



Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.



Rapport

R72:1973

**Utveckling av den svenska
hejarsonderingsmetoden**

Ulf Bergdahl & Rune Dahlberg

Byggforskningen

TEKNISKA HOGSKOLAN I LUND
SEKTIONEN FOR YAG- OCH VATTEN
BIBLIOTEKET

Utveckling av den svenska hejarsonderingsmetoden

Ulf Bergdahl & Rune Dahlberg

Den utveckling av hejarsonderingsmetoden som har skett föranledes främst av otillräcklig tillförlitlighet och noggrannhet vid det äldre, traditionella förfarandet som ger en neddrivningseffekt (sonderingsmotsstånd) som varierar starkt under sonderingen.

Utvecklingsarbetet resulterade i en ny standard för hejarsondering (kallad metod A) med följande förbättringar: Slagdynan är fast och gängad direkt på stångänden, hejaren faller fritt, fallhöjden kan hållas i det närmaste konstant 50 cm (± 3 cm), stötvägsformen har gjorts mera "effektiv" genom införandet av dämpande uretangummimellanlägg på den fasta dynan, sondstängen vrids så ofta (minst 2 varv per 20 cm nedträngning) att en kontinuerlig vridningseffekt erhålls och spetsen är rund $\varnothing 45$ mm med mantellängden 90 mm.

Det traditionella förfarandet, som kallas metod B i den nya standarden, bör successivt ersättas av här beskrivna metod A. Tyngdpunkten i utvecklingsarbetet har utgjorts av en serie fältförsök, som har utförts under åren 1963–1969. Försök har gjorts i såväl lera och mellanjordar som sand. Vid vissa försök har även stötvägsräkning utförts, vilket var av stort värde vid utprovningen av dämpande mellanlägg.

Den svenska hejarsonderingsmetoden har använts sedan omkring år 1940 när kravet på att tränga ner i fastare jordlager än vad viktsonden förmår kom att framstå allt påtagligare.

Svenska Geotekniska Föreningens (SGF) sonderingskommitté har till huvuduppgift att verka för utveckling och standardisering av sonderingsmetoderna. En första standard för hejarsonderingsmetoden fastställdes av SGF den 23 april 1964. Denna standard innebar en reglering av hejarvikt, fallhöjd, stängdimension, sondspets samt slagningshastighet för den då använda utrustningen och metoden.

Vid sondering med den traditionella metoden, där vajrarna, i vilka hejaren hänger, följer med i slaget, var det mycket svårt att hålla fallhöjden konstant. Samtidigt kunde bromskraften i vajrarna variera beroende på hur de spänts samt vilken temperatur och smörjning linrumman hade.

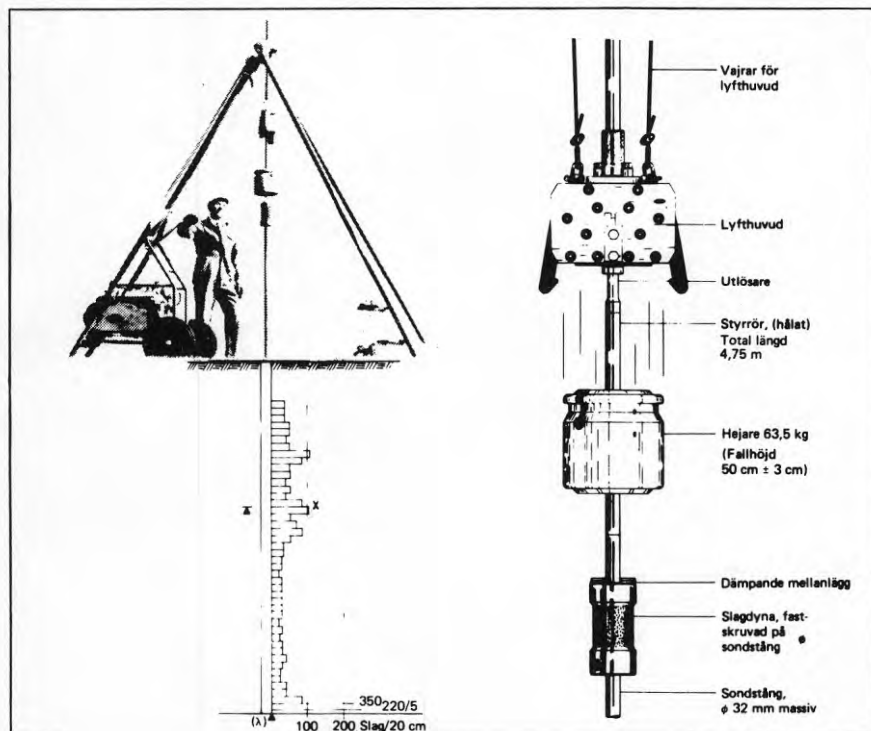
Vid flyttning av killåset fick man en stor glidning för de första slagen och detta medförde att den till stängen överförda stötvägskraften kom att variera från slag till slag. Senare försök har visat att man kan betrakta killåset som väl fastslaget när den maximala stötvägskraften uppgår till 50 å 60 kN (5 å 6 Mp).

