1964. Slagen den 28.5 1964. Uppdragen den 30.5 1964.

Slagningen efter det att pålspetsen nått bergytan:

För 1.150 slag sjönk pålen 2,2 cm. För följande 50 slag sjönk pålen 2,3 cm och för därpå följande 50 slag ytterligare 2,2 cm. Pålen hade då sjunkit 6,7 cm för 1,250 slag. För 8 slag med 30 cm fallhöjd sjönk pålen 3,6 cm. Med hänsyn till att sjunkningen var så stor avbröts slagningen. Pålspetsens djup under markytan 13,7 m.

Resultat av inklinometermätning:

Djup i m från pålhuvud	Avstånd i m från pålspets	Horisontalt avstånd i m från lodlinjen genom pålhuvudet	Riktning (Bäring)	Vertikalvinkel i mätpunkt	Krökningsradie i m.	Anm.
0	14,10					pålhuvud
2,84	11,26			1,48°		mätpunkt
3,84	10,26	0,099	169°		955	skarv
4,84	9,26			1,60°		mätpunkt
6,90	7,20	0,182	162°		329	
8,97	5,13			2,32°		mätpunkt
11,03	3,07	0,348	159°		2630	
13,10	1,00			2,41°		mätpunkt
14,10	0	0,475	162°			pålspets

Efter uppdragningen konstaterades sprickbildning med fina sprickor. En förstärkningsplåt på bergskon var något stukad.

Från pålen uttogs ett skarvat element för böjprovning.

Avstånd från pålspets m	Elementets	
	mittpunkt	beteckning
8,45-12,05	10,26	2:9

Påle nr 12

Sexkantig påle, sidlängd 15,2 cm, tvärsnittsarea 600 cm².

Tillverkad den 12.3 1964. Slagen den 27.5 1964. Uppdragen den 30.5 1964.

Slagningen efter det att pålspetsen nått bergytan:

Pålen sjönk 5,5 cm för 1600 slag och sammanlagt 1,6 cm för 30-50 cm slagen.

Fjädringen = 10,5 mm vid 50 cm fallhöjd.

Pålspetsens djup under markytan 15,2 m.

Resultat av inklinometermätning:

Djup i m från pålhuvud	Avstånd i m från pålspets	Horisontalt avstånd i m från lodlinjen genom pålhuvudet	Riktning (Bäring)	Vertikalvinkel i mätpunkt	Krökningsradie i m.	Anm.
0	15,55					pålhuvud
2,63	12,92			0,80°		mätpunkt
3,44	12,11	0,048	146°		374	
4,26	11,29			1,05°		mätpunkt
5,26	10,29	0,081	148°		2290	skarv
6,26	9,29			1,10°		mätpunkt
8,34	7,21	0,134	133°		721	
10,41	5,14			1,43°		mätpunkt
12,48	3,07	0,236	128°		567	
14,56	0,99			1,01°		mätpunkt
15,55	0	0,290	126°			pålspets

Efter uppdragningen konstaterades riklig sprickbildning. Bergskon var oskadad.

Från pålen uttogs ett oskarvat och ett skarvat element för böjprovning samt ett oskarvat element för tryckprov.

Avstånd från pålspets m	Elementets mittpunkt m	Krökningsradie vid inklinometermätning m	Elementets beteckning	Anm.
1,45-5,05	3,25	567	1:7	
8,50-12,10	10,30	-	2:10	
5,05-8,05	-	-	4:2	ringa sprickbildning

Påle nr 2

Rund påle, diameter = 28 cm.

Tillverkad den 6.3 1964. Slagen den 26.5 1964. Uppdragen den 30.5 1964.

Slagningen efter det att pålspetsen nått bergytan:

Sjunkningen för 1500 slag var 6,8 cm. För 50 slag med 30 cm fallhöjd sjönk pålen 0,7 cm. På 7:e slaget med 40 cm fallhöjd ökade sjunkningen hastigt och var 2,3 cm för dessa 7 slag. Med hänsyn härtill avbröts slagningen. Pålspetsens djup under markytan 13,4 m.

Resultat av inklinometermätning:

Djup i m från pålhuvud	Avstånd i m från pålspets	Horisontalt avstånd i m från lodlinjen genom pålhuvudet	Riktning (Bäring)	Vertikalvinkel i mätpunkt	Krökningsradie i m.	Anm.
0	13,81					pålhuvud
2,45	11,36			1,10°		mätpunkt
3,45	10,36	0,105	29°		273	skarv
4,45	9,36			1,52°		mätpunkt
6,54	7,27	0,187	34°		1410	
8,63	5,18			1,69°		mätpunkt
10,72	3,09	0,309	36°		705	
12,81	1,00			2,03°		mätpunkt
13,81	0	0,416	34°			pålspets

Efter uppdragningen konstaterades riklig sprickbildning. Bergdubben, ämnesröret och en förstärkningsplåt på bergskon något stukade.

Från pålen uttogs ett skarvat element för böjprovning och ett oskarvat element för tryckprov.

Avstånd från pålspets m	Elementets		Anm.
	mittpunkt	beteckning	
8,55-12,15	10,36	2:3	
2,0 - 5,0	-	4:3	riklig sprickbildning

Påle nr 3

Rund påle, diameter = 28 cm.

Tillverkad den 6.3 1964. Slagen den 26.5 1964. Uppdragen den 30.5.1964.

Slagningen efter det att pålspetsen nått bergytan:

Pålen sjönk 3,8 cm för 1500 slag och sammanlagt 1,3 cm för 30-50 cm slagen.

Fjädringen = 10,5 mm vid 50 cm fallhöjd.

Pålspetsens djup under markytan 15,8 m.

Resultat av inklinometermätning:

Djup i m från pål- huvud	Avstånd i m från pålspets	Horisontalt av- stånd i m från lodlinjen genom pålhuvudet	Riktning (Bäring)	Vertikal- vinkel i mät punkt	Kröknings- radie i m.	Anm.
0	16,16					pålhuvud
2,01	14,15			0,93°		mät punkt
3,43	12,73	0,055	223°		562	
4,85	11,31			1,22°		mät punkt
5,85	10,31	0,105	213°		302	skarv
6,85	9,31			1,60°		mät punkt
8,93	7,23	0,184	199°		4770	
11,01	5,15			1,65°		mät punkt
13,08	3,08	0,295	188°		313	
15,16	1,00			0,89°		mät punkt
16,16	0	0,343	187°			pålspets

Efter uppdragningen konstaterades riklig sprickbildning. Bergdubben och en förstyrningsplåt på bergskon samt pålens nedre ände var skadade.

Från pålen uttogs ett skarvat element för böjprovning och ett oskarvat element för tryckprovning.

Avstånd från pålspets m	Elementets		Anmärkning
	mittpunkt	beteckning	
8,50-12,10	10,31	2:5	
12,1 -15,1	-	4:4	ringa sprickbildning

Påle nr 7

Rund påle, diameter = 28 cm.

Tillverkad den 6.3 1964. Slagen den 25.5 1964. Uppdragen den 30.5 1964.

Slagningen efter det att pålspetsen nått bergytan:

Sjunkningen för 1.500 slag var 1,7 cm och för 30-50 cm-slagen sammanlagt 0,9 cm. Fjädringen = 11,5 mm vid 50 cm fallhöjd.

Pålspetsens djup under markytan 15,1 m.

Resultat av inklinometermätning:

Djup i m från pål- huvud	Avstånd i m från pålspets	Horisontalt av- stånd i m från lodlinjen genom pålhuvudet	Riktning (Bäring)	Vertikal- vinkel i mät punkt	Kröknings- radie i m.	Anm.
0	15,43					pålhuvud
2,00	13,43			0,42°		mät punkt
3,03	12,40	0,022	179°		698	
4,07	11,36			0,25°		mät punkt
5,07	10,36	0,031	170°		337	skarv
6,07	9,36			0,59°		mät punkt
8,16	7,27	0,060	153°		352	
10,25	5,18			1,27°		mät punkt
12,34	3,09	0,152	146°		406	
14,43	1,00			1,86°		mät punkt
15,43	0	0,258	147°			pålspets

Efter uppdragningen konstaterades riklig sprickbildning. Bergskon var oskadad.

Från pålen uttogs ett oskarvat och ett skarvat element för böjprovning.

Avstånd från pålspets m	Elementets mittpunkt	Krökningsradie vid inkli- nometermätning m	Elementets beteckning
1,30-4,90	3,09	406	1:5
8,55-12,15	10,36	-	2:8

Påle nr 14

Rund påle, diameter = 28 cm.

Tillverkad den 6.3 1964. Slagen den 28.5 1964. Uppdragen den 30.5 1964.

Slagningen från det att pålspetsen nått bergytan:

Pålen sjönk 6,1 cm för 900 slag och sammanlagt 2,5 cm för 30-50 cm-slagen.

Fjädringen = 11,5 mm vid 50 cm fallhöjd.

Pålspetsens djup under markytan 13,5 m.

Resultat av inklinometermätning:

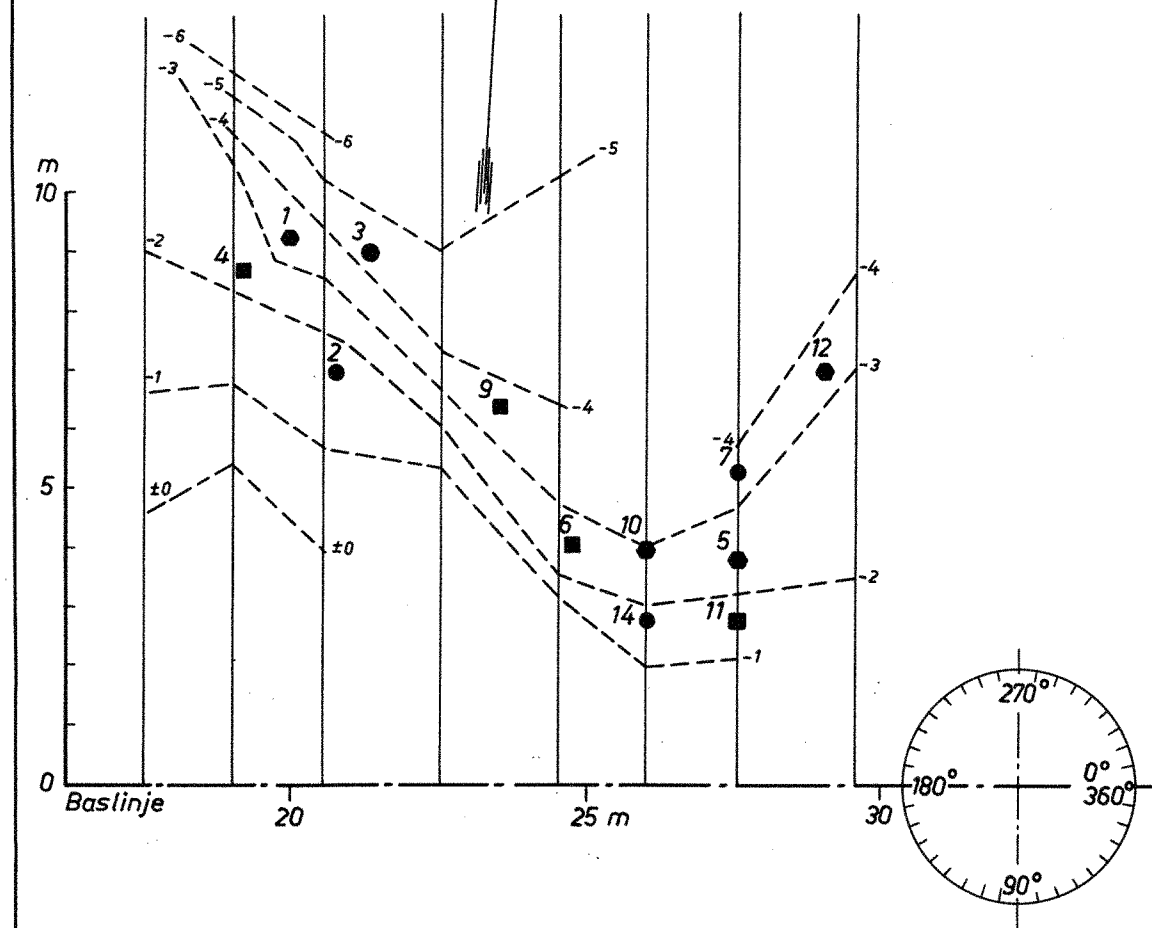
Djup i m från pålhuvud	Avstånd i m från pålspets	Horisontalt avstånd i m från lodlinjen genom pålhuvudet	Riktning (Bäring)	Vertikalvinkel i mätpunkt	Krökningsradie i m.	Anm.
0	13,76					pålhuvud
2,45	11,31			0,51°		mät punkt
3,45	10,31	0,031	269°		546	skarv
4,45	9,31			0,72°		mät punkt
6,53	7,23	0,067	249°		5960	
8,61	5,15			0,76°		mät punkt
10,68	3,08	0,109	225°		5950	
12,76	1,00			0,72°		mät punkt
13,76	0	0,141	214°			pålspets

Efter uppdragningen konstaterades riklig sprickbildning. Bergskon var oskadad.

Från pålen uttogs ett skarvat element för böjprovning.

Avstånd från pålspets m	Elementets		Anm.
	mittpunkt	beteckning	
8,50-12,10	10,31	2:11	

PÅLPLAN



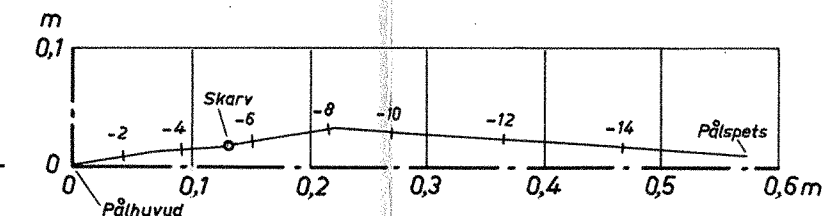
----- Interpolerade nivålinjer för bergytan

HORISONTALPROJEKTIONER

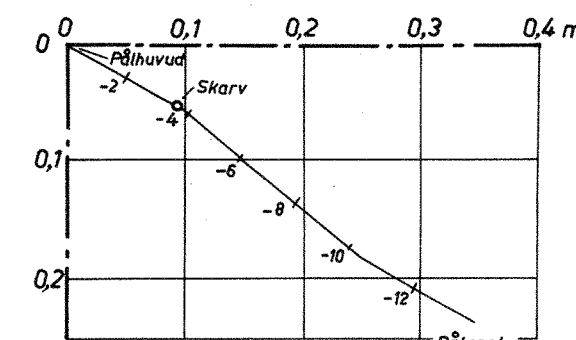
ANM.

Den horisontella — linjen i horisontalprojektionerna är parallell med pålplanens baslinje
-2, -4 etc. = nivå i m under pålhuvud

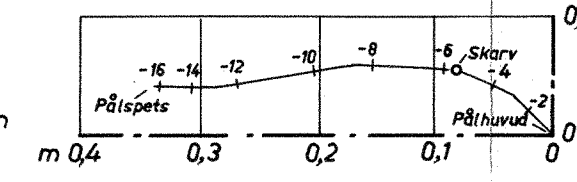
PÅLE NR 1



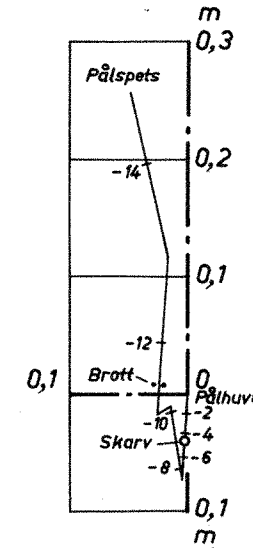
PÅLE NR 2



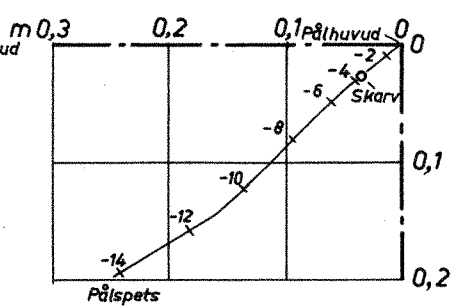
PÅLE NR 3



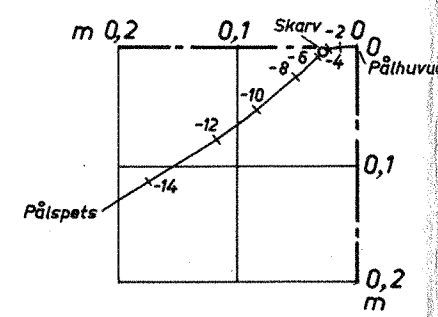
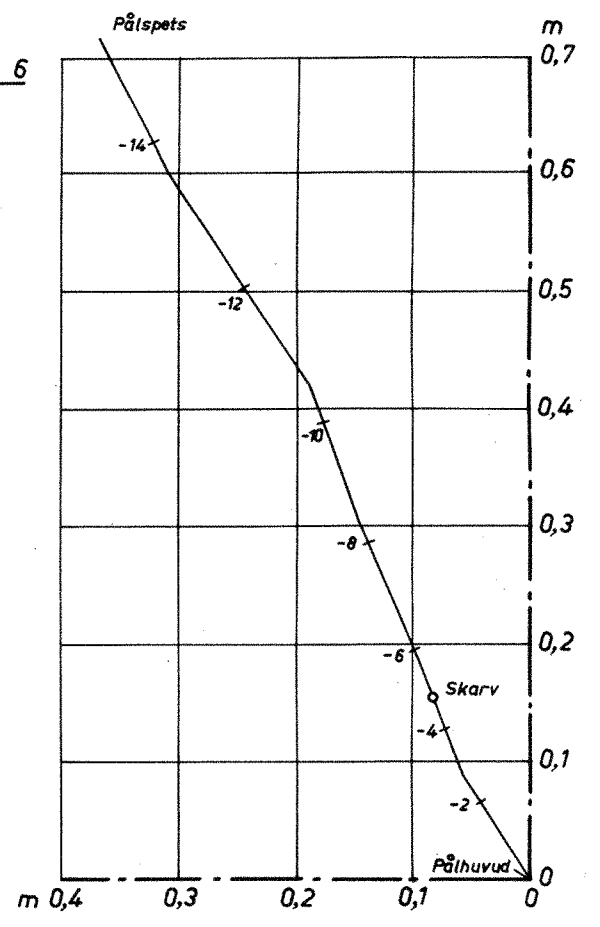
PÅLE NR 4