Bygghorsningen Sammanfattningar

R72:1973

Nyckelord:

hejarsondering (Sverige), frifallshejare, stötvägsräkning, tidsstudier, standardisering



Frifallshejare och fast slagdyna.

Rapport R72:1973 hänför sig till forskningsanslag C 478 från Statens råd för byggnadsforskning till Statens geotekniska institut, Stockholm.

UDK 624.131.35
SfB (19)
ISBN 91-540-2218-5

Sammanfattning av:

Bergdahl, U & Dahlberg, R, 1973, *Utveckling av den svenska hejarsonderingsmetoden. Del av verksamheten inom SGFs sonderingskommitté.* (Statens institut för byggnadsforskning) Stockholm. Rapport R72:1973, 106 s., ill. 21 kr.

Rapporten är skriven på svenska. Svensk och engelsk sammanfattning utges separat.

Distribution:

Svensk Byggtjänst
Box 1403, 111 84 Stockholm
Telefon 08-24 28 60

Grupp: konstruktion

Frifallshejaren

I avsikt att förbättra hejarsonderingsmetoden utvecklades under åren 1963–1966 en prototyp för en sk frifallshejare. Fördelarna med denna jämfört med den traditionella typen är att fallhöjden blir nästan lika vid alla slag (± 3 cm). I den nya utrustningen är också slagdynan fast gängad direkt på sondstängens övre ände, vilket medför en lika stor kraftöverföring vid alla slag. I överensstämmelse med den praxis som tillämpas i övriga Europa har fallhöjden för denna förbättrade metod satts till 50 cm. Minskningen från den vid traditionell hejarsondering använda fallhöjden 60 cm till 50 cm är nödvändig, eftersom det fria fallet i kombination med den fasta dynan ger en betydligt större stötkraft i stängen än vajerupphängd hejare och slagdyna med killås. Även denna lägre fallhöjd medförde så stora spänningar i sondstängerna att stukning uppkom i stångändarna. Som en följd av bl. a. detta utprovades under 1969 en typ av dämpande mellanlägg att placera på den fasta dynan. Dessa mellanlägg som består av två på varandra liggande 2 mm tjocka uretångummipplattor har vid försök visat sig hålla för minst 5 000 slag, dvs för 1 à 2 dagars fältarbete. Den maximala stötvågskraften med uretångummimellanlägg motsvarar den som erhålls 20–50 slag efter flyttning av killås vid traditionell hejarsondering.

Fallhöjdens betydelse

Den med frifallshejaren erhållna bättre slagningskontrollen gjorde det möjligt att studera hur olika faktorer påverkar sonderingsmotståndet. Bland annat undersöktes fallhöjdens betydelse. Redan år 1966 konstaterades vid försök i Husby grustag på Munsö att fallhöjden i hög grad påverkar sonderingsmotståndet. Vid 40 cm fritt fall fordrades ca 50 % flera slag för att nå 10 m sonde-

ringsdjup än om fallhöjden var 76 cm. Vidare kunde man observera att sonderingsmotståndet mätt med vajerupphängd hejare och 76 cm fallhöjd stämde väl överens med det sonderingsmotstånd som erhöles med frifallshejare och 40 cm fallhöjd.

Vridning av stängen

Vid traditionell hejarsondering vrids sondstängen normalt endast i samband med skarvning för att dra ihop stängerna i skarvarna samt för att kontrollera att sondstängen ej gått snett. Under ett försök att utnyttja uppmätta vridmoment vid vridning av sondstängen för utvärdering av mantelmotståndet registrerades samtidigt vridningsnivåerna. Resultatet visade att sonderingsmotståndet blev lägre vid fortsatt sondering under den nivå där vridning utförts. Denna reduktion av sonderingsmotståndet var i sand märkbar till 0,5 à 1,0 m under vridningsnivån. Denna form av vridning gör sonderingsresultatet svårtolkat och otillförlitligt, i synnerhet om man inte känner till på vilka nivåer vridning har utförts.

För att erhålla en mera kontinuerlig vridningseffekt gjordes därför en serie försök, där sondstängen vreds en viss vridningsvinkel före varje slag.

Resultaten visar att effekten av vridning är större i sand än i lera. Det framgår vidare att mantelmotståndet utgör en mycket stor del av totalmotståndet på större djup. Med ledning av resultat från fältförsöken och från torsionsmätningar på skarvade hejarsondstänger bedömdes en vridning av 45° per slag som tillräcklig för att en stångvridning vid markytan skall fortplanta sig till spetsnivån vid upp till 30 m sonderingsdjup. I rapporten föreslås en metod att genom mätning av erforderligt vridmoment bestämma den del av total-

motståndet som utgörs av mantelmotstånd.