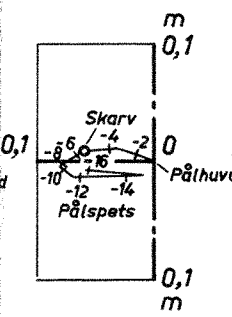
PÅLE NR 5



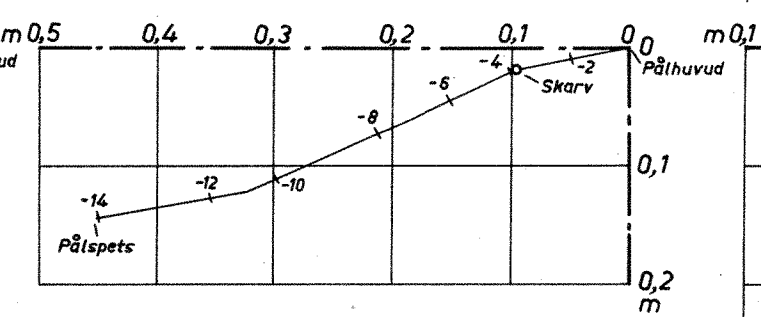
PÅLE NR 6



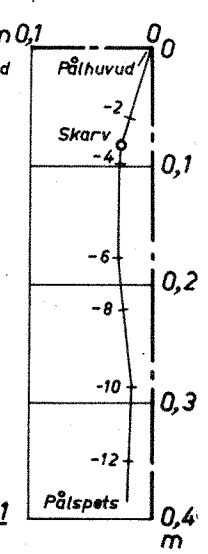
PÅLE NR 7



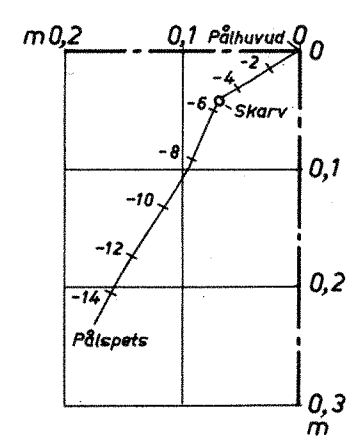
PÅLE NR 9



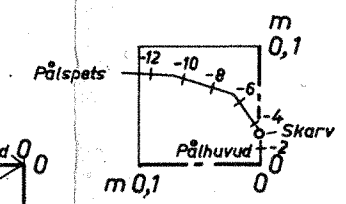
PÅLE NR 10



PÅLE NR 11



PÅLE NR 12

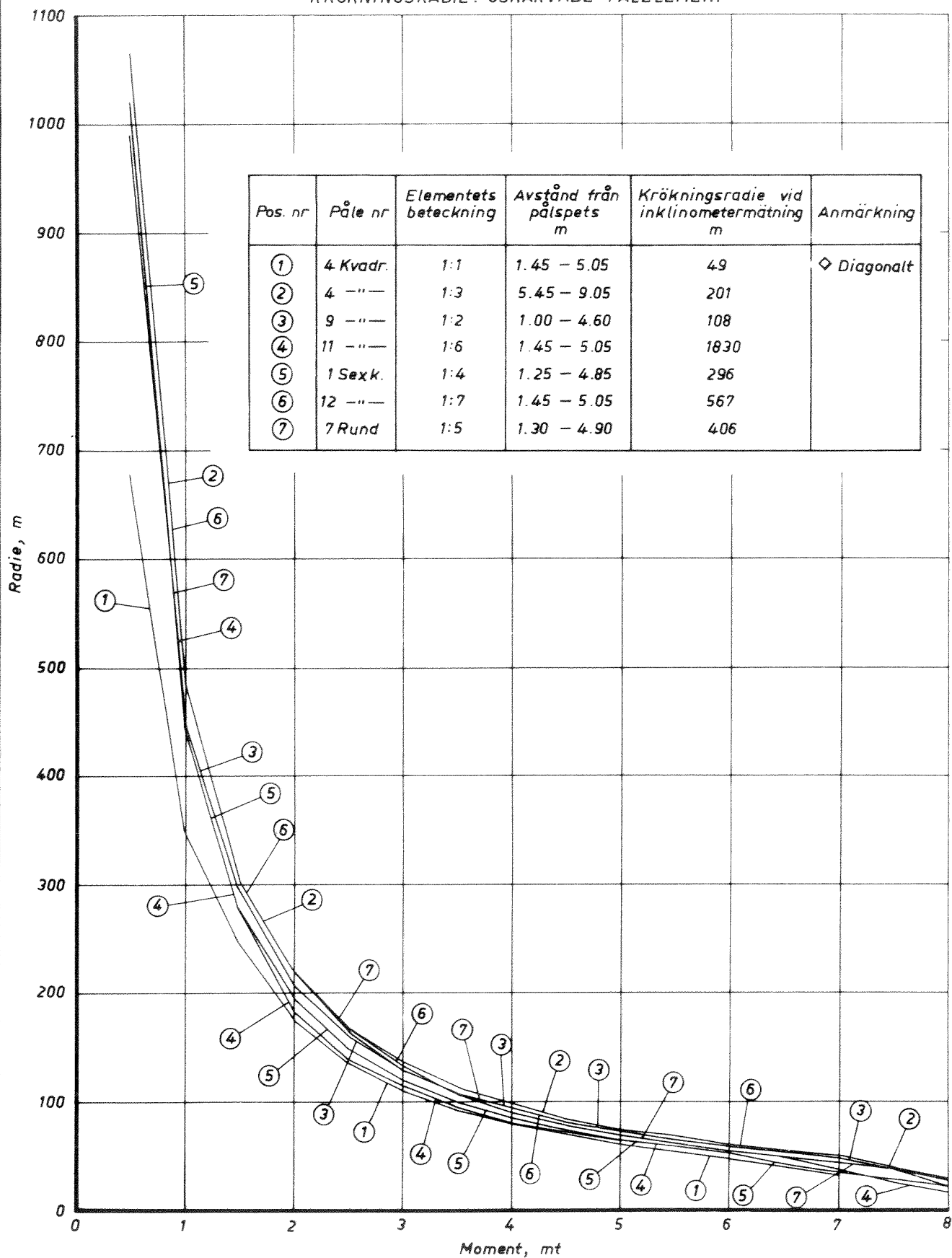


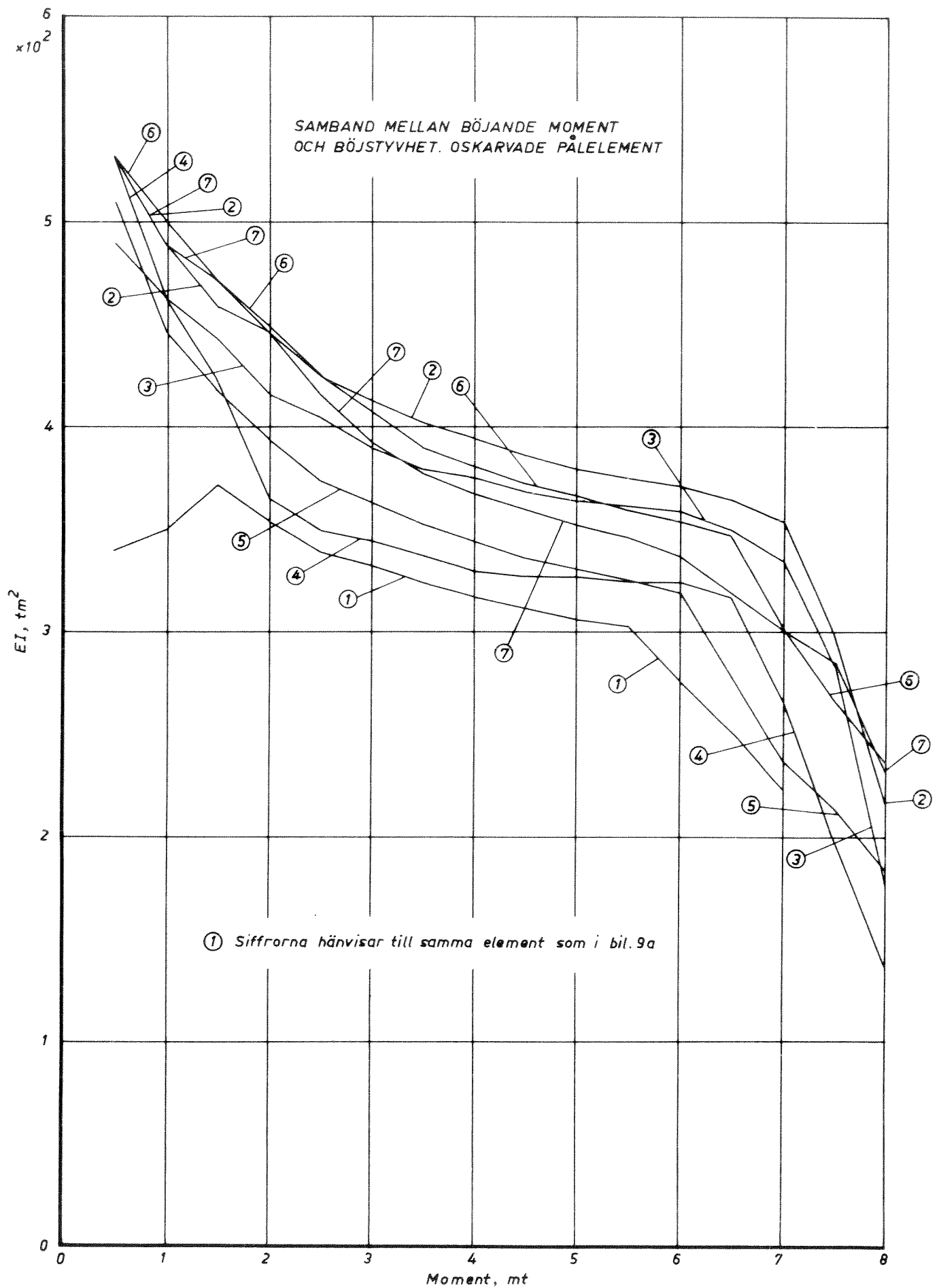
PÅLE NR 14

Resultat från laboratorieundersökning av prov på material som fastnat på pålarna och följt med upp vid uppdragningen

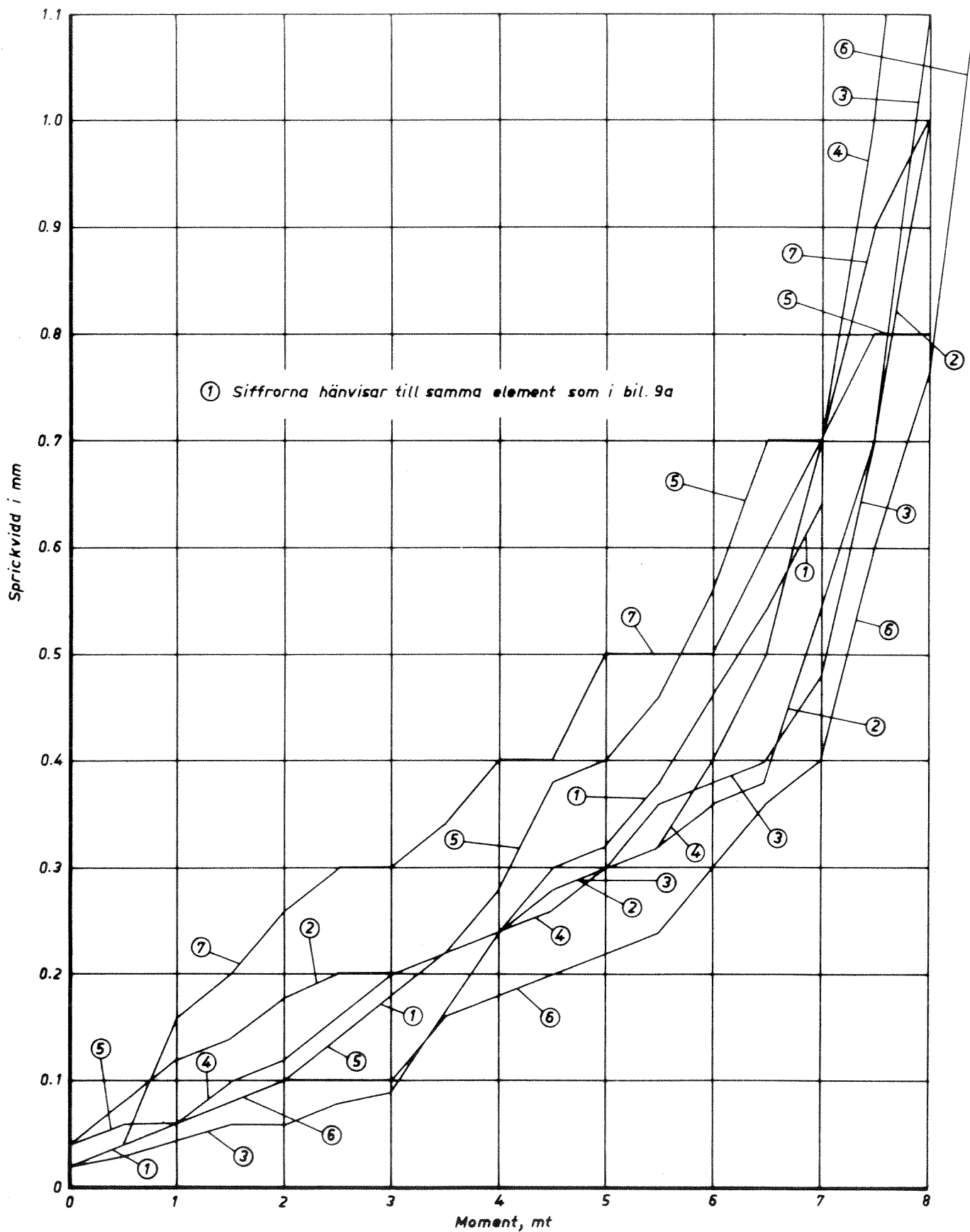
Prov nr	Geoteknisk benämning	Skjuvhåll- fasthet Konförsök t/m^2	Sensiti- vit τ_k/τ_R	Finleks- tal W_F %	Naturlig vatten- halt W_n %	Anmärkning
1.	Brun, grusig sand och gröngrå, svagt gyttjig lera med inblandning av sand och grus	1,5	3,2	61	53	Taget på påle nr 6, 3,5 m från spetsen
2.	Brun, grusig sand och mörkgrå, gyttjig lera med tunt algsikt	3,9	2,3	95	70	Taget på påle nr 11, 3,5 m från spetsen
3.	Grå lera med enstaka växtrester och skalrester (i provets yta körtlar av brun, grusig sand)	0,4	4,4	57	65	Taget på påle nr 11, 4,5 m från spetsen
4.	Brungrått, grusigt, sandigt, moigt material med leriga klumpar och träbitar					Taget på påle nr 1, på bergskon mellan förstyvningsplåtarna
5.	Brungrått, grusigt, sandigt, moigt material med leriga klumpar och träbitar					Taget på påle nr 2, på bergskon mellan förstyvningsplåtarna
6.	Brungrått, grusigt, sandigt, moigt material och grå lera					Taget på påle nr 3, på bergskon mellan förstyvningsplåtarna
7.	Brungrått, grusigt, sandigt, moigt material och grå lera med inblandning av grus och sand					Taget på påle nr 7, på bergskon mellan förstyvningsplåtarna
8.	Brunt, grusigt, sandigt, moigt material med enstaka vedrester					Taget på påle nr 12, på bergskon mellan förstyvningsplåtarna
9.	Brungrått, grusigt, sandigt, moigt material med rottrådar och betongbitar					Taget på påle nr 14, på bergskon mellan förstyvningsplåtarna

SAMBAND MELLAN BÖJANDE MOMENT OCH
KRÖKNINGSRADIE. OSKARVADE PÅLELEMENT





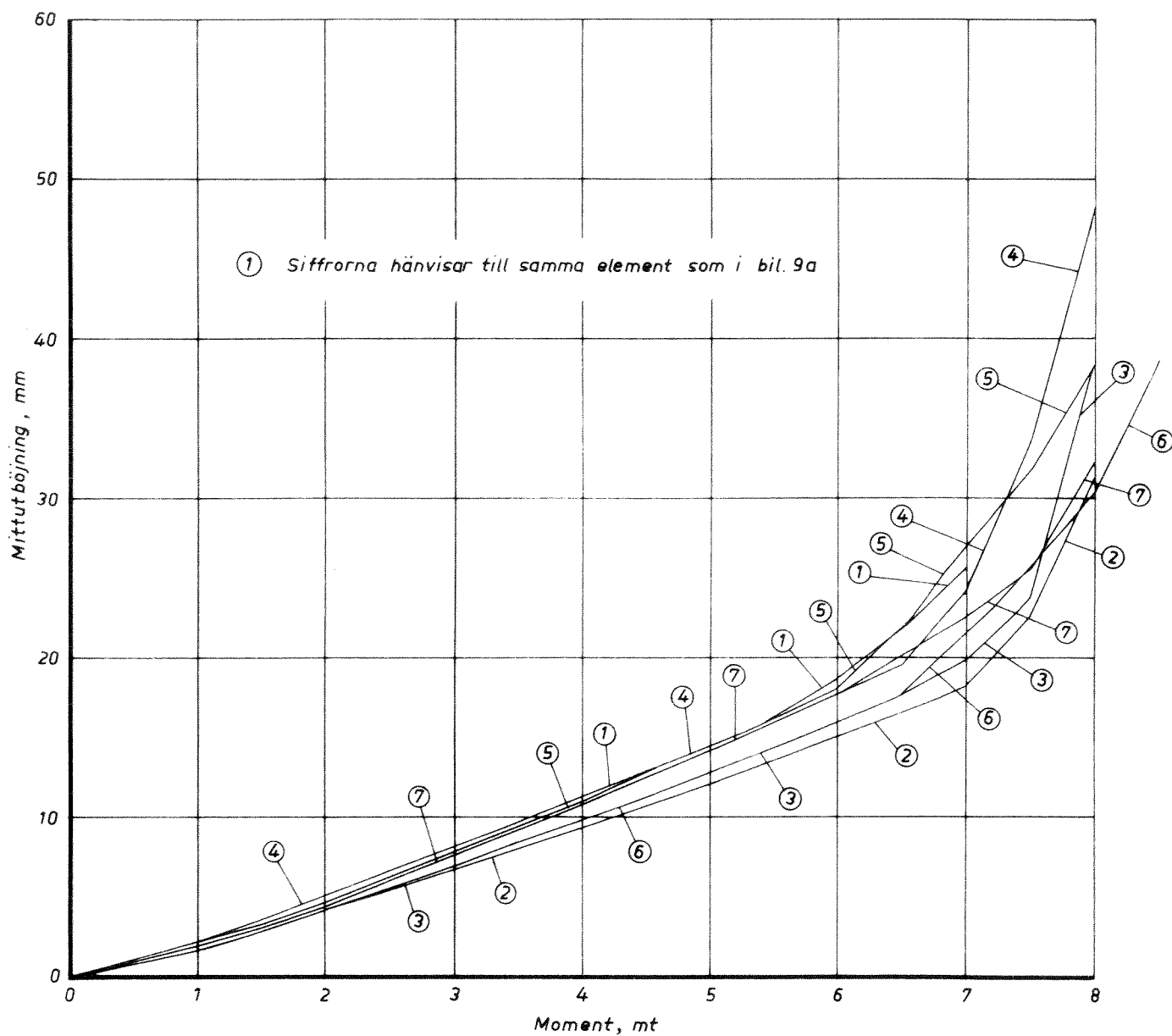
SAMBAND MELLAN BÖJANDE MOMENT OCH
MAXIMAL SPRICKVIDD. OSKARVADE PÅLELEMENT



Sammanfattning av data för oskarvade påelement uttagna för böjprovning

Element	Från påle nr	Antal slag efter bergkänning	Krökningsradie vid inklinometermätning m	Brottmoment vid böjprovning mt	Böjstyvhet vid $M = 4 \text{ mt}$ tm^2	Max. sprickvidd vid $M = 4 \text{ mt}$ mm
Kvadr. 1:1	4	1010	49	7,5	318	0,24
" 1:2	9	1500	108	8,5	376	0,24
" 1:3	4	1010	201	8,75	396	0,24
" 1:6	11	1557	1830	8,4	330	0,24
Sexk. 1:4	1	1610	296	8,45	345	0,28
" 1:7	12	1710	567	8,67	381	0,18
Rund 1:5	7	1610	406	8,5	368	0,40

SAMBAND MELLAN BÖJANDE MOMENT
OCH MITTUTBÖJNING. OSKARVADE PÅLELEMENT

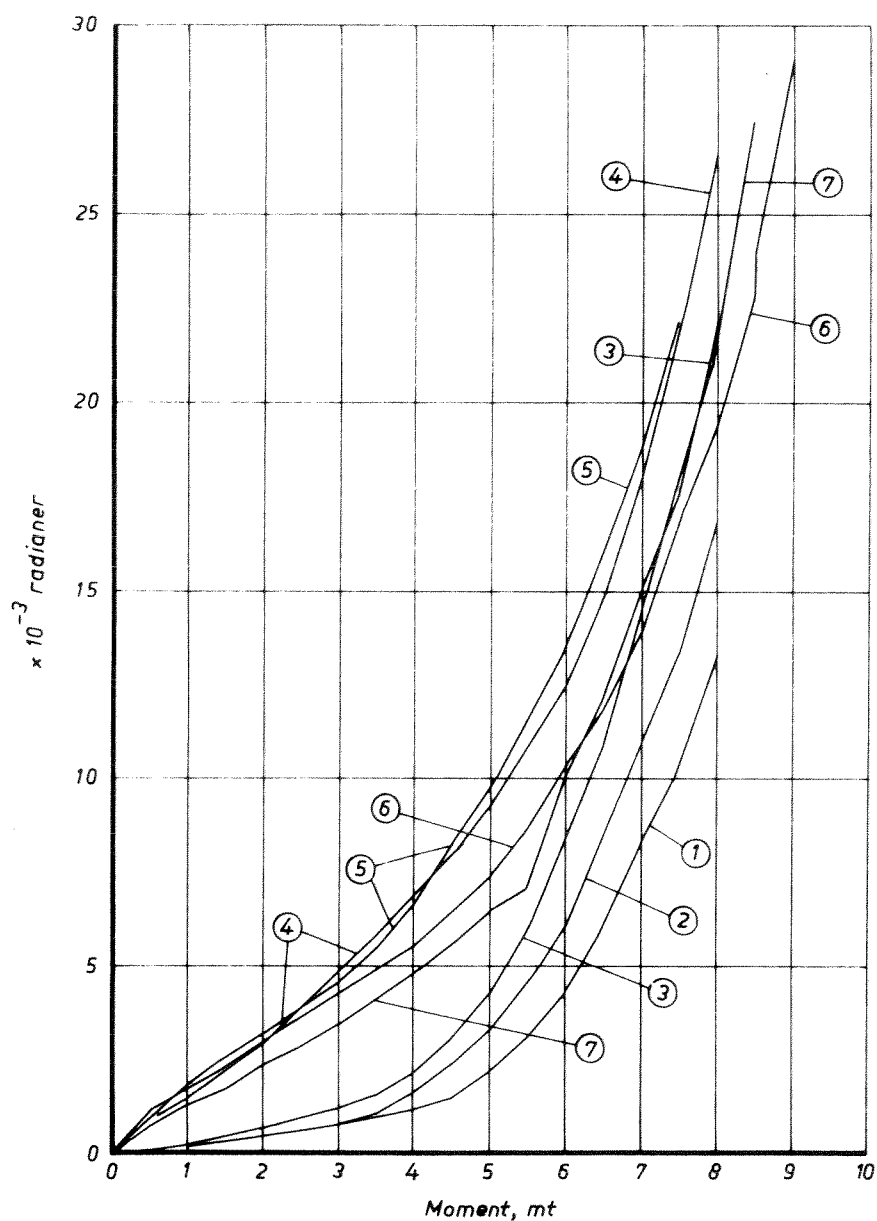


Vinkeländring i skarv vid små belastningar (av egen vikt)

Uppmätningen utförd enligt beskrivning på sid.12.

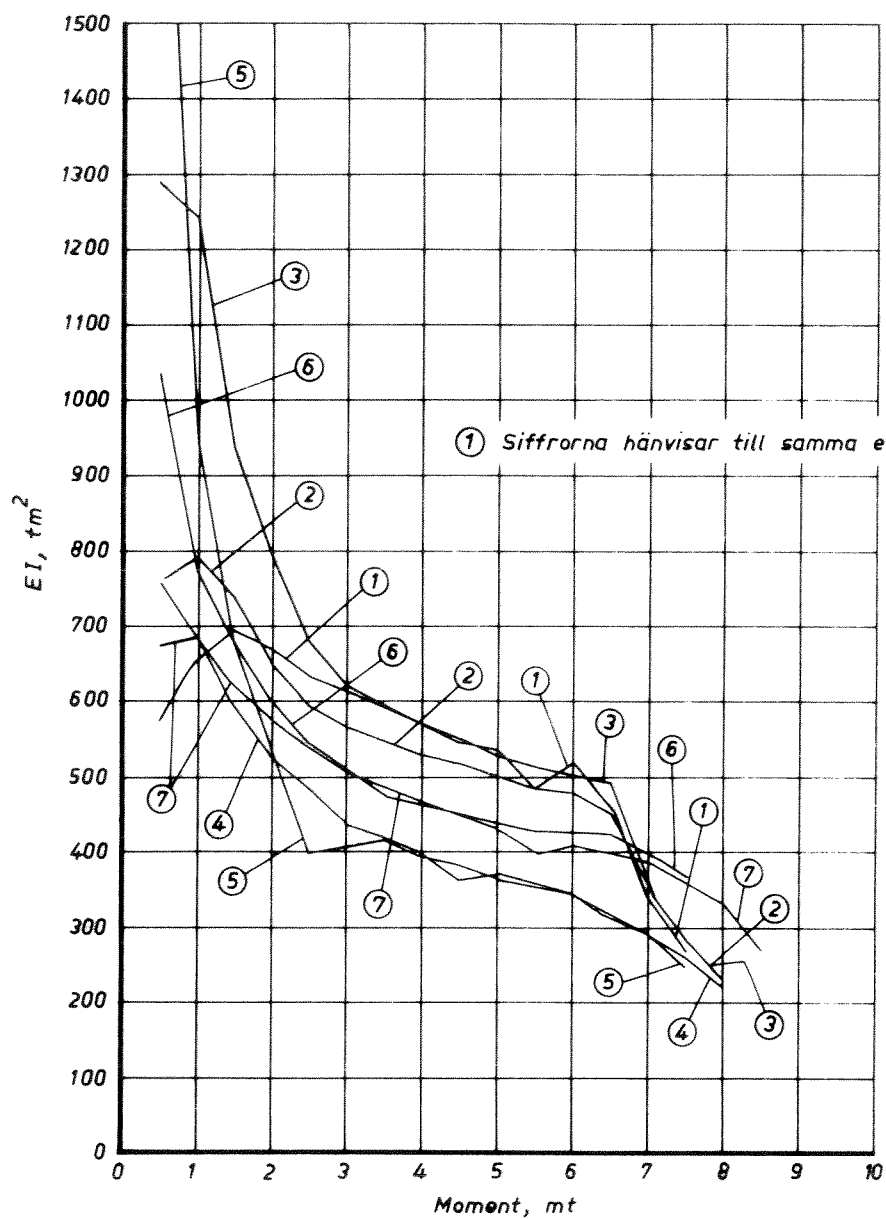
Kvadratiske pålar		Sexkantiga pålar		Runda pålar	
Påle nr	Vinkel- ändring $\times 10^{-3}$ rad	Påle nr	Vinkel- ändring $\times 10^{-3}$ rad	Påle nr	Vinkel- ändring $\times 10^{-3}$ rad
6	0,04	1	3,29	2	1,13
9	0,03	10	4,45	3	1,73
11	0,06				

Pos. nr	Påle nr	Elementets beteckning	Kräkningsradie vid inklinometermätning m
①	6 Kvadr	2:7	201
②	9 —"—	2:1	498
③	11 —"—	2:2	2860
④	1 Sexk	2:4	266
⑤	10 —"—	2:9	955
⑥	2 Rund	2:3	273
⑦	3 —"—	2:5	302



SAMBAND MELLAN BÖJANDE MOMENT OCH
VINKELÄNDRING I SKARVARNAS HÖPKOPPLINGS-
ANORDNINGAR

SAMBAND MELLAN BÖJANDE MOMENT OCH
MEDELBJÖJSTYVHET. SKARVADE PÅLELEMENT

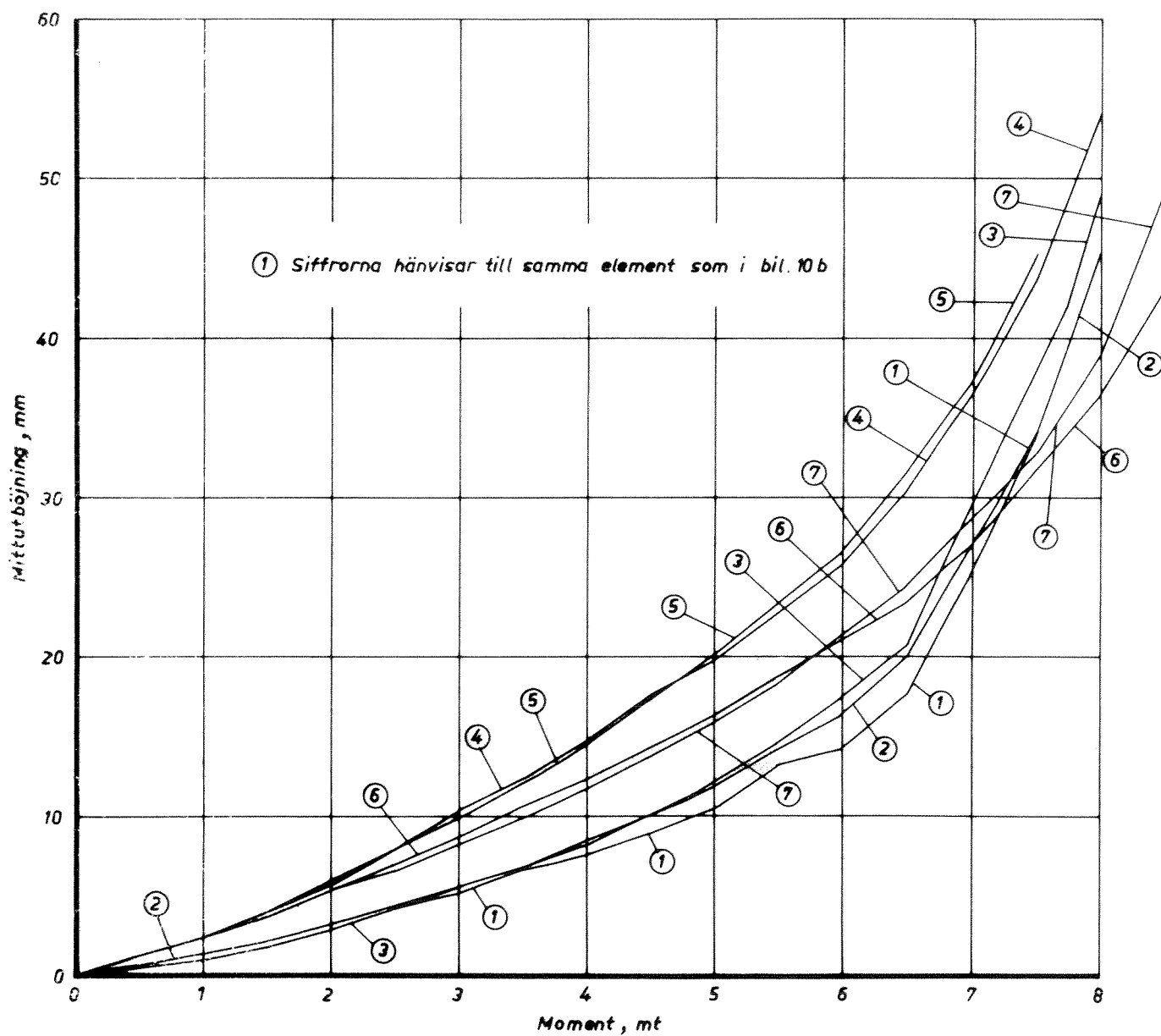


Sammanfattning av data för skarvade påelement uttagna för böjprovning

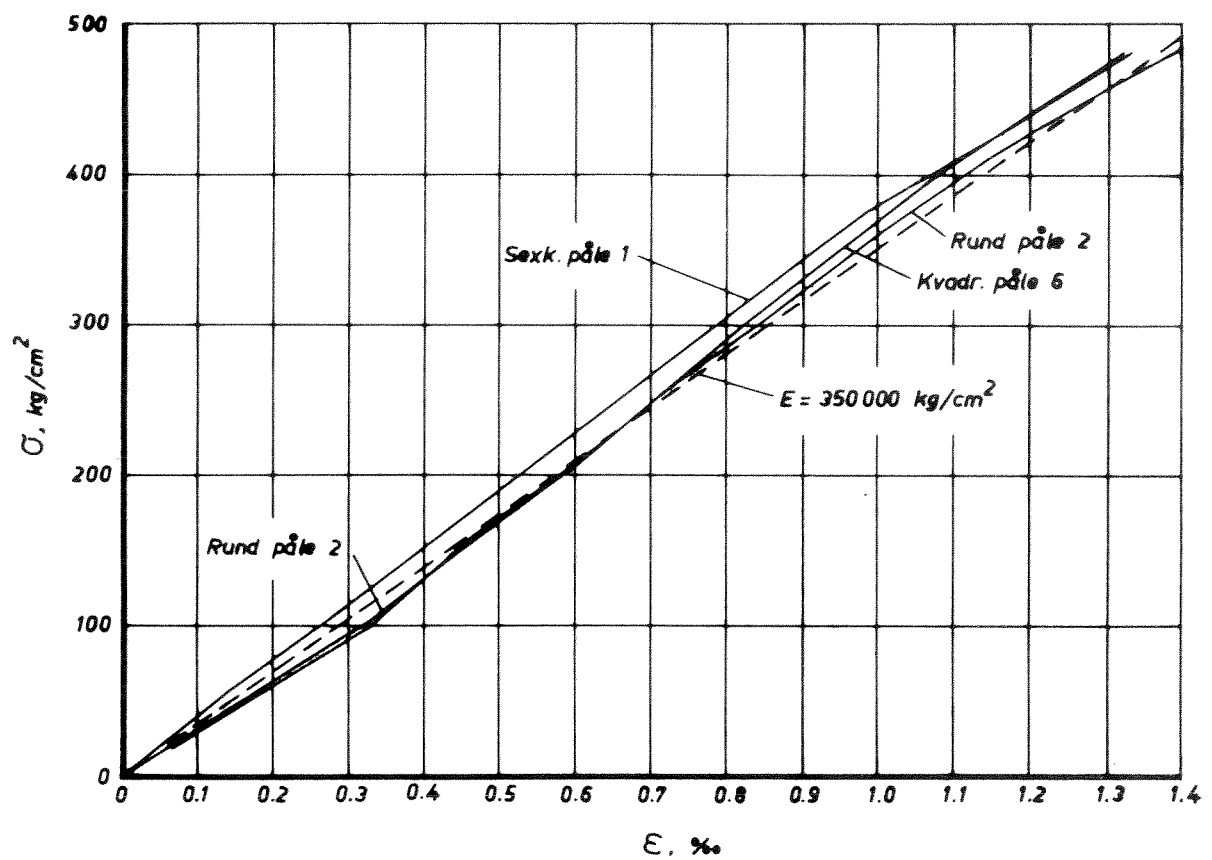
Element	Från påle nr	Antal slag efter bergkänning	Krökningsradie vid inklino- metermätning m	Vinkeländr. i skarv vid belastn. av egen vikt $\times 10^{-3}$ rad.	Brottmoment vid böjprovning mt	Medelböjstyvhets vid M = 4 mt tm^2	Vinkeländr. i hopkoppl. anordn. vid M = 4 mt $\times 10^{-3}$ rad.	Max. sprickvidd vid M = 4 mt mm
Kvadr. 2:1	9	1500	498	0,03	8,22	530 } medelvärde 557 569 572	1,65	0,08
" 2:2	11	1557	2860	0,06	8,17		2,15	0,26
" 2:7	6	860	210	0,04	8,0		1,22	0,20
Sexk. 2:4	1	1610	266	3,29	8,25	400	6,90	0,20
" 2:9	10	1258	955	4,45	7,81 ^x	396	6,65	0,26
Rund 2:3	2	1557	273	1,13	9,41	463	5,52	0,22
" 2:5	3	1610	302	1,73	8,86	467	4,83	0,26

x) Strömvavbrott 11 minuter vid denna belastning.

SAMBAND MELLAN BÖJANDE MOMENT OCH
MITTUTBÖJNING. SKARVADE PÅLELEMENT



TRYCKPROV PÅ OSKARVADE PÅLELEMENT
 σ - ϵ -DIAGRAM



Sammanställning av försöksresultaten

1. Pålar slagna till stopp

Kvadratiska	A n t a l p å l a r Sexkantiga	Runda
2	3	3

2. Vinkeländring i skarv

- a Vinkeländring i skarv i stoppslagna pålar, erhållen vid inklino-
metermätning.

Kvadratiske pålar		Sexkantiga pålar		Runda pålar	
påle nr	$\times 10^{-3}$ rad	påle nr	$\times 10^{-3}$ rad	påle nr	$\times 10^{-3}$ rad
4	8,2	1	7,5	3	6,6
6	10,0	5	2,8	7	5,9
		12	0,9	14	3,7

- b Vinkeländring i skarv i samtliga pålar, erhållen vid inklino-
metermätning.

Kvadratiske pålar		Sexkantiga pålar		Runda pålar	
påle nr	$\times 10^{-3}$ rad	påle nr	$\times 10^{-3}$ rad	påle nr	$\times 10^{-3}$ rad
4	8,2	1	7,5	2	7,3
6	10,0	5	2,8	3	6,6
9	4,0	10	2,1	7	5,9
11	0,7	12	0,9	14	3,7

- c Vinkeländring i radianer i skarv vid små belastningar (av egen vikt).

$\times 10^{-3}$ rad.	A n t a l p r o v		Runda pålar
	Kvadratiske pålar	Sexkantiga pålar	
< 0,1	3	-	-
1 - 2	-	-	2
2 - 3	-	-	-
3 - 4	-	1	-
4 - 5	-	1	-

- 2.d Vinkeländring i hopkopplingsanordningarna vid momentet $M = 4,0 \text{ mt}$
Se bil. 10 d.

3. Krökningsradier i inklinometermätta pålar

- a Krökningsradier i stoppslagna pålar (ej skarvområde).

Radie i m	A n t a l m ä t p u n k t e r		
	Kvadratiske pålar	Sexkantiga pålar	Runda pålar
0 - 100	2	-	-
100 - 200	3	-	-
200 - 300	5	2	-
300 - 500	-	2	3
500 - 1000	1	3	2
1000 - 1500	1	-	-
1500 - 2000	-	-	-
2000 - 2500	-	1	-
2500 - 3000	-	-	-
3000 - 3500	-	-	-
> 3500	-	-	3
Summa	12	8	8

- b Krökningsradier i samtliga pålar (ej skarvområde).

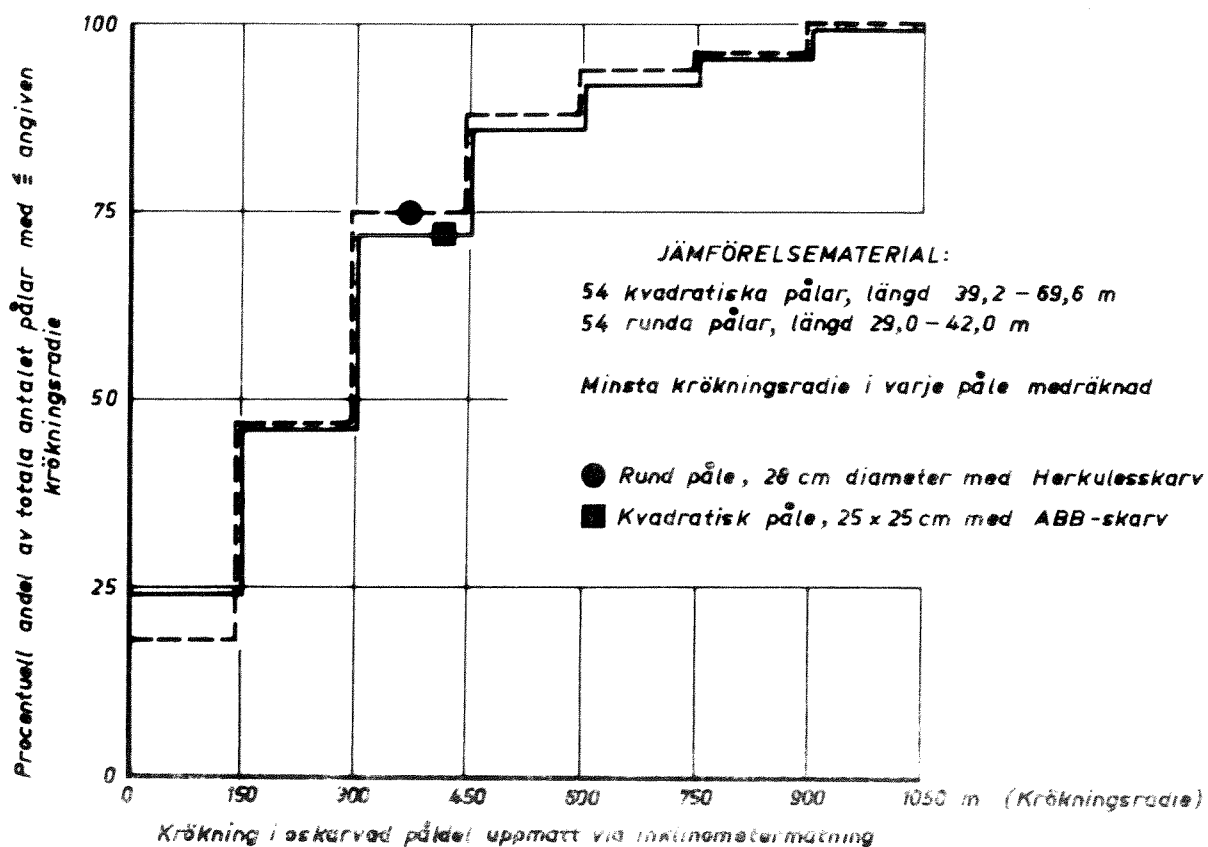
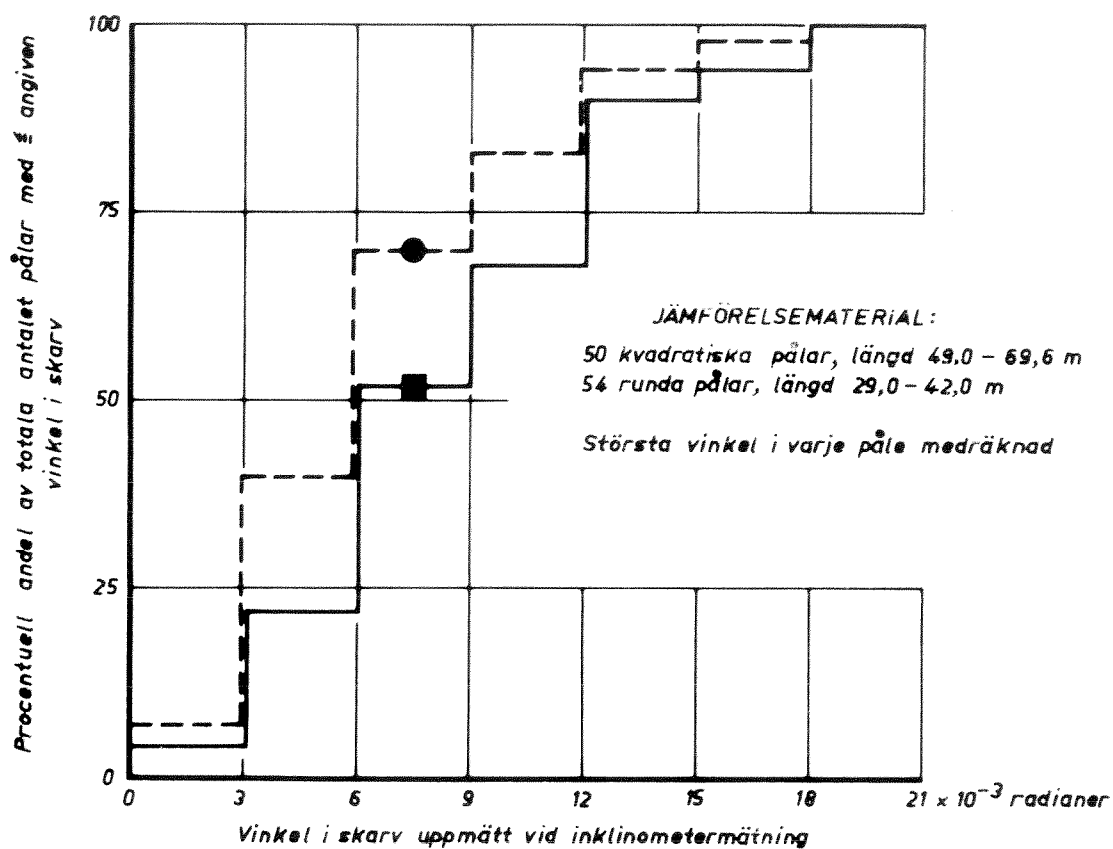
Radie i m	A n t a l m ä t p u n k t e r		
	Kvadratiske pålar	Sexkantiga pålar	Runda pålar
0 - 100	2	-	-
100 - 200	6	-	-
200 - 300	5	2	-
300 - 500	-	3	3
500 - 1000	2	3	3
1000 - 1500	2	-	1
1500 - 2000	1	-	-
2000 - 2500	-	1	-
2500 - 3000	1	1	-
3000 - 3500	-	-	-
> 3500	2	-	3
Summa	21	10	10

4. Laboratoriemässigt bestämd böjstyvhhet.

Böjstyvhhet $EI \text{ tm}^2$ och max. sprickvidd vid momentet $M = 4,0 \text{ mt}$.
Oskarvade pålelement.

Se bil. 9 d.

Jämförelser beträffande vinkel i skarv och krökning i oskarvat pålavsnitt i ett antal kvadratiske pålar slagna vid vägportarna 01 och 08 och runda pålar slagna vid provisoriska spårbygggar förbi 01 och 02 inom Olskroksmotet, Göteborg



Provpålning mot släntberg vid Skansen Lejonet, Göteborg

Runda förspända betongpålar

INNEHÅLL

	Sida
1 Orientering	1
2 Grundundersökningar	1
3 Provpålarnas konstruktion	1
4 Utförande	3
4.1 Fältförsök	3
.11 Nedslagning av provpålarna	3
.12 Inklinometermätning	3
.13 Uppdragning av provpålarna	3
4.2 Laboratorieförsök	3
.21 Böjprov av oskarvade pålelement	3
.22 Mätning av vinkeländring i skarv vid små belastningar	4
.23 Böjprov av skarvade pålelement	4
.24 Tryckprov av pålelement. Bestämning av E-modul	4
5 Resultat	4
5.1 Fältförsök	4
.11 Nedslagning av provpålarna	4
.12 Inklinometermätning	5
.13 Uppdragning av provpålarna	5
5.2 Laboratorieförsök	5
.21 Böjprov av oskarvade pålelement	5
.22 Mätning av vinkeländring i skarv vid små belastningar	5
.23 Böjprov av skarvade pålelement	5
.24 Tryckprov av pålelement. Bestämning av E-modul	5

	Sida
6 Diskussion	6
Nedslagning av provpålarna	6
Krökningsradier i pålar, erhållna vid inklino- metermätning	6
Böjprovning av oskarvade pålelement	7
Vinkeländring i skarvar	7
Böjprov av skarvade pålelement	8
Tryckprov av pålelement. Bestämning av E-modul	8
Jämförelse mellan slakarmerade och förspända pålar	8
Glossary	
Bilagor	
1 Provpålarnas konstruktion	
2 Slagningsdiagram	
3 Inklinometermätning	
4 Tabeller innehållande uppgifter för varje provpåle rörande tillverkning, slagning, inklinometermätning och uppdragning samt uttagna provelement	
5 a Samband mellan böjande moment och krökningsradie Oskarvade pålelement	
5 b Samband mellan böjande moment och böjstyvhet. Oskarvade pålelement.	
5 c Samband mellan böjande moment och maximal sprick- vidd. Oskarvade pålelement	
5 d Samband mellan böjande moment och mittutböjning. Oskarvade pålelement	
6 a Samband mellan böjande moment och vinkeländring i skarvarnas hopkopplingsanordningar	
6 b Samband mellan böjande moment och medelböjstyvhet. Skarvade pålelement	
6 c Samband mellan böjande moment och mittutböjning. Skarvade pålelement	
7 Tryckprov på pålelement. σ - ϵ -diagram	
8 Sammanfattning av data för uttagna pålelement	
9 Sammanfattning av försöksresultaten	
10 Samband mellan böjande moment och böjstyvhet. Oskarvade pålelement. Jämförelse mellan ett pålelement med slakarmering och ett med förspänd armering	

Provpålning mot släntberg vid skansen Lejonet, Göteborg.