Spetsens utformning

Tidigare gällande hejarsonderingsstandard som fastställdes 1964 medger både rund och kvadratisk spets med tvärsnittsytan 15–16 cm² och mantellängden 20–200 mm. Senare utförda försök visar emellertid att mantellängden bör fixeras och inte tillåtas variera inom ett så stort intervall. Den till den nya standarden hörande spetsen är rund \varnothing 45 mm och har en mantellängd av 90 mm, således dubbla diametern. Anledningen till att rund spets rekommenderas beror delvis på att en kvadratisk spets ger ett annat sonderingsmotstånd än en rund. Sålunda visar försöksresultaten att en 90 mm lång fyrkantspets \square 40 mm som ej följer med vid sondstängens rotation, i sand ger 25 à 30 % lägre och i lera 15 à 20 % lägre sonderingsmotstånd än en rund spets \varnothing 45 mm med samma längd.

Tidsstudier

Vid sonderingsförsöken registrerades också effektiv neddrivningstid. Mätningarna visar att övergång till hejarsondering enl. metod A (se nedan) totalt sett kommer att medföra viss tidvinst eftersom den genom vridningen erhållna reduktionen av sonderingsmotståndet motsvarar en tidvinst som väl uppväger den extra tid som kontinuerlig vridning kräver.

Standard

I den av SGF i mars 1971 fastställda nya standarden för hejarsondering kallas det nya, förbättrade förfarandet med frifallshejare och fast dyna för metod A, och det traditionella, äldre, något modifierade förfarandet för metod B.

Development of the Swedish ram-sounding method

Ulf Bergdahl & Rune Dahlberg

The development of the Swedish ram-sounding method, reported herein, was prompted by the unreliability and the inexactness of the older, traditional method. The driving effect (i.e. the penetration resistance) varies during the driving because

- of slip of the anvil (a jacket and a pair of wedges) during the driving
- of friction in the cables to the hammer
- of variations of the height of fall from the nominal (60 cm)
- of variations due to the rotation of the sounding rods
- of variations in the cross-section and of the length of the penetrometer point.

The investigations resulted in a new standard for the Swedish ram-sounding method (method A), with the following improvements. A fixed anvil which is rigidly attached to the top of the rod, a free falling hammer with an almost constant height of fall (50 cm \pm 3 cm), an effective shape of the shock wave because a damping cushion of uretan rubber has been placed on the fixed anvil and a reduction of skin friction due to rotation of the sounding rod (2 turns per 20 cm of penetration) which is sufficient to produce a continuous turning-effect. The penetrometer point is circular (\varnothing 45 mm) with a length of 90 mm.

The traditional procedure (method B in the new standard) should gradually be replaced by method A described above. The main part in the development work is a series of field tests during 1963–1969 in clay, silt and sand. Some of the test series included shock wave measurements, which were of a great value at the investigation of different cushions.

Introduction

Two different standardized sounding methods are used in Sweden at present, viz. the Swedish weight-sounding method and the Swedish ram-sounding method. These two methods supplement to a large extent each other.

The most common sounding method in Sweden is the weight-sounding method, which was developed about 1910. This method is a light static method, where standardized loads (0.05, 0.10, 0.25, 0.50, 0.75 and 1.0 kN) are applied in steps. If the penetrometer does not move at the maximum load (of 1.0 kN), the rod is rotated. The penetration resistance is defined as the lowest load required for penetration or the number of half-turns required for 20 cm penetration at an applied load of 1.0 kN.

National Swedish Building Research Summaries

R72:1973

Key words:

ram-sounding (Sweden), free-fall hammer, shock wave measurement, time-studies, standardization

Report R72:1973 refers to Research Grant C 478 from the Swedish Council for Building Research to the Swedish Geotechnical Institute, Stockholm.

UDC 624.131.35

SfB (19)

ISBN 91-540-2218-5

Summary of:

Bergdahl, U & Dahlberg, R, 1973, *Utveckling av den svenska hejarsonderingsmetoden. Del av verksamheten inom SGFs sonderingskommitté*. Development of the Swedish ram-sounding method. Part of research work in the committee on Penetration Testing of the Swedish Geotechnical Society. (Statens institut för byggnadsforskning) Stockholm. Report R72:1973, 106 p., ill. 21 Sw. Kr.

The report is in Swedish. Summaries in Swedish and English are published separately.