Runda förspända betongpålar

1. ORIENTERING

På samma plats norr om Kruthusgatan invid Skansen Lejonet i Göteborg, som den i IVA:s pålkommitté meddelande nr 8 redovisade provpålningen mot släntberg har AB Svenska Pålfabriken, Göteborg, på egen bekostnad utfört en provpålning med 4 st runda förspända pålar.

Denna provpålning har i sin helhet utförts på samma sätt som den i meddelande nr 8 redovisade. Fältarbetet följdes och inklinometermätningen utfördes av W. Pejrud. Laboratieförsöken utfördes av Civilingenjör Jan Ahlberg, Professor Hjalmar Granholms Konstruktionsbyrå, Göteborg.

2. GRUNDUNDERSÖKNINGAR

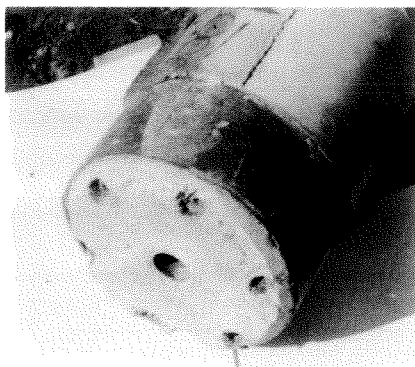
Se IVA:s pålkommitté meddelande nr 8.

3. PROVPÅLARNAS KONSTRUKTION

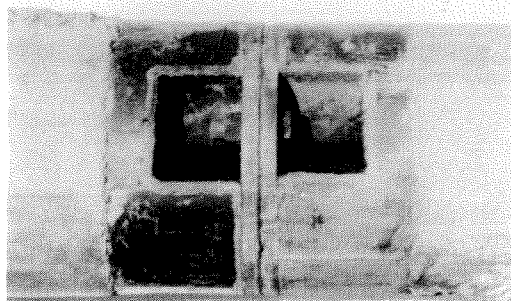
Provpålarna var runda, diameter 28 cm. Längsgående armeringen utgjordes av 6 ϕ 7 av kalldraget vågstål $\sigma_{0,2} \geq 14.000$ och $\sigma_B = 16.000 \text{ kg/cm}^2$. Förspänningskraften i armeringen = $24.0^{+1,0}_{-0}$ ton. Spiralarmering ϕ 4,2 stigning 75 mm på en sträcka av 750 mm vid pådelsändar och 150 mm däremellan.

Pålskarven var av AB Svenska Pålfabrikens standardtyp och utgöres i princip av en 16 mm stålplatta vid pådelsände förankrad i betongen med 6 ϕ 12 Ks 40 s längd 500 mm. I stålplattan finns tre hål ϕ 24. Skarvningen sker genom hopfästning av pådelsändarnas stålplattor med 3 st $7/8''$ bult, Bufo 80, varvid muttern låses genom stukning av bultens gängor.

Pålskon består av en lös dubb ϕ 60 av stål Hellefors 134 HF₄, placerad i en med 4 st 20 mm förstyvningsplåtar fixerad sömlös tub, längd 80 mm. Dubben stöder mot en 30 mm tjock stålplatta, 90 x 90 mm, vilken är fastsvetsad vid en 20 mm tjock stålplatta, 180 x 180 mm, vilken i sin tur är förankrad i betongen med 4 st förankringsjärn, ϕ 16 Ks 40 S, längd 500 mm.



Pålhuvud
Pile head



Skarv
Joint



Bergsko
Pile shoe

Pålhuvudet var skyddat av en manschett av 3 mm plåt. Pålarna var försedda med centrumrör för inklinometermätning.

Samtliga provpålar var 18 m långa, med 10 m under och 8 m överpåle.

Pålarnas konstruktion framgår av bil. 1.

Pålarna tillverkades vid pålfabriken Grinneröd den 28. 7. 1964. Enligt intyg nr 104988 från Chalmers Provningsanstalt, Göteborg, var tryckhållfastheten på 3 st 20 cm kuber 36 dygn efter gjutningen 521, 552 och 573 kg/cm², medelvärde 548 kg/cm².

4. UTFÖRANDE

4.1 Fältförsök

4.11 Nedslagning av provpålarna

Slagningen utfördes med pålkran av typ Åkerman med 3 ton hejare upphängd i enkel part.

Pålarnas placering framgår av pålplan bil. 3.

Slagningen utfördes enligt samma program som för de slakarmerade pålarna i IVA:s pålkommitté meddelande nr 8.

4.12 Inklinometermätning

Inklinometermätningen utfördes efter samma principer som för de slakarmerade pålarna. Mätpunkterna lades i allmänhet ej glesare än 2,0 m.

4.13 Uppdragning av provpålarna

När inklinometermätningarna var utförda drogs samtliga pålar upp. Skarvarna öppnades ej. Pålarna kapades ca 3 m över skarven.

4.2 Laboratieförsökens utförande

Laboratieförsöken utfördes helt på samma sätt som för de slakarmerade pålarna.

4.21 Böjprov av oskarvade pålelement

För böjprovning var följande oskarvade pålelement uttagna.

Påle nr	Elementets mittpunkt	krökningsradie	Beteck- ning	Anmärkningar
1	5,20	82 m	SP 1:1	Minsta uppmätta krök- ningsradie
2	6,20	1273 "	SP 1:2	Ringa sprickbildning
2	2,45	800 "	SP 1:3	Utan sprickor
1	14,00	500 "	SP 1:4	Reservelement

4.22 Mätning av vinkeländring i skarv vid små belastningar

För provning var följande element uttagna.

Påle nr	Elementets mittpunkt	krökningsradie	Beteck- ning	Anmärkningar
1	10,27	2865 m	SP 2:1	
2	10,29	547 "	SP 2:2	
3	10,27	2290 "	SP 2:3	
4	10,30	176 "	SP 2:4	

4.23 Böjprov av skarvade pålelement

Samma som element 4.22.

4.24 Tryckprov av pålelement. Bestämning av E-modul.

För provning var följande element uttagna.

Påle nr	Elementets mittpunkt	krökningsradie	Beteck- ning	Anmärkningar
4	5,00	110 m	SP 4:1	
3	6,20	2290 "	SP 4:2	
3	2,85	800 "	SP 4:3	

5. RESULTAT

5.1 Fältförsök

Resultaten av fältförsöken sammanfattas i tabellerna, bil. 4. För varje påle för sig redovisas först pålens dimension, tillverkningsdatum, slagningsdatum och uppdragningsdatum. Därefter följer en kort redogörelse för slagningsförloppet efter det att pålspetsen nått bergkänning samt pålspetsens djup under markytan. Så följer en tabell med resultaten av inklinometermätningen. Till sist redovisas gjorda iakttagelser vid uppdragningen och vilka pålelement som uttagits för laboratorieprovning.

5.11 Nedslagning av provpålarna

Nedslagningsförloppet efter pålens bergkänning visas i slagningsdiagrammen på bil. 2. Vissa detaljuppgifter finns även enligt ovan i tabellerna, bil. 4.

5.12 Inklinometermätning

Resultaten av inklinometermätningen framgår dels av tabellerna i bil. 4 och horisontalprojektionerna i bil. 3.

5.13 Uppdragning av provpålarna

Efter uppdragning och rengöring av pålarna gjordes okulärbesiktning. Resultaten härav redovisas i tabellerna, bil. 4.

5.2 Laboratorieförsök

Resultaten visas i diagramform på samma sätt som för de slakarmerade pålarna i meddelande nr 8. På diagrammen har även för jämförelse angivits spridningsområdena för resultatkurvorna från provningarna av de slakarmerade pålarna.

5.21 Böjprov av oskarvade pålelement

Två oskarvade pålelement har böjprovats. Resultaten redovisas på bil. 5 a - c och i tabell 1, bil. 8.

5.22 Mätning av vinkeländring i skarv vid små belastningar

Vinkeländringen i skarven vid belastning av egen vikt har undersökts i två element. Resultaten var för element SP 2:1 från påle SP 1 0,00029 och för element SP 2:4 från påle SP 4 0,00139 radianer.

5.23 Böjprov av skarvade pålelement

Samma element som i 5.22 har böjprovats. Resultaten visas på diagrammen bil. 6a och 6b och i tabell 2, bil. 8.

5.24 Tryckprov av pålelement. Bestämning av E-modul.

Tryckprov har utförts på två pålelement. På bil. 7 visas i diagramform sambandet mellan medeltryckpåkänning och sammantryckning. Inverkan av armering och centrumrör innefattas i den erhållna E-modulen.

6. DISKUSSION

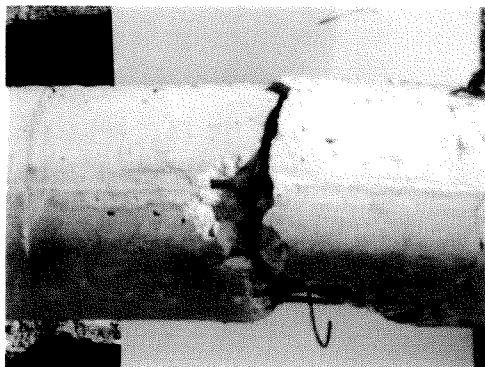
Avsikten med dessa prov var att utföra samma försök på förspända pålar som de som utförts på slakarmerade pålar och redovisats i IVA:s pålkommitté meddelande nr 8.

En sammanställning av försöksresultaten har gjorts i bil. 9.

Nedslagning av provpålarna

Av slagningsdiagrammen, bil. 2 och tabellerna i bil. 4 framgår att två pålar (SP 2 och SP 4) slagits till fullgoda bergstopp. Påle SP 1 fick ej fäste i berget och påle SP 3 har sannolikt ej nått berget. Stukningarna på bergskon på påle SP 1 antyder att pålspetsen glidit i en bergskrev. Pålen var ca 5 m från spetsen kraftigt krökt och vid uppdragningen konstaterades tydligt brott ca 2,4 m från spetsen.

Pålspetsarnas nivå vid bergkänning stämmer bra överens med bergnivån enligt grundundersökningarna utom för påle SP 4, vilken tycks ha stannat knappt en meter över den interpolerade bergytan. Stoppslagen var mycket definitiva.



Pålbrott vid slagningen
Failure by pile driving

Krökningsradie i pålar, erhållna vid inklinometermätning

Av tabell 3, bil. 9, framgår att i stoppslagna pålar minsta krökningsradier, mellan 100 och 200 m uppmäts i två mätpunkter. Dessa punkter ligger intill varandra på 4 - 6 m avstånd från pålspetsen i påle SP 4. Om samtliga fyra provpålar medräknas finns två mätpunkter med krökningsradier under 100 m. Dessa punkter ligger på ungefär samma avstånd från pålspetsen i påle SP 1 som i påle SP 4. I största antalet mätpunkter i såväl stoppslagna som samtliga pålar ligger krökningsradierna mellan 300 och 1000 m.

Böjprovning av oskarvade pålelement

Totalt är två pålelement böjprovade. Det ena, betecknat SP 1:1, är taget ur påle SP 1 och det andra, SP 1:2 ur påle SP 2.

Av tabell 1, bil. 8, framgår beträffande element SP 1:1 att böjstyvheten vid momentet 2,0 mt är 374 tm^2 och att krökningsradien i det pålavsnitt, där elementet tagits, varit 82 m vid inklinometermätningen. Slagningsdiagrammet och bil. 4 visar att pålen sjönk 107 cm för 500 slag, sedan pålspetsen ansetts ha nått bergytan. Vid uppdragningen konstaterades därjämte brott på pålen ca 2,4 m från pålspetsen. Denna påle har således varit utsatt för ganska kraftig böjning men icke nämnvärt hård slagning. Motståndet vid pålspetsen under slagningen synes ha varit mindre för denna påle än för övriga.

Pålelement SP 1:2 från påle SP 2 har böjstyvheten 334 tm^2 vid momentet 2,0 mt. Det avsnitt av påle SP 2 ur vilket elementet uttagits hade en krökningsradie på 1275 m vid inklinometermätningen. Av sjunkningen att döma har pålspetsen vid slagningen mött stort motstånd.

Den vid böjprovningen erhållna lägre böjstyvheten hos element SP 1:2 i jämförelse med element SP 1:1 kan möjligen tänkas bero på slagningens inverkan. Även sprickvidden vid momentet 2,0 mt är större för det förra elementet än för det senare.

Vinkeländring i skarvar

Vinkeländringen i skarvarna, som erhöles vid inklinometermätningarna redovisas i tabellerna 2a och 2b, bil. 9, visar betydligt större värden för de stoppslagna pålarna SP 2 och SP 4 än för de icke definitivt stoppslagna.

Jämför man värdena för pålarna SP 2 och SP 4 inbördes ligger det nära till hands att dra den slutsatsen att det något hårdare motstånd som mött påle SP 4 vid pålspetsen under slagningen inverkat på krökningen hos denna påle. Å andra sidan kan en sådan slutsats knappast dragas på grundval av ett så litet försöksmaterial.

Enligt tabell 2, bil. 8, är vinkeländringen i skarv vid belastning av egen vikt ganska liten men ökar snabbt vid ökad påkänning.

Böjprov av skarvade pålelement

Två skarvade pålelement är böjprovade, ett från påle SP 1 och ett från påle SP 4. Att döma av värdena på medelböjstyvhet, brottmoment och krökningsradie vid inklinometermätning för pålelement från påle SP 4 i tabell 2, bil. 8, synes den kraftiga slagning, som påle SP 4 varit utsatt för, märkbart ha inverkat på böjstyvhet, brottmoment och sprickvidd vid böjning.

För de båda provade elementen inträffade brott ca 50 cm från skarvsnittet, där förankringsjärnen från skarvbeslagen slutar. Av smällar som hördes kunde även konstateras, att brott inträffade i flera av armeringsjärnen.

Tryckprov av pålelement. Bestämning av E-modul

På ett pålelement från påle SP 3 och ett från påle SP 4 gjordes tryckprov. Resultaten redovisas i form av $\sigma - \epsilon$ -diagram på bil. 7. Kurvorna ansluter närmast till $E = 300.000 \text{ kg/cm}^2$, som inlagts med prickstreckad linje.

Jämförelse mellan slakarmerade och förspända pålar

Resultaten från provningarna av pålarna med ospänd resp. förspänd armering är på grund av skillnaderna i armering icke direkt jämförbara. När en sådan jämförelse här göres, är det endast för att siffermässigt visa de erhållna olikheterna.

Det kan nämnas att för de förspända pålarna har tillämpats en lägre tillåten last än för pålarna med ospänd armering.

För de slakarmerade pålarna ligger brottmomenten vid ca 8,5 mt för de oskarvade och något lägre för de skarvade provade elementen. Undantag får göras för de skarvade runda pålelementen, för vilka brottmomenten är något högre.

Brottmomenten för de förspända pålarna ligger för såväl skarvade som oskarvade element omkring 4,0 mt. I stort sett är således brottmomenten för de förspända pålarna ungefär hälften av värdena för de slakarmerade.

Beträffande böjstyvheten synes denna för de förspända pålarna vid momentet 2,0 mt vara ganska lika böjstyvheten vid momentet 4,0 mt för de slakarmerade. I båda fallen motsvarar momenten ungefär halva brottmomentet för resp. påltyp.

På bil. 10 göres jämförelse mellan böjstyvhet vid olika moment för ett pålelement med slakarmering och ett med förspänd armering. De streckade linjerna hänför sig till momentförhållandet

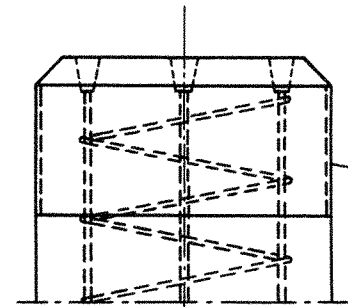
$$\frac{M}{M_{\text{brott}}}.$$

Av kurvorna framgår, att böjstyvheten för det slakarmerade elementet minskar i ringa grad för värden på $\frac{M}{M_{\text{br}}}$ mellan 0,25 och 0,75. För det förspända elementet avtar böjstyvheten avsevärt vid ökande värde på $\frac{M}{M_{\text{br}}}$.

G L O S S A R Y

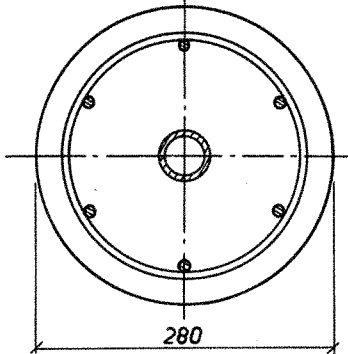
Bil. 1	Runda förspända provpålar Konstruktionsritning	Circular prestressed test piles Construction drawing
	Pålhuvud	Pile head
	Manschett av 3 mm plåt	Sheeting with 3 mm thickness
	Tvärsektion	Cross section
	Längsgående armering av kalldraget vågstål 6 ϕ 7, förspänningskraft 24,0 ton	Longitudinal reinforcement of colddrawn waved wires 6 ϕ 7, prestressing force 24,0 tons
	Spiralarmering ϕ 4,2, stig- ning 75 mm på en sträcka av 750 mm vid pådelsänd- dar och 150 mm däremellan	Spiral reinforcement ϕ 4,2 spaced 150 mm and 75 mm along a length of 750 mm from the ends of a pile element
	Pålspets	Pile point
	Förankringsjärn 4 ϕ 16 Ks 40 s, längd 500 mm, konis- ka ändar som svetsas vid bottenplåten	Anchor rods 4 ϕ 16 Ks 40 s length 500 mm, with conical ends which are welded to the base plate
	3 mm plåt	3 mm steel sheet
	2 st hål ϕ 10 mm	2 holes ϕ 10 mm
	Bottenplatta 180x180x20 mm	Base plate 180x180x20 mm
	Vinge 20 mm plåt 75 x 110	Steel plate 20 mm
	Stålplatta 90x90x30 mm	Steel plate 90x90x30 mm
	1/2" stoppskruv, längd 25 mm	1/2" lock screw, length 25 mm
	Sömlös tub ST 00-2448 Din 1629, 88,9x12,5 mm längd 80 mm	Seamless tube, length 80 mm
	Lös dubb ϕ 60, längd 160 mm, Hellefors 134 HF ₄	Dowel point, length 160 mm
	Hålkonisk eggvass anligg- ningsyta	Conical sharp-edged contact surface
	Skarv	Joint
	Förankringsjärn 6 ϕ 12 Ks 40 s, längd 500 mm	Anchor rods 6 ϕ 12 Ks 40 s, length 500 mm
	Samma skarvbeslag för över- och underpåle	Same kind of joint for upper and lower pile
	Skarvningen sker med 3 st 7/8" bult, Bufo 80, vil- ka åtdragas med moment- nyckel. Bultarna låses medelst stukning av bultens gängor	The connection is done with three 7/8" screws, Bufo 80, which are tightened with a torque wrench. The screws are locked by staving the screw- threads

Bil. 2	Se glossary sid. 3	See glossary page 3
Bil. 3	Se glossary sid. 3	See glossary page 3
Bil. 5 a	Samband mellan böjande moment och krökningsradie	Relationship between bending moment and radius of curvature
	Oskarvade pålelement	Pile element without joints
	Spridningsområde för provpålarna med ospänd armering	Scatter for the test piles with unstressed reinforcement
Bil. 5 b - 7	Se glossary sid. 4	See glossary page 4
Bil. 10	Samband mellan böjande moment och böjstyvhet	Relationship between bending moment and pile stiffness
	Oskarvade pålelement	Pile element without joints
	Jämförelse mellan ett pålelement med ospänd armering och ett med förspänd armering	Comparison between a pile element with unstressed reinforcement and a pile with prestressed reinforcement



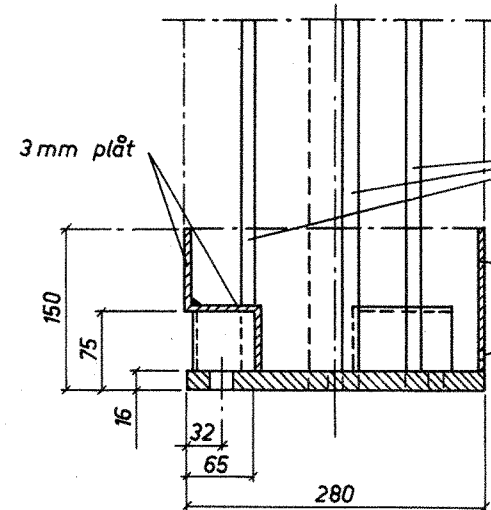
PÅLHUVUD

Manschett av 3 mm plåt



TVÄRSEKTION

Längsgående armering av kalldraget
vågstål 6 $\phi 7$ $\sigma_{0.2} \geq 14000 \text{ kg/cm}^2$
 $\sigma_B = 16000 \text{ kg/cm}^2$, förspänningskraft
24,0 ± 0.1 ton.
Spiralarmering $\phi 4,2$, stigning 75 mm
på en sträcka av 750 mm vid pådels-
ändar och 150 mm däremellan



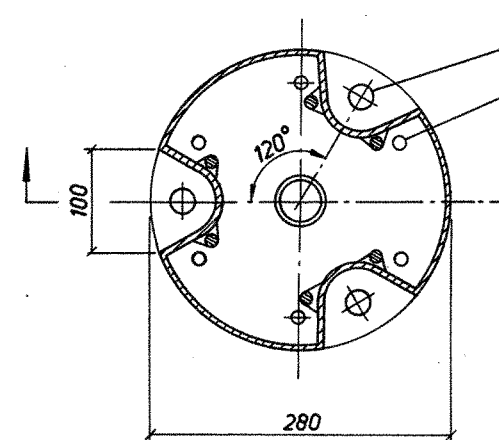
SKARV

Förankringsjärn 6 $\phi 12$ Ks 40 S
längd 500 mm

3 mm plåt

2 st hål $\phi 10$

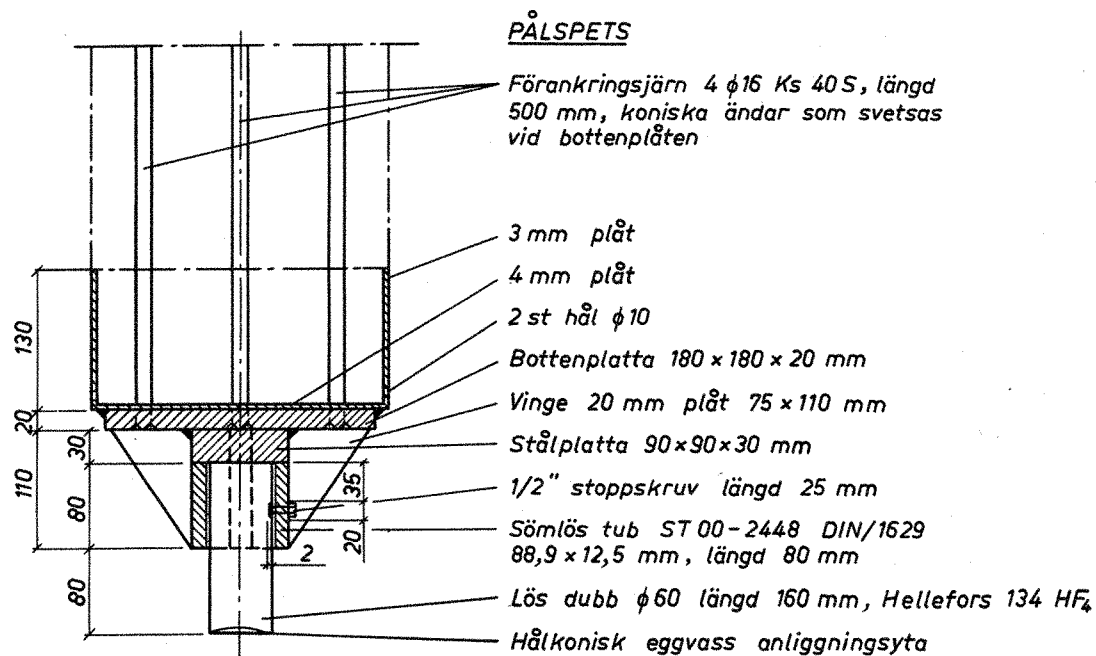
Samma skarvbeslag för
över- och underpåle



Hål $\phi 24$

Hål $\phi 12$

Skarvningen sker med 3 st
7/8" bult, Bufo 80, vilka åt-
dragas med momentnyckel.
Bultarna låses medelst stukning
av bultens gängor



PÅLSPETS

Förankringsjärn 4 $\phi 16$ Ks 40 S, längd
500 mm, koniska ändar som svetsas
vid bottenplåten

3 mm plåt

4 mm plåt

2 st hål $\phi 10$

Bottenplatta 180x180x20 mm

Vinge 20 mm plåt 75x110 mm

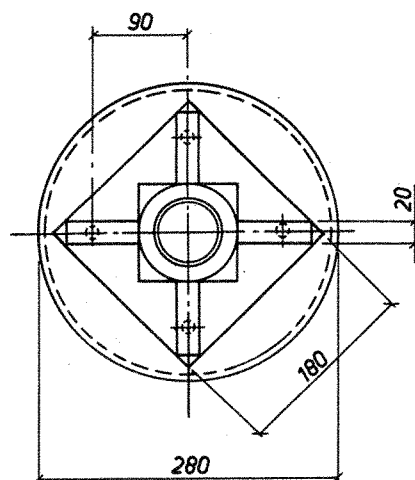
Stålplatta 90x90x30 mm

1/2" stoppskruv längd 25 mm

Sömlös tub ST 00-2448 DIN/1629
88,9x12,5 mm, längd 80 mm

Lös dubb $\phi 60$ längd 160 mm, Hellefors 134 HF₄

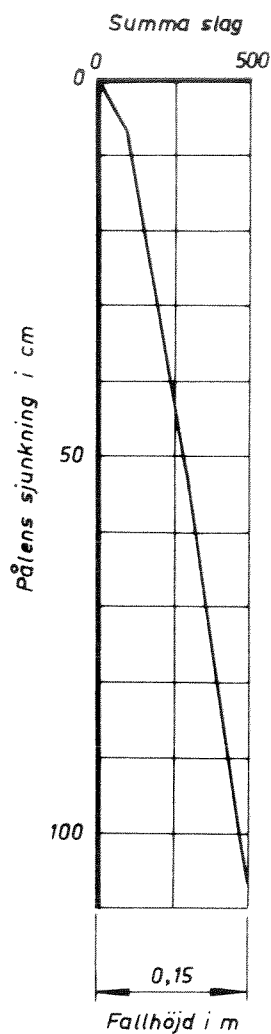
Hållkonisk eggvass anliggningsyta



PÅLPROVNING MOT SLÄNTBERG VID SKANSEN LEJONET, GÖTEBORG
RUNDA FÖRSPÄNDA PROVPÅLAR
KONSTRUKTIONSRITNING

Tillägg 1
Bil. 1

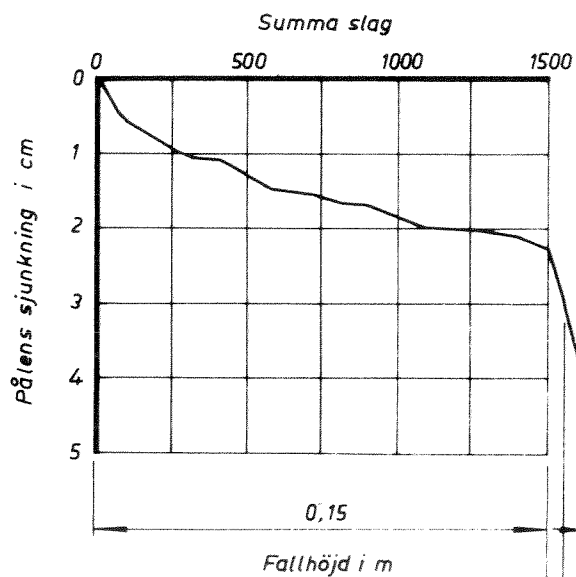
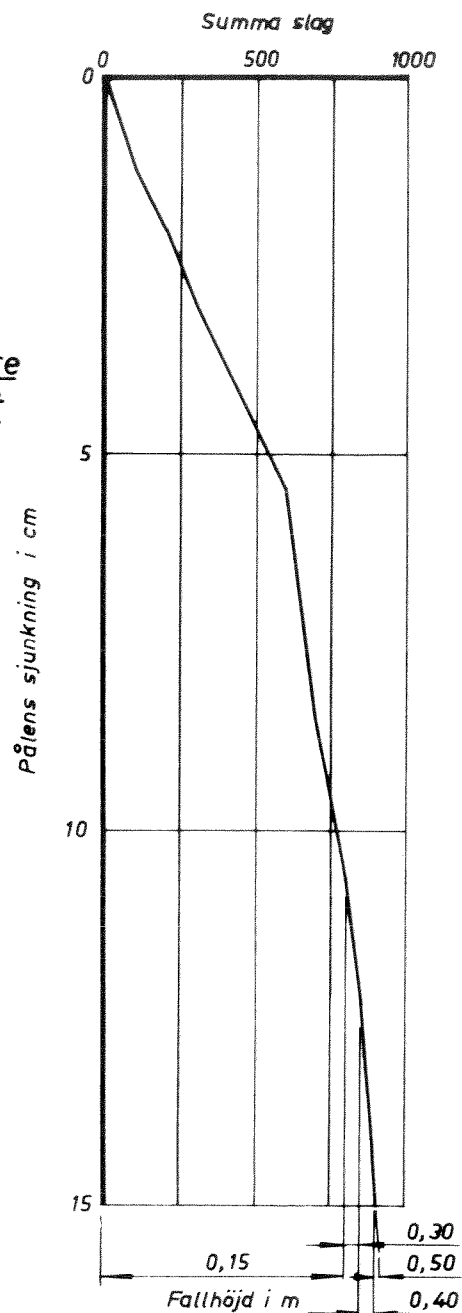
PROVPÅLE SP 1



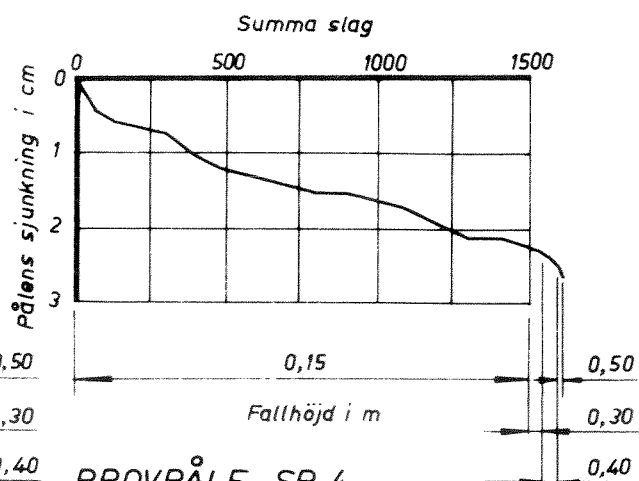
3 ton fallhejare
i enkel part

Ej bergfäste. Slagningen avbruten

PROVPÅLE SP 3

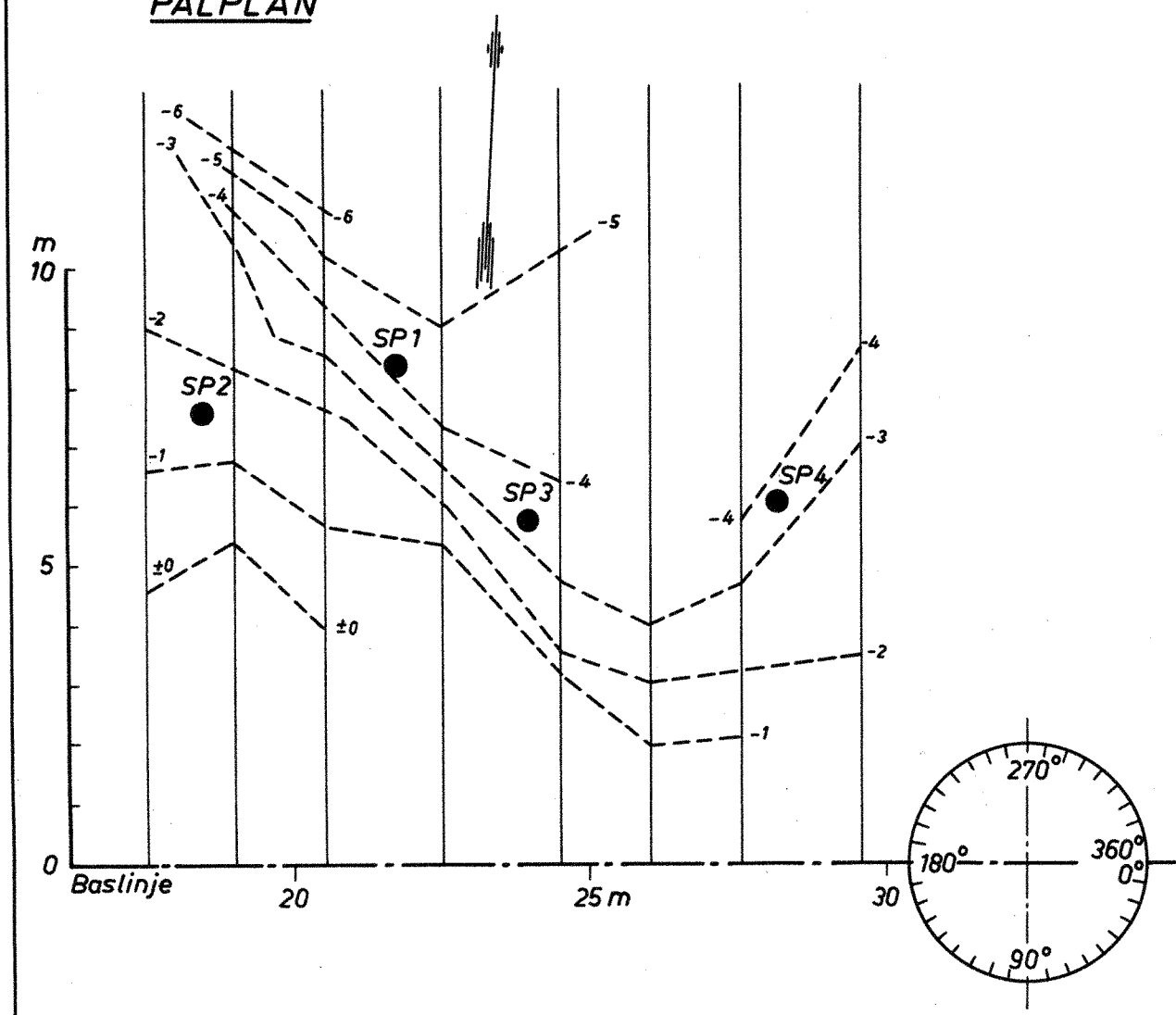


PROVPÅLE SP 2



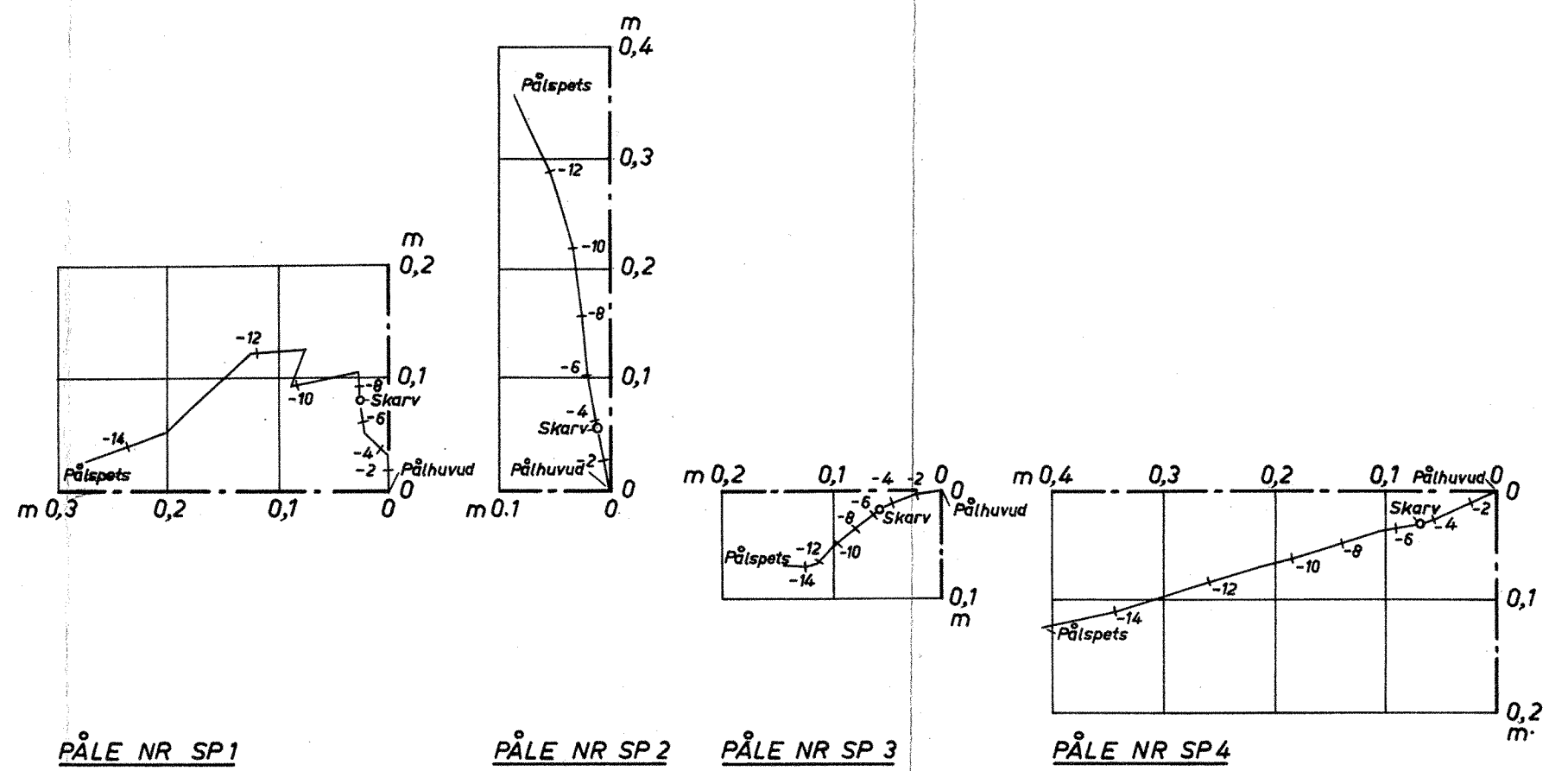
PROVPÅLE SP 4

PÅLPLAN



----- Interpolerade nivålinjer för bergytan

HORISONTALPROJEKTIONER



ANM.

Den horisontella ——— linjen i horisontalprojektionerna är parallell med pålplanens baslinje
-2, -4 etc. = nivå i m under pålhuvud

Påle nr SP1

Rund, förspänd påle, diameter = 28 cm.

Tillverkad den 28.7 1964. Slagen den 31.8 1964. Uppdragen den 2.9.1964.

Slagningen efter bergkänning:

Pålen sjönk c:a 107 cm för c:a 500 slag. Bergspetsen fick ej fäste i berget.

Pålspetsens djup under markytan 16.75 m.

Resultat av inklinometermätningen: Inklinometern kunde ej föras ned ända till spetsen.

Djup i m från pål- huvud	Avstånd i m från pål- spets	Horisontalt av- stånd i m från lodlinjen genom pålhuvudet	Riktning (Bäring)	Vertikal- vinkel i mät punkt	Kröknings- radie i m	Anm.
0	17,28					pålhuvud
2,51	14,77			0,51°		mät pkt
3,51	13,77	0,031	269°		458	
4,51	12,77			0,76°		mät pkt
5,26	12,02	0,054	248°		661	
6,01	11,27			0,89°		mät pkt
7,01	10,27	0,082	253°		2 860	skarv
8,01	9,27			0,85°		
8,79	8,49	0,107	257°		900	
9,58	7,70			0,95°		mät pkt
10,11	7,17	0,127	227°		358	
10,64	6,64			1,12°		mät pkt
11,11	6,17	0,146	240°		83	
11,58	5,70			1,77°		mät pkt
12,11	5,17	0,174	225°		82	
12,64	4,64			2,51°		mät pkt
13,11	4,17	0,205	195°		122	
13,58	3,70			2,95°		mät pkt
14,11	3,17	0,243	189°		204	
14,65	2,63			3,25°		mät pkt
14,92	2,36	0,278	185°			

Efter uppdragningen konstaterades brott 2,36 m från pålspetsen. Deformationer på bergspetsen tyder på att pålspetsen kan ha glidit i en bergskreva.

Från pålen uttogs följande element:

Beteckning	Längd	Mittpunkt i m från pålspets	Kröknings- radie m	Anm.
SP 1:1	~ 4 m	5,20	82	böjprovning
SP 1:4	~ 4 "	14,00	500	reservelement
SP 2:1	~ 4 "	10,27	2 865	glappmätning och böjprovning

Påle nr SP 2

Rund, förspänd påle, diameter = 28 cm.

Tillverkad den 28.7 1964. Slagen den 31.8 1964. Uppdragen den 2.9 1964.

Slagningen efter bergkänning: Pålen sjönk 2,3 cm för 1.500 slag och sammanlagt 2 cm för 30 - 50 cm slagen. Fjädringen = 10 mm för 50 cm fallhöjd.

Pålspetsens djup under markytan 13,60 m.

Resultat av inklinometermätningen:

Djup i m från pål- huvud	Avstånd i m från pål- spets	Horisontalt av- stånd i m från lodlinjen genom pålhuvudet	Riktning (Bäring)	Vertikal- vinkel i mätpunkt	Kröknings- radie i m	Anm.
0	13,96					pålhuvud
0,67	13,29			0,78°		mätpkt
1,67	12,29	0,023	262°		603	
2,67	11,29			0,97°		mätpkt
3,67	10,29	0,057	260°		546	skarv
4,67	9,29			1,18°		mätpkt
5,81	8,18	0,101	260°		312	
6,96	7,00			1,60°		mätpkt
8,96	6,00	0,160	262°		1 275	
8,96	5,00			1,69°		mätpkt
9,96	4,00	0,221	262°		302	
10,96	3,00			2,07°		mätpkt
11,96	2,00	0,293	260°		956	
12,96	1,00			2,19°		mätpkt
13,96	0	0,366	257°			pålspets

Efter uppdragningen uttogs från pålen följande element:

Beteckning	Längd	Mittpunkt m från pålspets	Krökningsradie m	Anm.
SP 1:2	4 m	6,00	1 275	böjprovning
SP 1:3	4 m	2,45	800	böjprovning
SP 2:2	4 m	10,29	547	glappmätning och böjprovning

Påle nr SP 3

Rund, förspänd påle, diameter = 28 cm.

Tillverkad den 28.7 1964. Slagen den 31.8.1964. Uppdragen den 2.9.1964.
Slagningen efter bergkänning: Sjunkning 10,6 cm för 800 slag och sammanlagd 5,0 cm för 30-50 cm slagen. Fjädringen = 8,5 mm för 50 cm fallhöjd.
Pålspetsens djup under markytan 15,25 m.

Resultat av inklinometermätningen:

Djup i m från pål- huvud	Åvstånd i m från pålspets	Horisontalt av- stånd i m från lodlinjen genom pålhuvudet	Riktning (Bäring)	Vertikal- vinkel i mätunkt	Kröknings- radie i m	Anm.
0	15,80					pålhuvud
1,53	14,27			0,62°		mätpkt
2,03	13,77	0,022	171°		410	
2,53	13,27			0,76°		mätpkt
3,53	12,27	0,042	167°		603	
4,53	11,27			0,57°		mätpkt
5,53	10,27	0,061	162°		2.290	skarv
6,53	9,27			0,52°		mätpkt
7,57	8,23	0,079	158°		567	
8,61	7,19			0,73°		mätpkt
9,61	6,19	0,104	154°		2.290	
10,61	5,19			0,68°		mätpkt
11,11	4,69	0,122	152°		338	
11,61	4,19			0,51°		mätpkt
12,13	3,67	0,131	150°		458	
12,65	3,15			0,38°		mätpkt
13,13	2,67	0,138	151°		∞	
13,62	2,18			0,38°		mätpkt
14,21	1,59	0,144	152°		178	
14,80	1,00			0,76°		mätpkt
15,80	0	0,164	155°			pålspets

Efter uppdragningen konstaterades, att mycket hårt packat grusmater-
ial fanns mellan förstyrningsplåtarna på bergspetsen.