Distribution:

Svensk Byggtjänst
Box 1403, S-111 84 Stockholm
Sweden

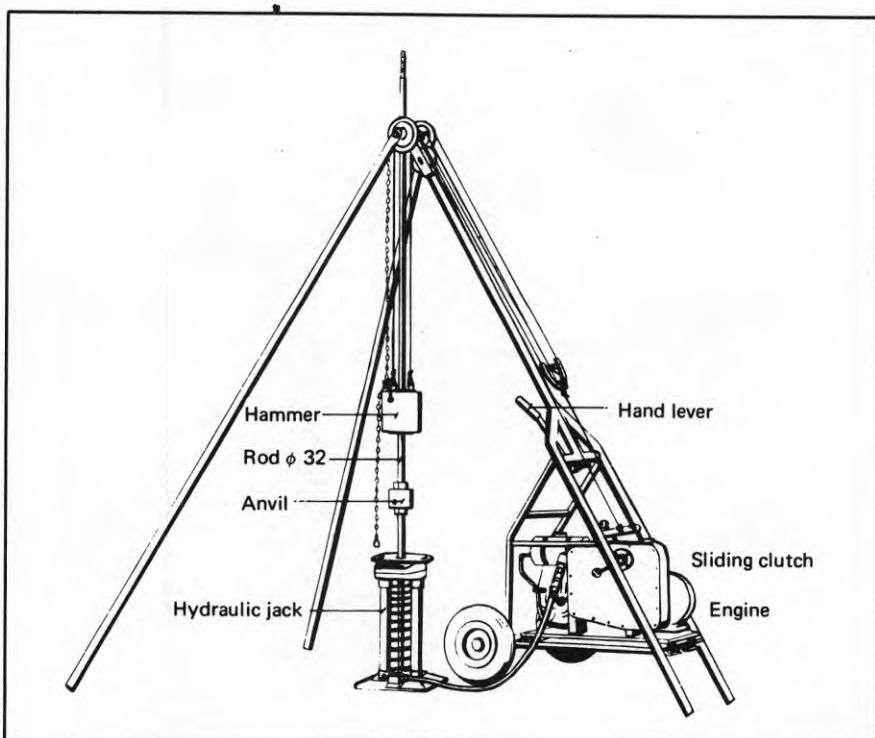


FIG. 1. Traditional ram-sounding device with motor tripod. Source: *Handboken Bygg, del 1 B*. Stockholm 1972.

The Swedish ram-sounding method has been used in Sweden since about 1940. It has a higher penetration ability than the weight penetrometer. This method replaced most of the "ram-sounding tools", which were used in Sweden before 1940 in firm or dense soils. The Swedish ram-sounding method, manufactured by Borros AB, is referred to in the following as "the traditional method", FIG. 1. In this method \varnothing 32 mm sounding rods and a square or circular point with a cross-section area of 15–16 cm² and a length of 20 to 200 mm are used. The point is fixed or loosely attached to the rod. The sounding rods are driven down mechanically by a hammer weighing 63.5 kg (140 lb), with a nominal height of fall of 60 cm. The hammer strikes an anvil, which consists of a pair of wedges and a jacket. The penetration resistance is recorded as the number of blows required for 20 cm penetration.

The penetration resistance is affected by many factors, e.g. variations of the height of fall of the hammer, partly because it is manually regulated. Also friction in the cables affects the free fall of the hammer and thus the test result. This friction varies with air temperature and with the general condition of the machine. Also other factors are of importance which are treated in the following when interpreting the best results.

Test data indicate that the anvil which transmits the hammer blow to the sounding rod moves when it is struck by the hammer. This slippage reduces the intensity of the hammer blow. Test results from a series of shock wave measurements, indicate that the maximum intensity of the shock wave can vary very much from one blow to another. The anvil is usually reset every 1.0–1.5 m. This reset affects the test results, because the slip of the anvil is large just after it has been reset.

Free-fall hammer

During 1963–1966 an improved penetrometer with a free falling hammer was developed, here referred to as the free-fall hammer. Compared with the traditional method the improved penetrometer has the following advantages: The height of the free fall is automatically regulated and is almost constant (\pm 3 cm), the friction from the equipment is small and the hammer strikes a fixed anvil, attached to the top of the drill rod, FIG. 2. Errors caused by slip of the anvil have thus been eliminated. The height of free fall is equal to 50 cm. Test results show that the intensity of the shock wave is higher for the new penetrometer than the traditional one, although the height of free fall has been reduced from 60 to 50 cm. The intensity was high enough to break the taps in the joints. It was therefore necessary to reduce the intensity of the blow by a cushion. It was desirable to select a cushion which gives a stress wave with a maximum intensity which is approximately the same as that for

the traditional method. The improved driving procedure eliminates variations which are caused by variations of the free fall and by the slip of the anvil. The experience gained by the traditional type is therefore still applicable. Some comments are given below for the different test series which have been performed.