Från pålen uttogs följande element:

Beteckning	Längd	Mittpunkt m från pålspets	Krökningsradie m	Anm.
SP 2:3	4 m	10,27	2.290	glappmätning och böjprovning
SP 4:2	~ 4 m	6,20	2.290	ingen sprickbildn. tryckprov
SP 4:3	4 m	2,85	800	reservelement

Påle nr SP 4

Rund, förspänd påle, diameter = 28 cm.

Tillverkad den 28.7 1964. Slagen den 31.8 1964. Uppdragen den 2.9 1964.

Slagningen efter bergkänning:

Sjunkningen för 1.500 slag var 2,2 cm och för 30-50 cm slagen sammanlagt 0,4 cm. Fjädringen = 11 mm. Pålspetsens djup under markytan 15,0 m.

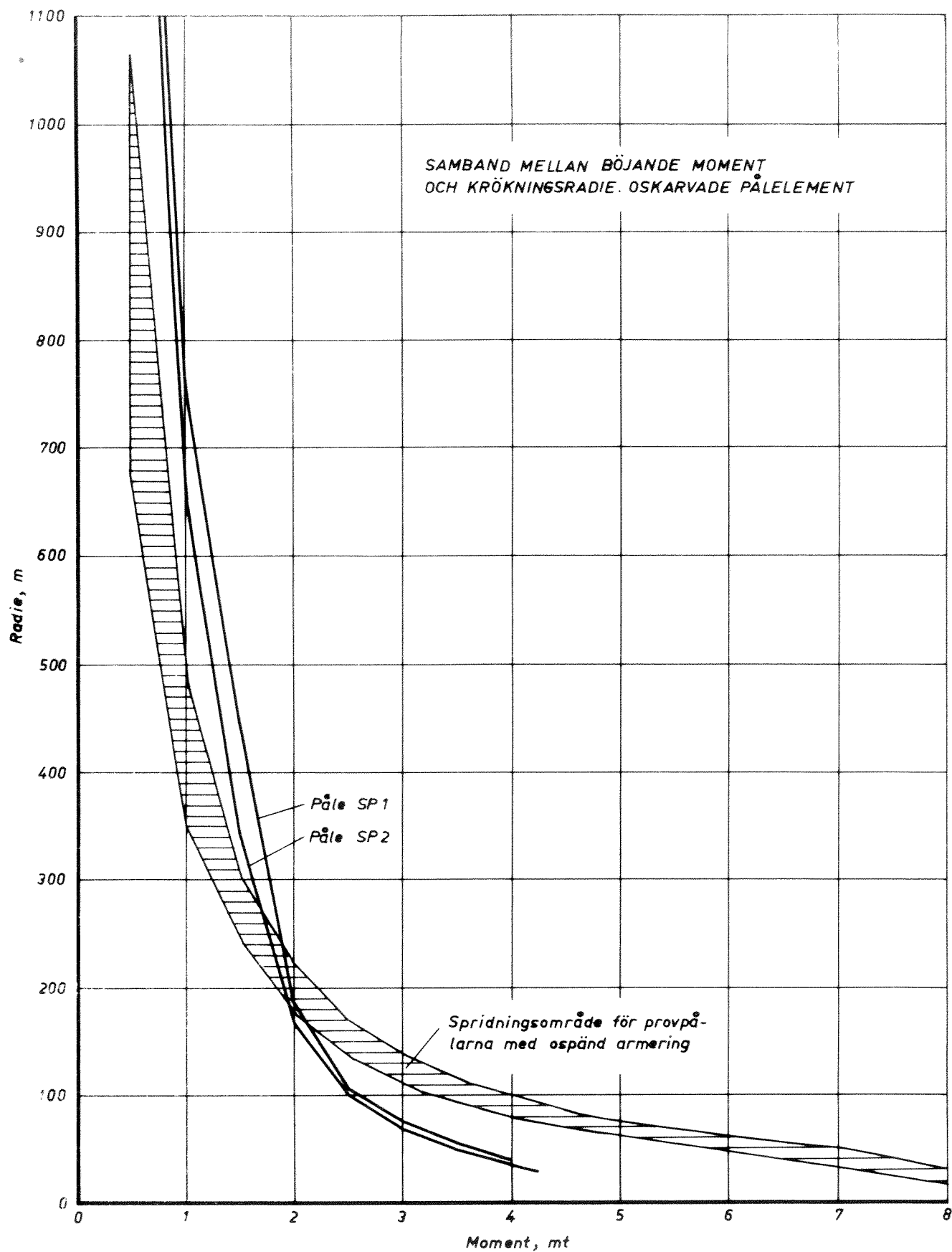
Resultat av inklinometermätningen:

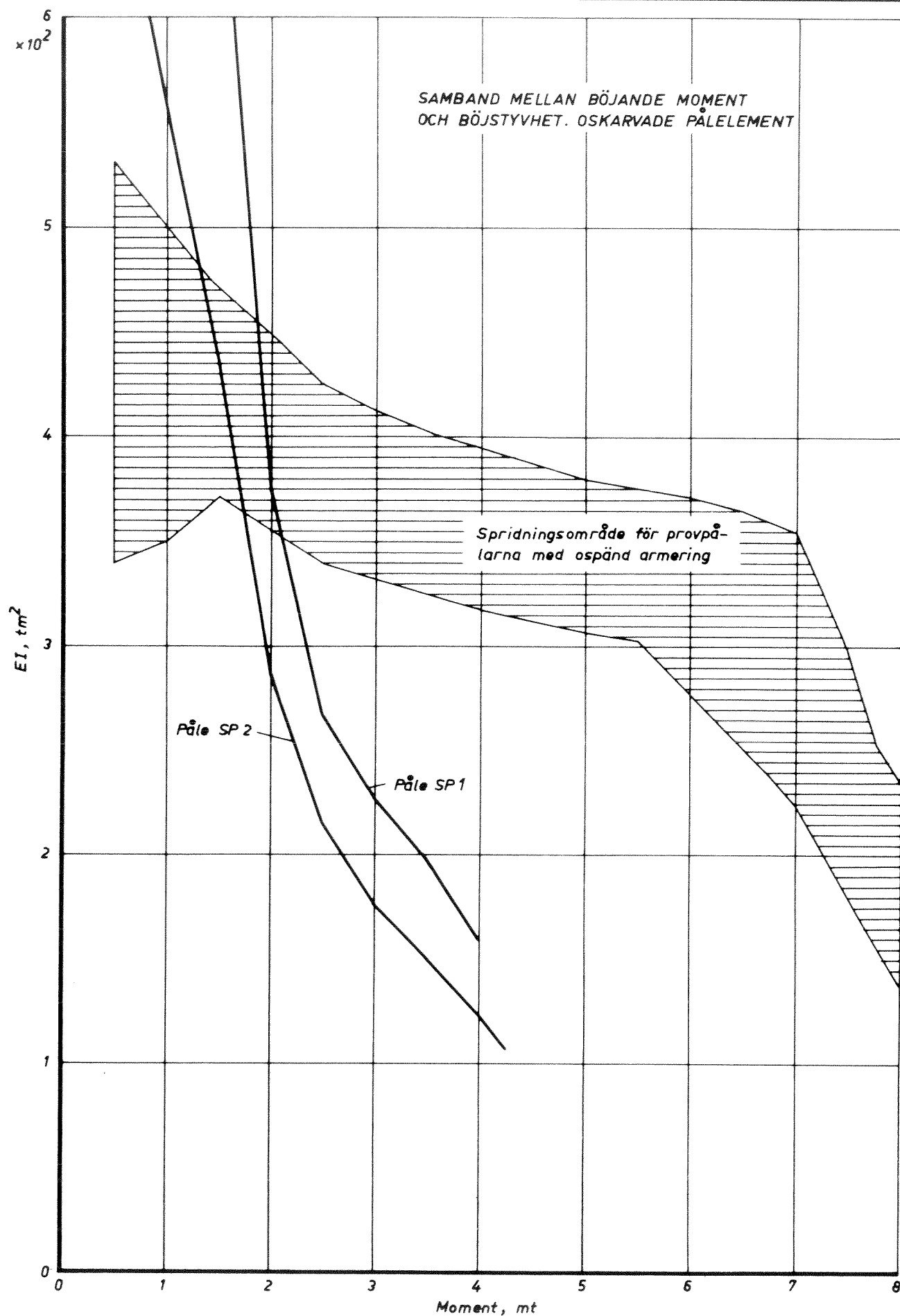
Djup i m från pål- huvud	Avstånd i m från pålspets	Horisontalt av- stånd i m från lodlinjen ge- nom pålhuvudet	Riktning (Bäring)	Vertikal- vinkel i mät punkt	Kröknings- radie i m	Anm.
0	15,38					pålhuvud
2,08	13,30			0,84°		mät punkt
2,58	12,80	0,038	154°		820	
3,08	12,30			0,91°		mät pkt
3,58	11,80	0,054	156°		441	
4,08	11,30			0,78°		mät pkt
5,08	10,30	0,074	156°		176	skarv
6,08	9,30			1,43°		mät pkt
6,73	8,65	0,114	161°		930	
7,38	8,00			1,35°		mät pkt
7,88	7,50	0,141	161°		1.433	
8,38	7,00			1,31°		mät pkt
8,88	6,50	0,164	161°		478	
9,38	6,00			1,43°		mät pkt
9,88	5,50	0,188	161°		122	
10,38	5,00			1,90°		mät pkt
10,88	4,50	0,221	162°		117	
11,38	4,00			2,39°		mät pkt
11,88	3,50	0,263	162°		955	
12,38	3,00			2,45°		mät pkt
12,88	2,50	0,306	162°		478	
13,38	2,00			2,57°		mät pkt
13,88	1,50	0,352	162°		287	
14,38	1,00			2,77°		
15,38	0	0,423	163°			pålspets

Efter uppdragningen konstaterades ganska riklig sprickbildning.

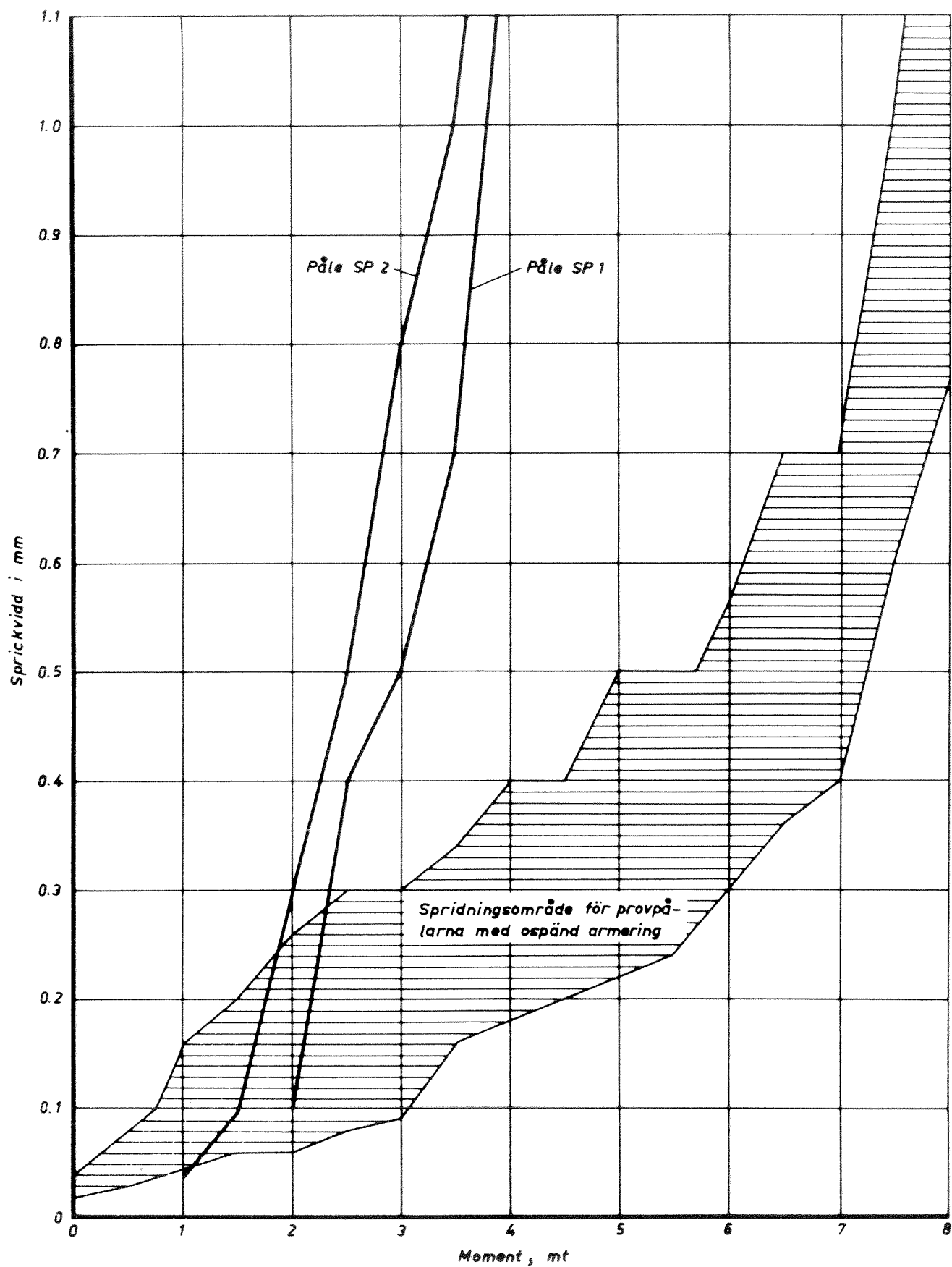
Från pålen uttogs följande element:

Beteckning	Längd	Mittpunkt m från pålspets	Krökningsradie m	Anm.
SP 2:4	~ 4 m	10,30	176	Glappmätning och böj- provning
SP 4:1	~ 4 "	5,00	110	Riklig sprickbildn. Tryckprov