Cushion

The damping by the cushion reduces the maximum of the stress wave. When a cushion of either rubber or plate springs is used a very smooth curve is obtained in comparison with the case when a cushion is not used. Cushion of natural rubber had a low wearing resistance and the plate springs were in some combinations too weak. Partly due to these circumstances a cushion of synthetic rubber, polyuretan (here referred to as uretan), was found to be suitable. Test indicated that a suitable cushion should be composed of two uretan rubber pads each with a thickness of 2 mm. This cushion lasts for at least 5000 blows with the hammer which corresponds to one or two days work in the field.

The maximum intensity of the shock wave when a cushion of uretan rubber is used corresponds to that after 20–50 blows after reset of the traditional anvil.

Comparative penetration tests under equal ramming conditions have been performed in clay and sand both with and without a rubber cushion. The rubber cushion increased the apparent penetration resistance in comparison with the case when a cushion was not used, as expected, both for soft clay and sand, because of the reduction of the maximum intensity of the shock wave. However the rubber cushion increases the penetration per blow in soft or loose soils, because

the duration of the stress wave is increased, i.e. the shape of the shock wave becomes more "effective" in soft or loose soils.

Height of fall

The improved driving procedure has made it possible to investigate the effect of different factors, such as the height of fall, on the penetration resistance. As early as 1966 a test series was performed in a gravel pit at Husby close to Stockholm, in order to investigate the effects of the height of fall on the penetration resistance. At a free fall of 40 cm the number of blows required to reach a depth of 10 m increased by 50 % in comparison with a 76 cm free fall. It was observed, furthermore, that the penetration resistance at the traditional ram-sounding and a height of fall of 76 cm agreed well with the penetration resistance for a free-fall hammer with a height of fall of 40 cm. The reason why the traditional type is inferior with respect to the penetration capacity is mainly friction in the wires to the hammer.

Rotation of rod

When a traditional ram-sounding test is performed and the test is temporarily stopped for extension of the sounding rods they are usually rotated to prevent a deviation of the rods. The level at which the rods are rotated is normally not recorded.

The test results showed that the penetration resistance had decreased when the penetration was continued after the rods had been rotated, FIG. 3. This reduction in penetration resistance was in sand noticeable down to a depth of 0.5–1.0 m below the level of the rotation. The rotation makes it difficult to interpret the test results since the measured penetration resistance partly is affected by the driving procedure itself. From energy

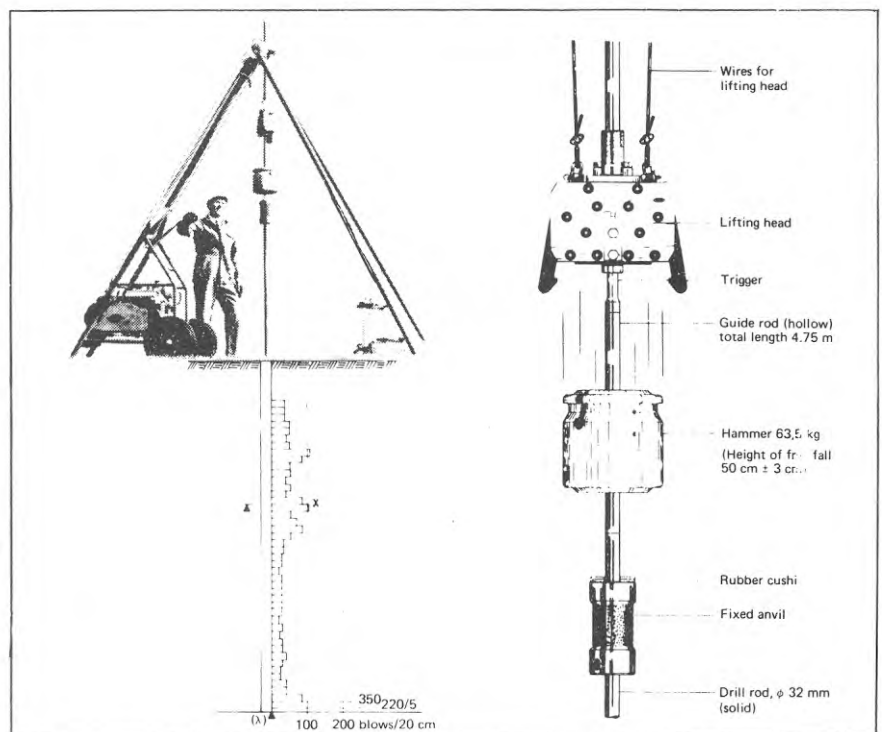


FIG. 2. Free-fall hammer and fixed anvil.

STANDARD FOR THE SWEDISH RAM-SOUNDING METHOD

Adopted by the Swedish Geotechnical Society (SGF) on March 8, 1971. Earlier standards were adopted on April 23, 1964 and on November 17, 1965.

METHOD A (detailed ram-sounding test)

Equipment

Hammer

63.5 kg \pm 1.0 kg

Rod

smooth \varnothing 32 mm, tolerance according to rolling-mill standard

Point

cylindrical with a cross-section area of 15–16 cm², a length of the cylindrical part of 90 mm with the hind edge straight or bevelled maximum 45° and an apex angle equal to 90°. A loosely attached point may be used

Height of fall

the hammer shall be guided and fall freely onto the anvil from a height of 50 cm (50 cm free fall). Tolerance \pm 3 cm

Anvil

rigid, directly attached to the end of the rod, provided with a cushion, which with the hammer and height of fall as mentioned above shall give a stress wave with a maximum intensity of 50–60 kN (5–6 Mp).

The cushion may be composed of two plates of uretan rubber (Trelleborg quality 4013), 2 mm thick, with OD/ID equal to 120/35 mm. Both plates should be changed when one is worn out (cracked).

Test performance and recording

The sounding rods are driven down mechanically by the hammer. The penetration resistance is the number of blows required for 20 cm penetration. The rate should not exceed 60 blows/min. During penetration the rod is turned 2 turns every 20 cm. When the penetration resistance is less than 5 blows/20 cm the rod is rotated only when a new rod is added. When the penetration resistance exceeds 50 blows/20 cm, the rod is rotated 2 turns every 50 blows. (Torque should not be applied when the rod is struck.) It should be recorded when the rod cannot be rotated or when the rotation is done in some other way than recommended above. The drawings should be made according to SGF standard.

In addition the level of the point when the cushion is changed should be recorded and other factors which can influence the test result. The notations should be shown on the drawings. At investigations of the degree of compaction at large depths (> 10 m), e.g. in deposits of sand and gravel, the skin friction can be further reduced by increasing the rotation of the rod to 45° before each blow. At this rotation the whole rod will rotate down to a maximum depth of 30 m. When the

penetration depth is larger than 30 m a larger rotation than 45° before each blow will be required.

This large rotation should be used also when the pile lengths in stiff clays and silty soils are estimated as a supplement to soundings where the rod is turned only when the rod is spliced.

METHOD B (simplified ram-sounding test)

Equipment

Hammer

63.5 kg \pm 1.0 kg

Rod

smooth \varnothing 32 mm, tolerance according to rolling-mill standard

Point

cylindrical with a cross-section area of 15–16 cm², a length of the cylindrical part of 90 mm with the hind edge straight or bevelled maximum 45° and an apex angle equal to 90°. A loose point may be used

Height of fall

equal to 60 cm (\pm 10 cm) when the hammer is lifted by cables (the cables are fixed to the hammer)

Anvil

composed of a jacket, which is attached to the rod by a pair of wedges, driven between the jacket and the rod. The anvil is intermittently detached and reset at a higher level on the rod.

Test performance and recording

The sounding rod is driven down mechanically by the hammer. The penetration resistance is the number of blows required for 20 cm penetration. The rate should not exceed 60 blows/min. When a new rod is added or the anvil is reset the rod should be turned to check the straightness of the rod and the tightness of the joint. The elevation of the point when the rod is turned and when the anvil is reset should be recorded and shown on the drawings. The drawings should be made according to SGF standard.

Because of the reduction in penetration resistance when the rod is rotated the diagrams frequently will include irregularities which are not caused by variations in the soil conditions. Consequently, also with this method it is suitable to rotate the rod as for method A.

The elevation of the point should be recorded when the anvil is reset, as mentioned above, because the reset often causes irregularities in the penetration resistance diagram. The shape of the stress wave which is transmitted from the anvil to the rod will change considerably when the anvil is reset.

Comments to the standard

When should the ram-sounding method A be used? It is desirable that this method gradually should replace method B, since method A gives more accurate indication of the actual soil conditions and the test results can be compared. Method A is the only method which gives reliable results. In some cases it is necessary to use method A. These cases are:

- Penetration tests in granular soils where the results are used for the determination of the relative density.
- Determination of firm bottom for point bearing piles where the depth exceeds 25 m.
- Determination of firm bottom for point bearing piles where the resistance of the upper part of the soil profile is high and the resistance increases gradually with depth.
- When the penetration test is used as a control method and reproducible results are required.

In connection with penetration tests according to method A the following additional prints should be considered.