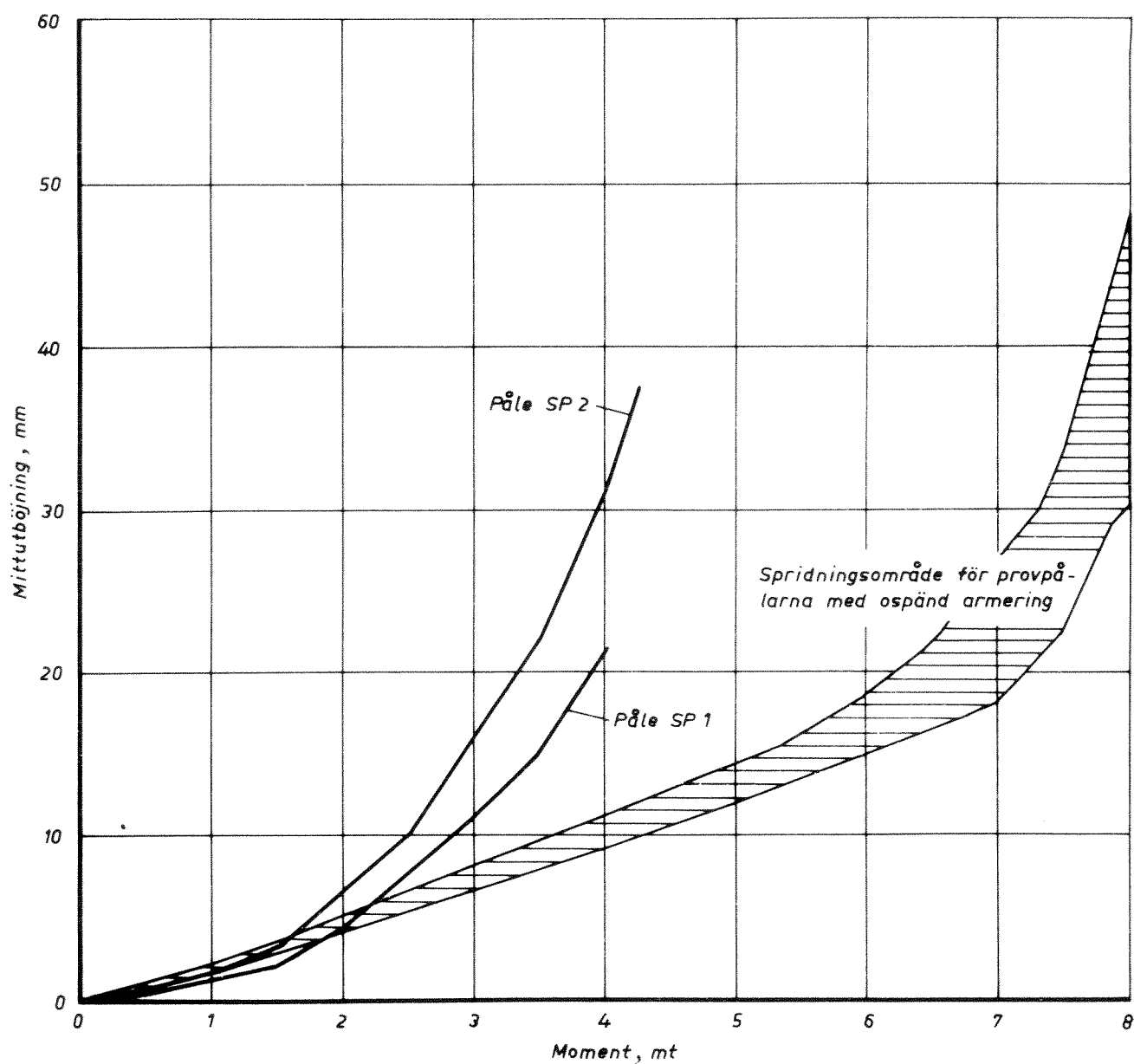




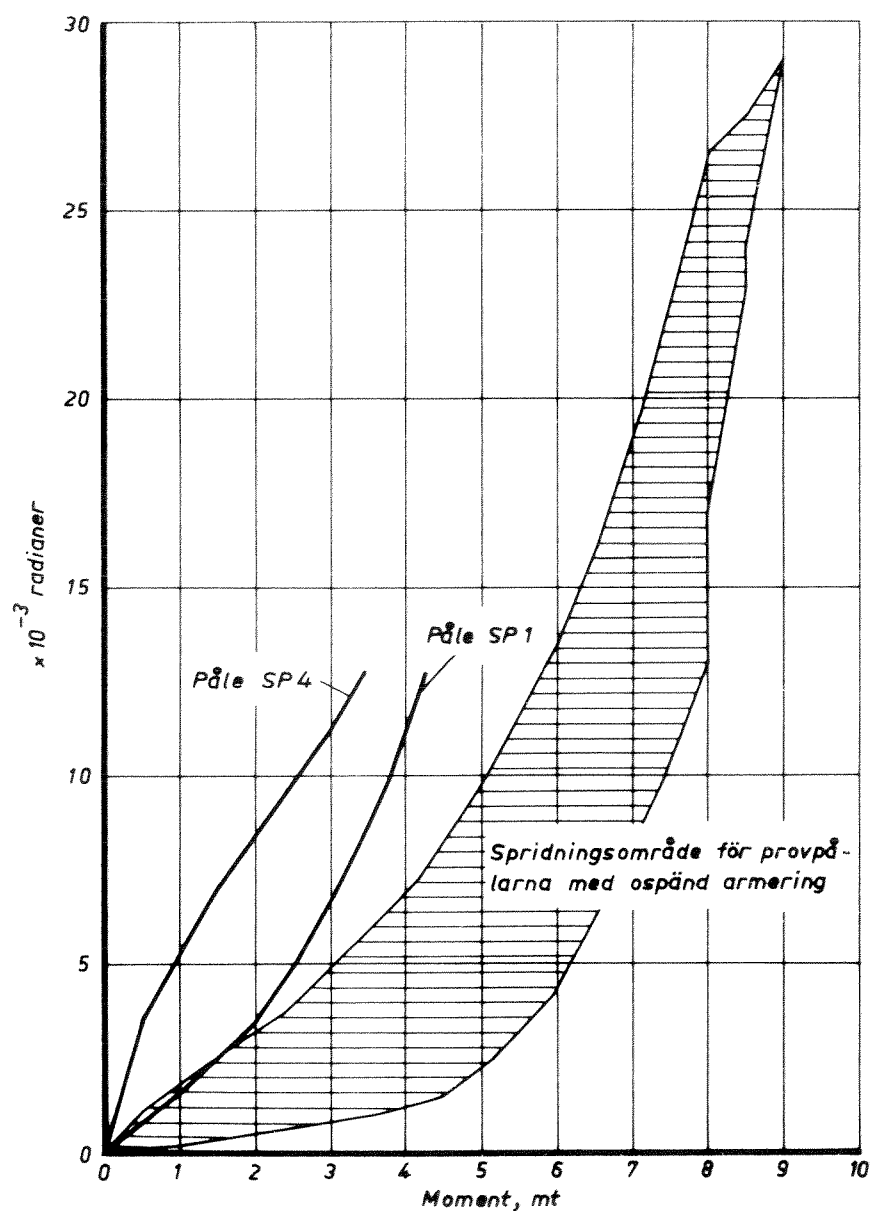
SAMBAND MELLAN BÖJANDE MOMENT
OCH MAXIMAL SPRICKVIDD.
OSKARVADE PÅLELEMENT



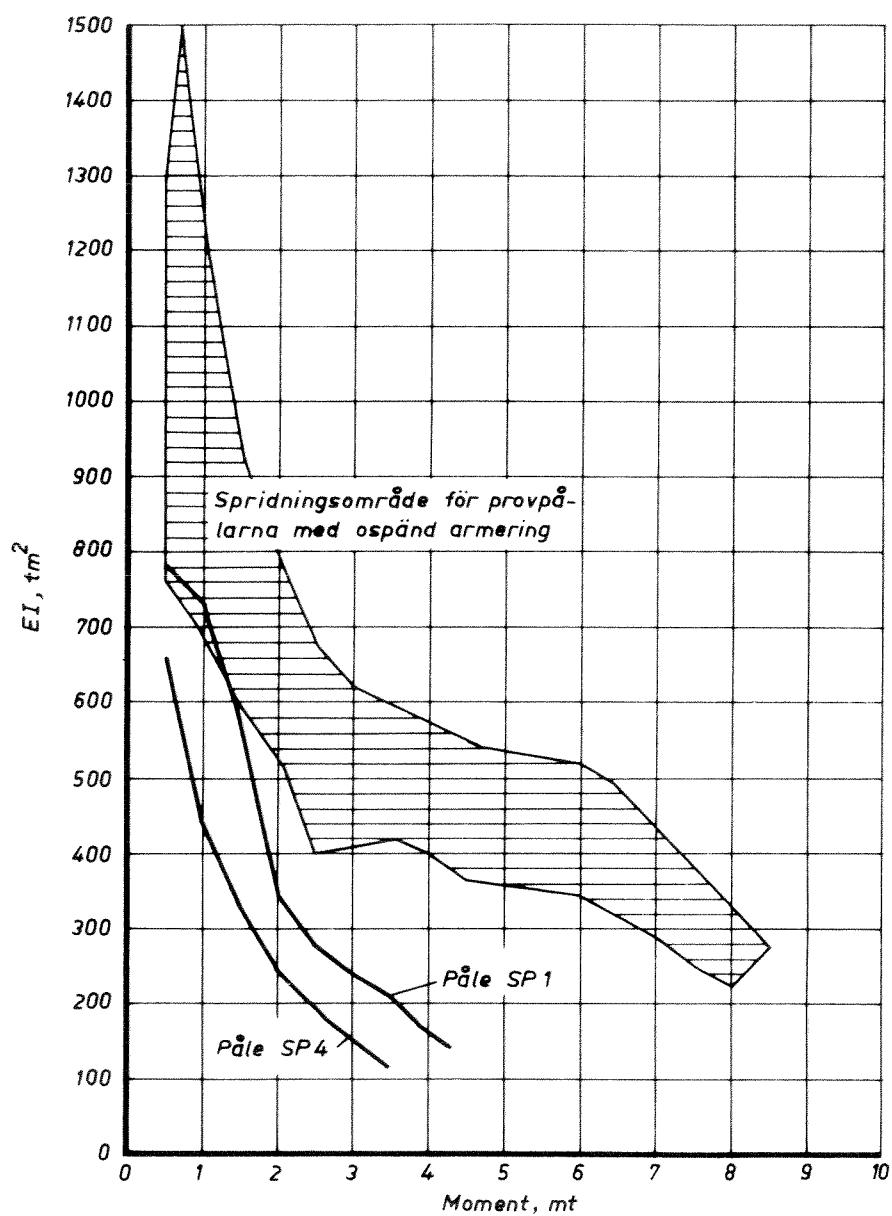
SAMBAND MELLAN BÖJANDE MOMENT OCH
MITTUTBÖJNING. OSKARVADE PÅLELEMENT



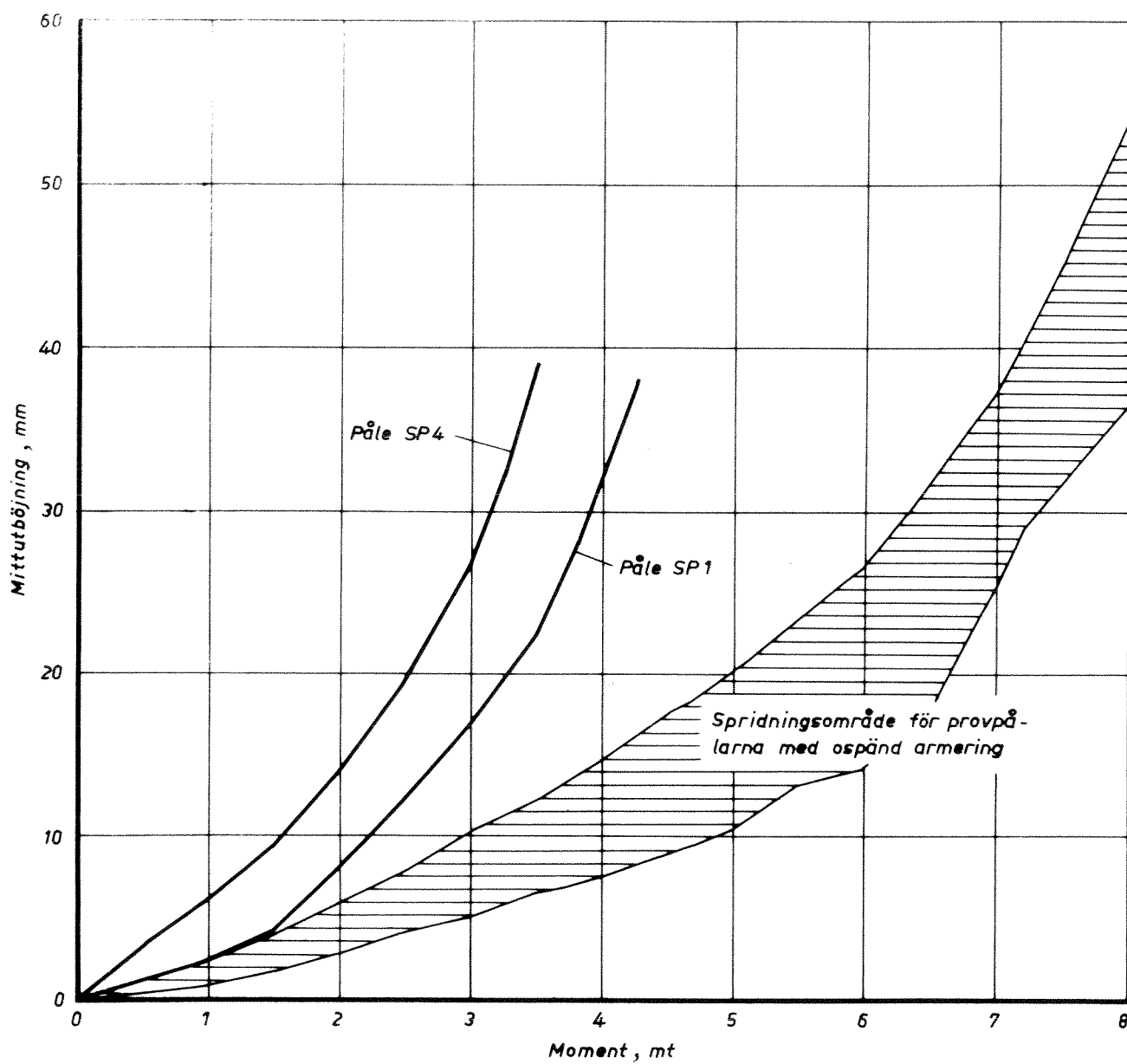
SAMBAND MELLAN BÖJANDE MOMENT OCH VINKEL-
ÄNDRING I SKARVARNAS HOPKOPPLINGSANORDNINGAR



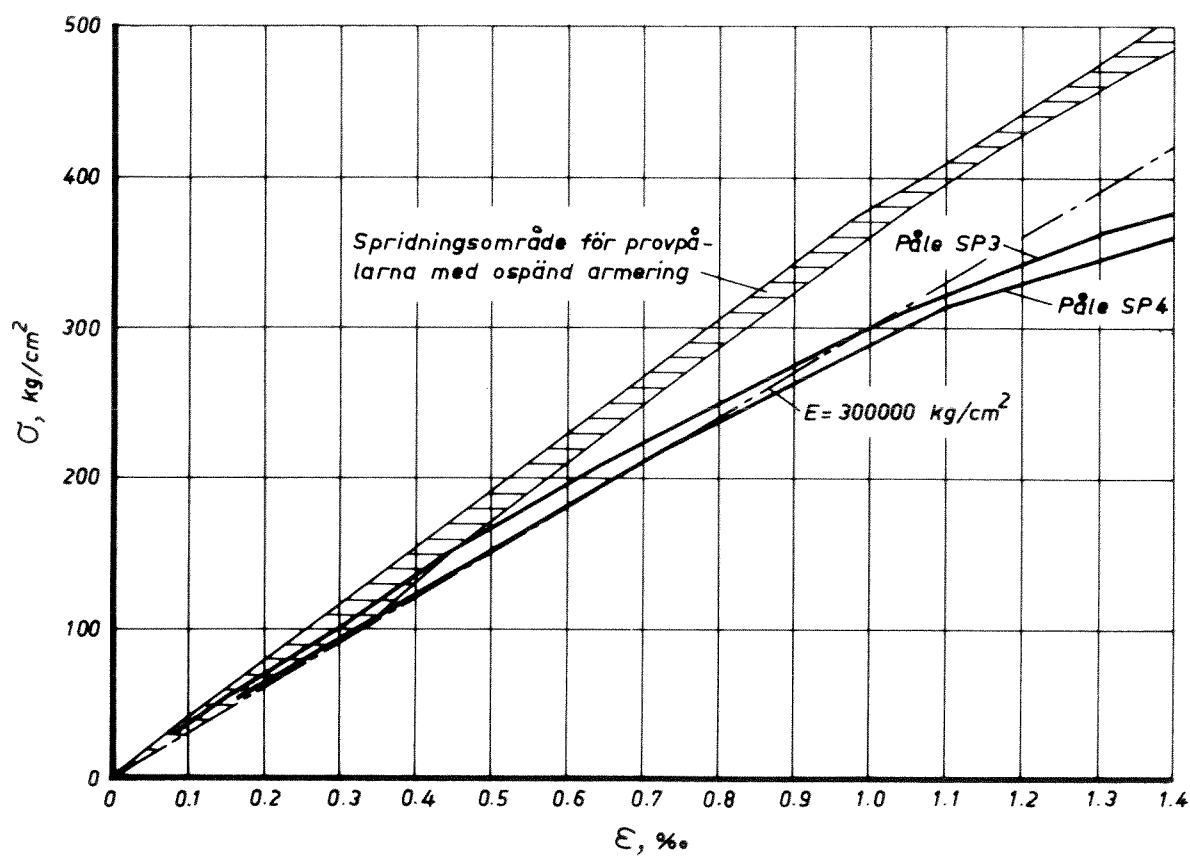
SAMBAND MELLAN BÖJANDE MOMENT OCH
MEDELBJÖJSTYVHET. SKARVADE PÅLELEMENT



SAMBAND MELLAN BÖJANDE MOMENT OCH
MITTUTBÖJNING. SKARVADE PÅLELEMENT



TRYCKPROV PÅ PÅLELEMENT.
 σ - ϵ -DIAGRAM



Sammanfattning av data för uttagna påelement

Tabell 1. Oskarvade påelement

Element	Från påle nr	Antal slag efter bergkänning	Krökningsradie vid inklinometermätning m	Brottmoment vid böjprovning mt	Böjstyvhets vid $M = 2,0 \text{ mt}$ tm^2	Max. sprickvidd vid $M = 2,0 \text{ mt}$ mm
SP 1:1	SP 1	500	62	4,5	374	0,10
SP 1:2	SP 2	1610	1275	4,25	334	0,30

Tabell 2. Skarvade påelement

Element	Från påle nr	Antal slag efter bergkänning	Krökningsradie vid inklinometermätning m	Vinkeländring i skarv vid belastn. av egen vikt $\times 10^{-3} \text{ rad}$	Brottmoment vid böjprovning mt	Medelböjstyvhets vid $M = 2,0 \text{ mt}$ tm^2	Vinkeländring i hopkoppl. anordn. vid $M = 2,0 \text{ mt}$ $\times 10^{-3} \text{ rad}$	Max. sprickvidd vid $M = 2,0 \text{ mt}$ mm
SP 2:1	SP 1	500	2860	0,29	4,48	346	3,53	0,3
SP 2:4	SP 4	1610	176	1,39	3,75	243	8,40	2,0

Sammanställning av försöksresultaten

1. Pålar slagna till stopp

Antal pålar
2

2. Vinkeländring i skarv

a Vinkeländring i skarv i stoppslagna pålar, erhållen vid inklinometermätning

Påle nr	$\times 10^{-3}$ rad
SP 2	3,7
SP 4	11,3

b Vinkeländring i skarv i samtliga pålar, erhållen vid inklinometermätning

Påle nr	$\times 10^{-3}$ rad
SP 1	0,7
SP 2	3,7
SP 3	0,9
SP 4	11,3

c Vinkeländring i radianer i skarv vid små belastningar (egen vikt)

Se tabell 2, bil. 8

d Vinkeländring i hopkopplingsanordningarna vid momentet $M = 2,0$ mt

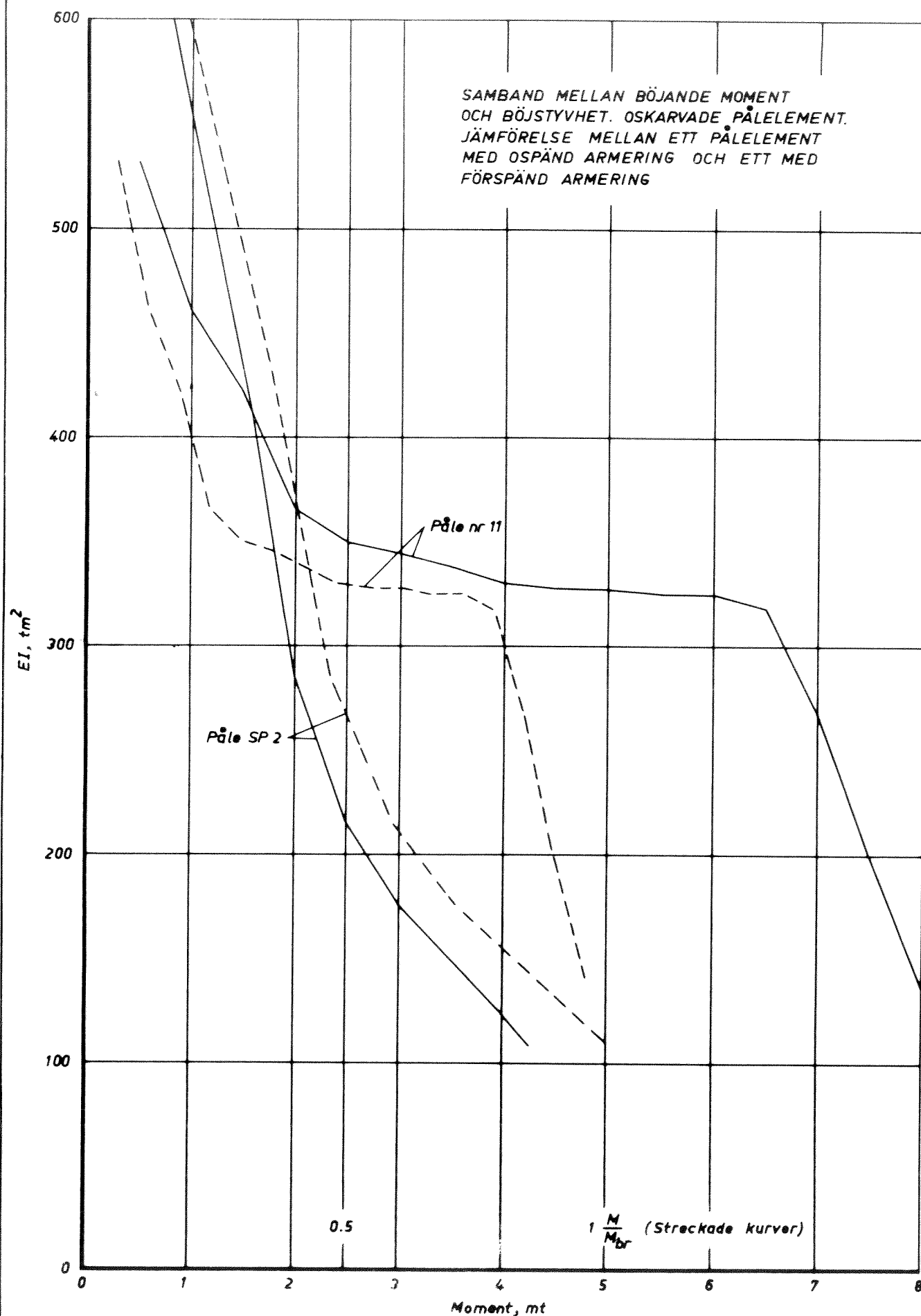
Se tabell 2, bil 8

3. Krökningsradier (ej skarvområde)

Radie i m	Antal mätpunkter	
	<u>stoppslagna</u> pålar	<u>samtliga</u> pålar
0-100	-	2
100-200	2	4
200-300	1	2
300-500	5	10
500-1000	5	9
1000-1500	2	2
1500-2000	-	-
2000-2500	-	1
2500-3000	-	-
3000-3500	-	-
> 3500	-	1
Summa	15	31

4. Böjstyvhets EI tm^2 och max sprickvidd vid momentet $M = 2,0$ mt. Oskarvade pålelement.

Se tabell 1, bil 8.



RESULTAT FRÅN KRÖKNINGSMÄTNING PÅ PÅLAR FÖR BROAR
I GÖTEBORG

Innehåll

	Sida
Orientering	1
Västkustbaneviadukten	2
Provisoriska förbigångsspår för 01 och 02	4
Summary	5
Litteraturförteckning	5
Glossary	
Bilagor	
Pl. 1	Pålning för ny persontågsviadukt, Göteborg C - Almedal. Planer.
Pl. 2	D:o
Pl. 3	Resultat av krökningsmätning på vissa pålar i Västkustbaneviaduk- ten i Göteborg (Gubbero) 1964.
Pl. 4	Pålning för stöd till provisoriska förbigångsspår, Tingstadsleden Göteborg. Planer.

RESULTAT FRÅN KRÖKNINGSMÄTNING PÅ PÄLAR FÖR BROAR I GÖTEBORG

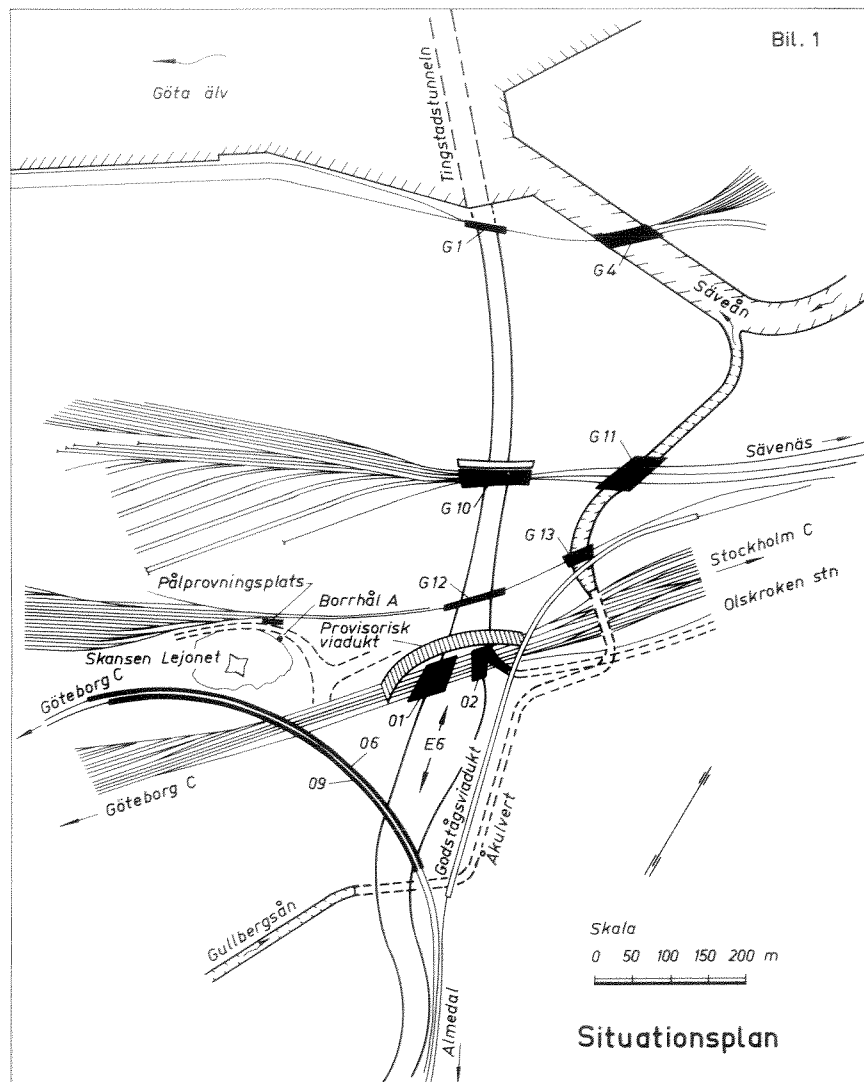


Fig. 1 SJ nya konstbyggnader vid Tingstadstunneln söder om Göta älv i Göteborg. Översiktsskiss.

Plan showing location of structures for the tunnel at Tingstad, located south of Göta River in Gothenburg.

ORIENTERING

I samband med framdragandet av E6 genom Göteborg och byggandet av den s.k. Tingstadstunneln under Göta älv samt anslutande trafikplatser har det för SJ:s del blivit nödvändigt att bygga ett flertal

konstbyggnader. Vid flera av dessa är grundläggningsförhållandena svåra, med stort djup till fast botten, kraftigt lutande bergkontur under leran osv. Omfattande provpålningar och undersökningar har därför ingått i planeringen för dessa broar (se närmare (1), (2) och (3)): Därvid har bl. a. framkommit att en synnerligen noggrann pålkontroll är nödvändig för stödpålar av betong mot släntberg, på vilka höga laster skall tillåtas. Det kan ha sitt intresse att granska erfarenheterna från dessa arbeten då nu pålningen för två broar är slutförd.

Först presenteras här den s. k. Väst kustbaneviadukten (06) vid Gubbero på sträckan Göteborg C - Almedal. Vidare redogörs för en provisorisk förbigångsviadukt över blivande E6, vilken endast skall trafikeras under byggandet av de permanenta vägportarna 01 och 02. (Se översiktskarta fig. 1).

VÄSTKUSTBANEVIADUKTEN

Den nya viadukten ersätter en äldre stålviadukt, grundlagd på kohesionspålar. Den har till största delen konstruerats som en förspänd betongbro och vilar i västra delen direkt på plintar, nedförda till berg. Fr. o. m. pelarstöd 6 (P6) är bron grundlagd på stödpålar av betong. Berget lutar starkt åt öster mellan P8 och P11. Öster om P11 ligger bergytan 60-70 m under påslagningsplanet.

Pålarna är av AB Betongpålars fabrikat, 30x30 cm, betong K500, 4 ϕ 19 Ks 60. Skarven är likaså av typ ABB, momentstyv och dragstark. Pålar, som slogs mot släntberg, försågs genomgående med förstärkt bergspets av specialstål /2/. Slagningen utfördes med 4 tons fallhejare (i vissa fall 3 tons) upphängd i enkel part. För godkänt stoppslag krävdes i regel en sjunkning mindre än 1 cm per serie om 50 slag. (Även andra stoppslag av liknande stränghetsgrad förekom). Tillåten last på varje påle är 60 ton ständig last samt 96 ton ständig + kortvarig last. Vissa pålar i varje pelarstöd försågs med centrumrör för att möjliggöra lutningsmätning med inklinometer. Under hand bestämdes att alla pålar, som slogs såsom ersättning för underkända pålar, likaså skulle förses med inspektionsrör. Totalt slogs fram till juni 1964 220 pålar, varav 117 med rör.