- The true height of fall depends on the upward velocity of the hammer when released from the lifting head. This velocity depends on the general condition of the driving-machine and how the operator handles the accelerator. The height of fall should therefore be controlled, for instance, every morning after the engine has been warmed up or at a change of the operator.
- If the test is interrupted in cohesive soils the sounding rod adheres to the surrounding soil. This increase of the skin friction will affect the measured penetration resistance for the remaining part of the bore hole. Due to this fact all interruptions which exceed 5 minutes should be recorded. A penetration test should therefore, if possible, be performed in its entirety between longer intermissions of the work.
- In order to avoid irregularities in the sounding diagram by intermittent turning of the rod it is recommended in the standard to rotate the rod at least 2 turns/20 cm penetration. However, field tests have shown that the skin friction increases more with increasing depth in cohesive soils after an interruption than in non cohesive soils. This implies that the rotation of 2 turns/20 cm penetration should be changed to 1 turn for every 5 or 10 cm penetration in clays and to 45° before each blow, if the skin friction and the depth of penetration are expected to be large
- In connection with the rotation of the rod it is desirable to measure the torque, M_v , at least every two meters. From the torque it is possible to calculate the number of blows/20 cm penetration, N_{mantel} , which is required to overcome the skin friction resistance from the relationship

$$N_{mantel} = 0.040 M_v$$

where M_v is the torque in Nm (newtonmeter).

considerations which include the recorded torsional moment it has been possible to calculate a "zero-line", see FIG. 3. This "zero-line" corresponds to the number of blows required to overcome the skin friction along the sounding rod.

To get a more continuous rotational effect the rod was rotated in some test series before each blow. Tests were performed both in clay and sand and the angle of rotation before a blow was 0, 20 or 120 degrees.

The results indicate that the effect of rotation is much larger in sand than in clay. It is clear, that the influence of the skin friction increases with increasing depth. Even a rotation of 20°/blow reduces significantly the total penetration resistance. If the skin friction is as much as 70–80 percent of the total resistance the variations in the point resistance is more or less concealed. The field tests mentioned above and the torsion tests on jointed sounding rods indicated that a rotation of 45 degrees per blow at the ground surface is enough to cause a rotation of the whole rod if the maximum length is less than 30 m and the maximum torsional moment is less than 200 Nm.

Shape of the point

According to the earlier Swedish ram-sounding standard, which was adop-

ted by the Swedish Geotechnical Society on April 23, 1964, both circular and square points with a cross-section area of 15–16 cm² and a length of 20 to 200 mm can be used. Field tests indicate, however, that the total length of the point also should be standardized, since the penetration resistance is affected by variations of this length. Test results indicate furthermore that a square point decreases the penetration resistance by 25 to 30 percent in sand and by 15 to 20 percent in clay in comparison with a circular point. In the new standard, adopted on March 8, 1971, a circular 45 mm point with 90 mm length, i.e. twice the diameter, is recommended.

Time-studies

The "effective" driving time excluding necessary intermissions was recorded during some of the penetration tests. The results showed that the driving time was reduced when a free-fall hammer was used. If the rod is rotated some extra time will be required. However, the use of a free-fall hammer and manual rotation is still faster than the traditional ram-sounding method.

Standard

The new improved procedure, where a

free falling hammer and a fixed anvil are used (Method A) and the older, traditional, somewhat modified procedure (Method B) are included in the current standard for the Swedish ram-sounding method, which was adopted by the Swedish Geotechnical Society on March 8, 1971.