När det gällde att ställa upp normer för hur pålkrokigheten skulle bedömas, hade man, som tidigare nämnts, resultaten från förberedande försök (/1/ och /3/) att gå efter. Man bestämde att en

krökningsradie $R = 400$ m och däröver skulle accepteras, mätt från påldelsmitt till påldelsmitt, dvs. på en sträcka av 10 à 13 m. På en sträcka av 2 m, motsvarande avståndet mellan två mätpunkter 1 m på ömse sidor om en skarv, accepterades $R = 100$ m. Man fann snart att en oroväckande stor del av pålarna måste kasseras p. g. a. dessa krav, oaktat man erhållit godkända stoppslag. Pålplanerna pl. 1 och 2 visar i horisontalprojektion hur flertalet rörpålar starkt avviker från det avsedda läget. I de flesta fall slogs pålarna från början vertikalt (endast ett mindre antal ersättningspålar slogs i lutning), men avvikelser från lodlinjen hos pålspetsen på ända upp till 11 m förekommer. Flera av pålarna fick inte fullgott fäste i släntberget, utan gled snett nedåt, varvid delen närmast spetsen kröktes starkt (se exempelvis pl. 3 påle 48 och 58 A). Denna krökning sträckte sig maximalt ca 5 m upp från spetsen. Andra pålar fick redan i de övre jordlagren så stark krökning att de inte kunde godkännas som fullgott stöd för bron (ex. påle 199). Så småningom, i samband med schaktningsarbetena (pålavskärningsplanet ligger 1-5 m under pålslagningsplanet), kom man underfund med att dessa stora förskjutningar med största sannolikhet kan skyllas på en mängd äldre grupper av träpålar, som påträffades efter ett par meters schaktning.



Fig. 2

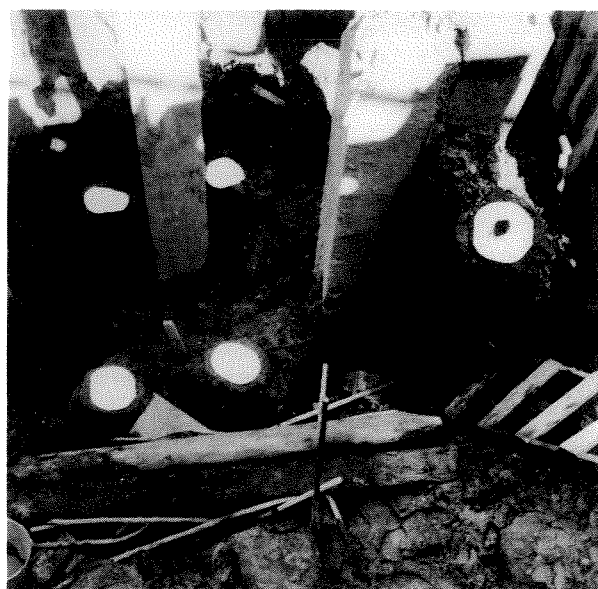


Fig. 3

Schakt för pelarstöd nr 15. De gamla träpålarnas skallar är markerade med vita pappskivor.

Excavation for column support no. 15. The ends of the old wooden piles are marked with white circular cardboard sheets.

Fig. 2 och 3 visar norra delen av schaktgropen för pelarstöd P15 och ger en antydning om påltäthet och dimensioner. De gamla träpålarnas skallar är markerade med vita pappskivor.

Hinder av detta slag och med dessa dimensioner kan mycket väl tänkas ändra pålens riktning avsevärt. Intressant, men väl hittills inte säkert besvarad, är frågan huruvida övriga 50-60 m av pålen följer efter i samma "spår" vid slagningen, sedan första pålelementet dirigerats på avvägar. Detta skulle innebära att hela pålen består av en lång rad uppspruckna pålelement. Mycket talar för att så är fallet.

Under arbetets gång inklinometermättes pålarna allteftersom de slogs. Pålarna bedömdes inte enbart individuellt utan gruppvis, varvid hänsyn togs till pålgruppens sammanlagda bärförmåga. Ersättningspålar sattes ofta i lutning (vanligen 20:1) och placerades så, att de om möjligt inte skulle kollidera med tidigare slagna och "kartlagda" pålar. Av 117 rörpålar godkändes 65 st, motsvarande ca 56 %. Symbolerna på pålplanerna anger godkända och underkända pålar. Rörpålarna markeras med siffra, ersättningspålar med siffra + bokstav. För rörpålarna är det i samtliga fall krokigheten, som föranlett ett underkännande, ej stoppslagningen.

PROVISORISKA FÖRBIGÅNGSSPÅR FÖR 01 OCH 02

Spårbryggan utgörs av 12 st fritt upplagda stålspänn på betongstöd. Här tilläts något större sättningar, men eftersom grunden utgörs av släntberg med ca 45° lutning beslöts att de fyra stöd, som stödpålades (de fyra västligaste), skulle grundläggas på betongpålar med inspektionsrör och att samma krav på krökningsradie skulle ställas på dessa som på pålarna för den nyss beskrivna Väst kustbanevidukten. Övriga stöd grundlades på kohesionspålar. Resultaten av krökningsmätningarna kan inte redovisas i detalj, men pl. 4 ger en antydning om pålarnas avvikelser från det avsedda läget i horisontalprojektion.

Pålarna är av typ Herkules, betong K500, med cirkulärt tvärsnitt och 600 cm² area. Huvudarmeringen utgörs av 6 st ϕ 16 Ks 60 och skarven av typ Herkules. Samtliga pålar är försedda med bergspets av specialstål. Pålängderna varierar från ca 20 m (västra landfästet) till ca 40 m (stöd 4).

Trots att stor försiktighet iakttoogs vid slagningen, då spetsen

närmade sig släntberget, gick det inte att undvika att ett flertal pålar böjde av utefter berget med ofta mycket små krökningsradier invid spetsen som följde. Alla pålar slogs i lutning 4:1, men någon påtaglig skillnad i kassationsprocent mellan de pålar som slogs åt samma håll som slänthlutningen och dem som slogs åt motsatta hållet kan inte förmärkas. Totalt underkändes 29 pålar av 78 slagna (= 37 %), varav ca hälften p. g. a. krökning invid spetsen. P. g. a. viaduktens karaktär av provisorium reducerades antalet ersättningspålar vid stöd 3, där pållängderna är omkring 40 m. Dessa pålar försågs ej heller med centrumrör.

SUMMARY

In connection with the "Tingstad Tunnel" project in Göteborg, it was necessary to build a number of new railway bridges (fig. 1). In this article are presented the results from the inclinometer measurements (measurements of radii of curvature) on construction piles for two bridges.

In the first bridge presented (called 06), the pile lengths varied from 5 to 70 meters. Pl. 1 and 2 show the pile groups in horizontal projection. Most piles were driven vertically and have diverged considerably from the vertical line when driven into the ground (See also vertical projection, Pl. 3).

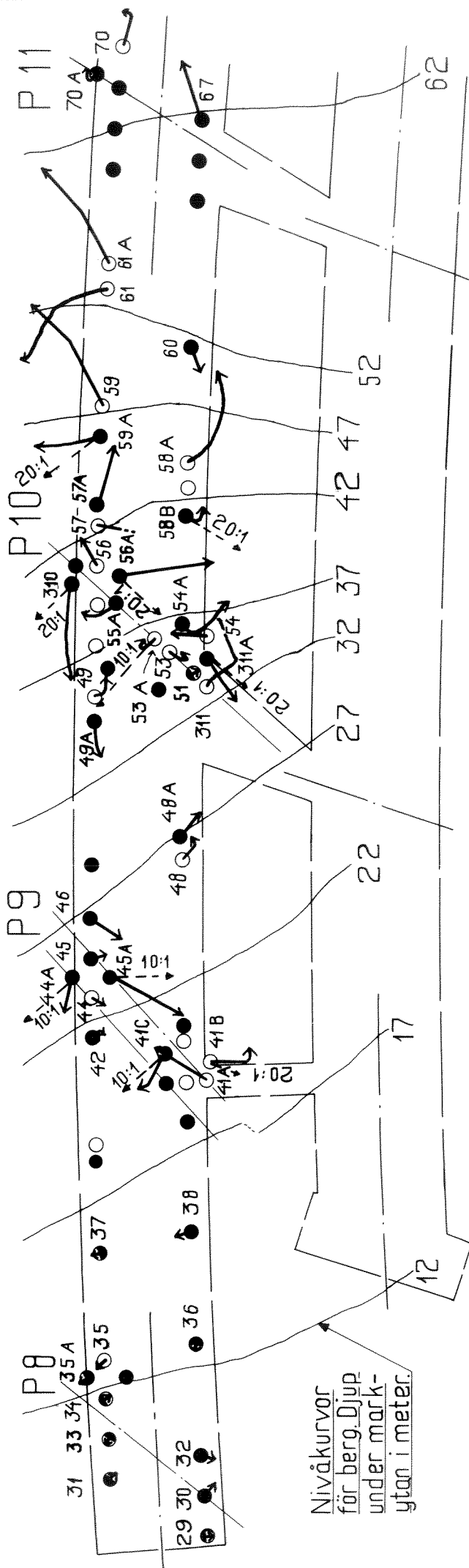
The second bridge is a temporary one, close to the building yard for the bridges 01 and 02. Also in this case the pile lengths varied very much, due to the great slope angle of the rock surface, which also made it difficult to get a good support for the pile tips. The results of the measurements are presented in Pl. 4.

LITTERATURFÖRTECKNING

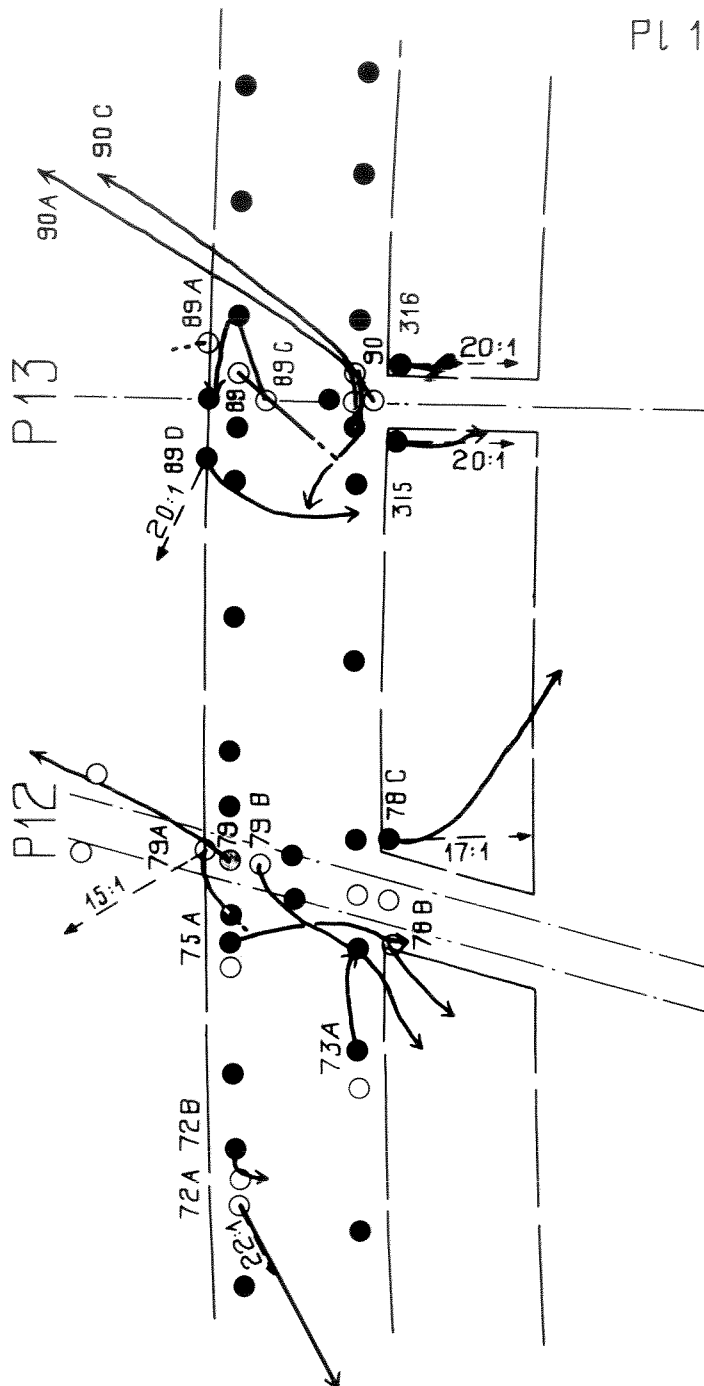
1. Slagning och provbelastning av långa betongpålar. Försök vid Gubbero i Göteborg. Byggforskningen, Rapport 99.
2. Slagningsprov av pålskor med bergdubbar. Meddelande nr 1 från IVA:s pålkommitté.
3. Jämförelse mellan moment, krökningsradie och sprickvidd i betongpålar slagna genom lös lera till släntberg vid Tingstadsleden, Göteborg. Meddelande nr 3 från IVA:s pålkommitté.

G L O S S A R Y

Pl. 1	Pålning för ny persontågs- viadukt, Göteborg C - Al- medal. Planer Nivåkurvor för berg. Djup under markytan i meter Teckenförklaring: godkänd påle underkänd påle ingen siffra=ej rörpåle avsett läge och avsedd lutning (där ej pålen slagits vertikalt) Uppmätt läge	Piles for new viaduct for pas- senger trains, Gothenburg C - Almedal. Location of piles. Contours of rock surface. Depth below the ground level in meters Notations: approved pile rejected pile no number=pile without in- spection pipe intended location and intended inclination (where pile has not been driven vertically) Measured location
Pl. 3	Resultat av kröningsmät- ning på vissa pålar i Väst- kustbaneviadukten i Göte- borg (Gubbero) 1964 Vertikalprojektion Horisontalprojektion M under markytan Skuggad del markerar icke godkänd krökning	Results from inclination measure- ments of piles under Väst kustba- neviadukten in Gothenburg (Gubbe- ro) 1964 Vertical projection Horisontal projection Metres below the ground level Shaded part marks curvature which cannot be accepted
Pl. 4	Pålning för stöd till pro- visoriska förbigångsspår, Tingstadleden Göteborg Planer Västra landfästet Stöd 1, 2 och 3	Piles for supports of temporary railway bridges, Tingstadleden Gothenburg Plans The west abutment Support no. 1, 2 and 3



Nivåkurvor
för berg, djup
under mark-
ytan i meter.

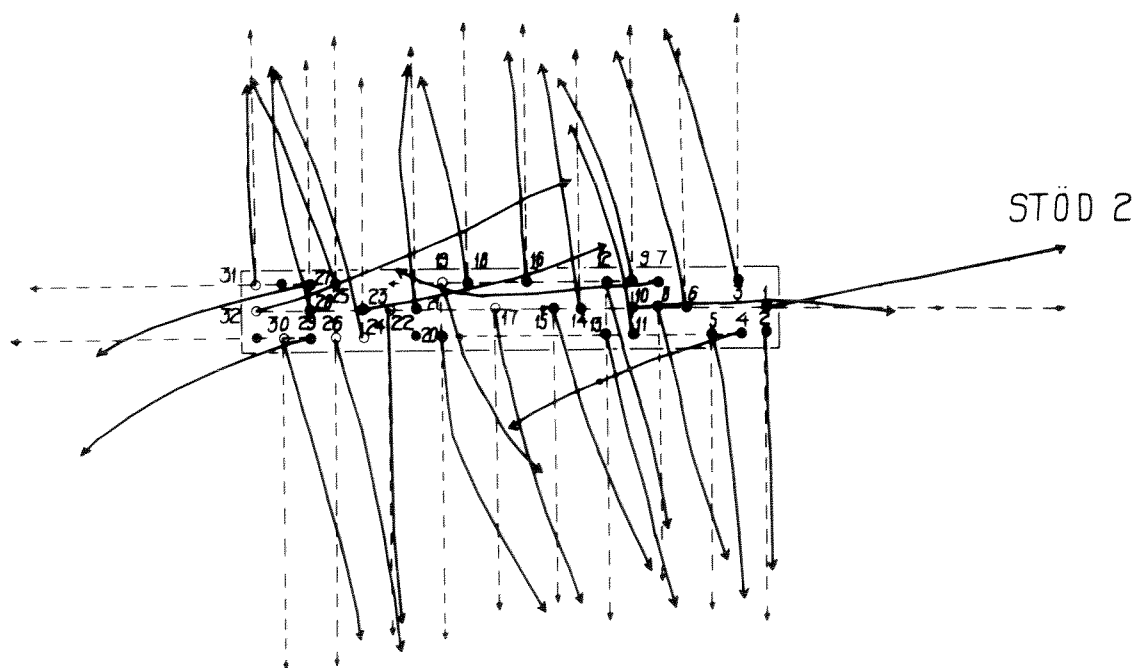
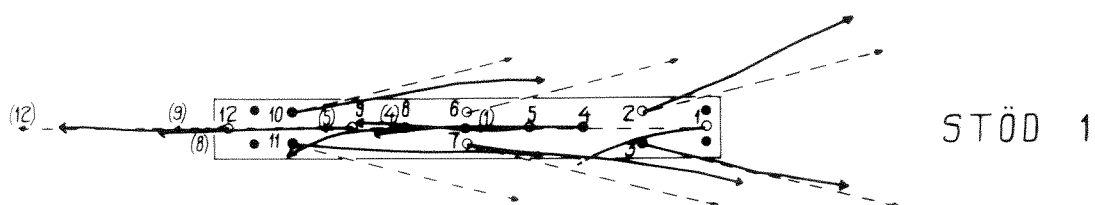
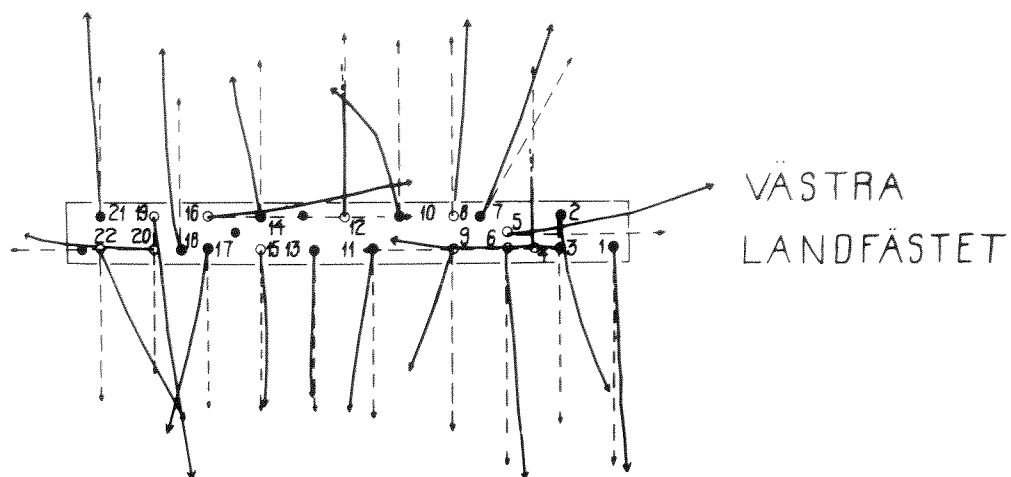


TECKENFÖRKLARING

- = godkänd påle
- = underkänd påle
- Ingen siffra = ej rörpåle
- > = avsett läge och avsedd lutning (där ej pålen slagits vertikalt)
- > = uppmätt läge

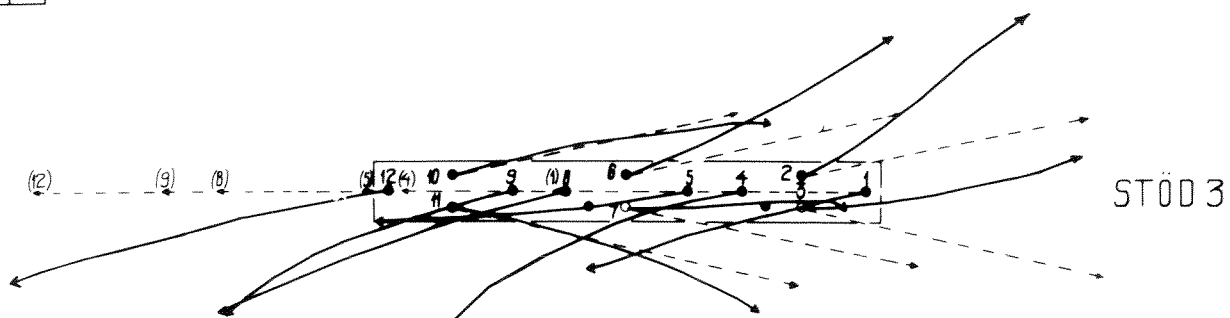
0 1 2 3 4 5 m

PÅLNING FÖR NY PERSONTÅGVIADUKT,
GÖTEBORG C - ALMEDAL
PLANER



Skala

0 1 2 3 4 5 m



Teckenförklaring:

- = godkänd påle
- = underkänd påle
- ingen siffra = ej rörpåle
- --- ○ (4) = avsett läge
- ———> = uppmätt läge

PÄLNING FÖR STÖD TILL PRO-
VISORISKA FÖRBIGÅNGSSPÅR, TING-
STADLEDEN GÖTEBORG. PLANER

Tidigare utgivna handlingar

Meddelanden

- | | | |
|-------|---|------|
| Nr 1. | Slagningsprov av pålskor med bergdubbar | 1963 |
| 2. | Provpålning för broar inom blivande Olskroks- och Gullbergsmoten i samband med byggande av Europaväg 6 genom Göteborg | 1964 |
| 3. | Jämförelse mellan moment, krökningsradie och sprickvidd i betongpålar slagna genom lös lera till släntberg vid Tingstadsleden, Göteborg | 1964 |
| 4. | Pålprovning för järnvägsbro vid Vännäs | 1964 |
| 5. | Beräkningsmetoder för sidobelastade pålar | 1965 |
| 6. | Brottlast för snett belastade pålar | 1965 |
| 7. | Beräkning av pålars bärförmåga | 1965 |

Övrigt

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

Slagning av långa betongpålar. Statens Institut för Byggnadsforskning, informationsblad 1964:26 1964