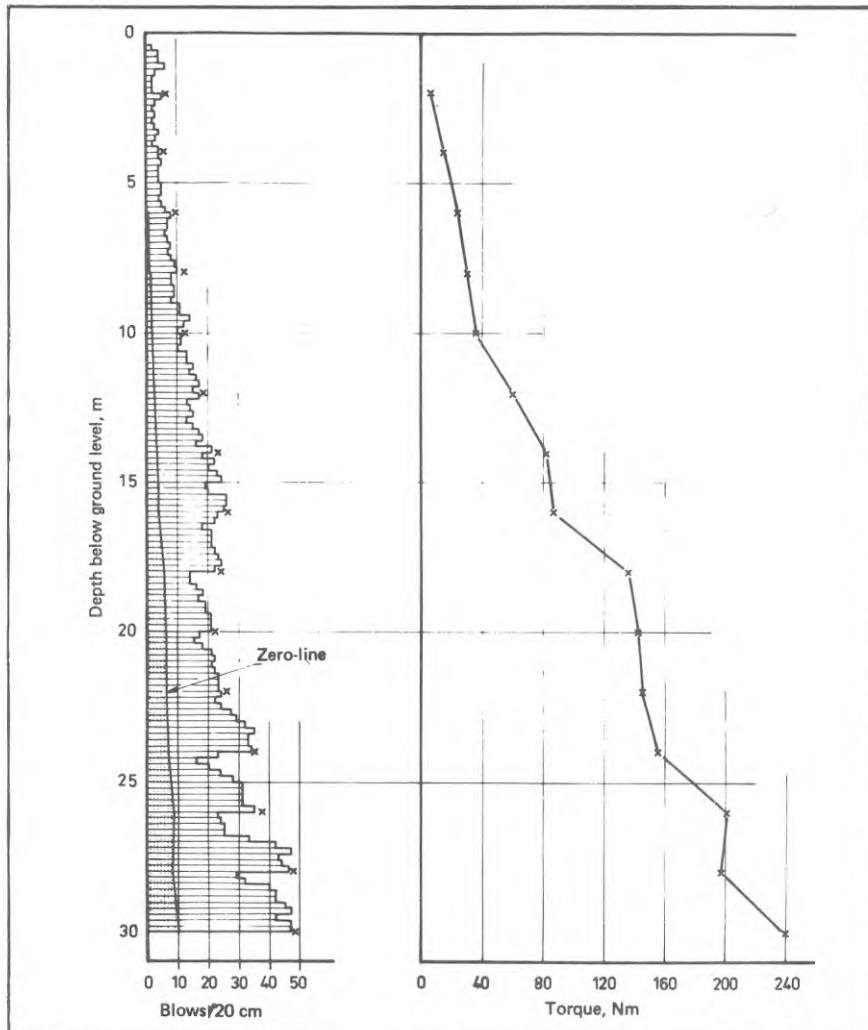


FIG. 3. Example showing the skin friction part of the total penetration resistance calculated by using the measured torque and shown in the diagram as a "zero-line". 60 cm height of free fall and a fixed anvil. Test in sand at Albysjön, November 1967. x, rotation on this level.

Rapport R72:1973

UTVECKLING AV DEN SVENSKA HEJARSONDERINGSMETODEN
Del av verksamheten inom SGF:s sonderingskommitté

DEVELOPMENT OF THE SWEDISH RAM-SOUNDING METHOD
Part of research work in the Committee on Penetration Testing of the Swedish Geotechnical Society

av Ulf Bergdahl & Rune Dahlberg

Denna rapport hänförs till forskningsanslag C 478 från Statens råd för byggnadsforskning till Statens geotekniska institut, Stockholm.

Statens institut för byggnadsforskning, Stockholm
ISBN 91-540-2218-5

FÖRORD

Under en följd av år har Svenska geotekniska föreningens (SGF) sonderingskommitté verkat för bl a en utveckling av hejarsonderingsmetoden. Redan 1964 kunde man med ledning av försöksresultat från bl a Duvåker fastslå att hejarsonderingsmetoden i vissa avseenden behövde förbättras för att kunna uppfylla de kvalitetskrav som man bör ställa på en så allmänt förekommande sonderingsmetod.

Med benäget bistånd från Statens vägverk, Statens geotekniska institut (SGI) och Statens råd för byggnadsforskning har en lång serie försök utförts, varvid olika faktorer som inverkar på sonderingsresultatet har undersökts.

Bergdahl har svarat för avsnitten 2.1-2.3, 3.1-3.3 samt 4.2 och Dahlberg för avsnitten 1.3-1.4, 2.4, 3.4-3.5 samt 4.4. Övriga avsnitt har utarbetats av författarna gemensamt. Dahlberg har dessutom svarat för redigeringsarbetet i samband med rapportens utarbetande.

Som ett resultat av utvecklingsarbetet fastställde SGF den 8 mars 1971 en ny och reviderad hejarsonderingsstandard.

Författarna framför sitt varma tack till överdirektör Bengt Broms och statsgeotekniker Nils Flodin, båda vid SGI, som lämnat värdefulla synpunkter vid genomgång av manuskriptet samt till ledamöterna i SGFs sonderingskommitté vilka aktivt deltagit vid upprättande av program för detta utvecklingsarbete. Anne-Marie Swedenstedt, KTH, har med stor nogrannhet svarat för utskriften av rapporten och Ingrid Danielsson, SGI, har omsorgsfullt renritat samtliga figurer. Författarna framför därför ett särskilt tack till dem för deras värdefulla insats.

Stockholm i mars 1973

Ulf Bergdahl

Rune Dahlberg

INNEHÅLL

INLEDNING	6
BETECKNINGAR OCH DEFINITIONER	8
1 BESKRIVNING AV HEJARSONDERINGSMETODEN	14
1.1 Traditionell hejarsondering	14
1.2 Hejarsondering med fritt fall och fast dyna ...	17
1.3 Beskrivning av Standard Penetration Test (SPT).	21
1.4 Beskrivning av den franska hejarsonden, typ Sermes	24
1.5 Redovisning av hejarsonderingsresultat	29
2 MANTELFRIKTION	31
2.1 Mantelfriktionens betydelse vid hejarsondering.	31
2.2 Försök att mäta mantelfriktionen	32
2.2.1 Försök vid Duvåker, 1967	32
2.2.2 Försök vid Albysjön, 1967	33
2.3 Kontinuerlig vridning av sondstängen	37
2.3.1 Försök vid Albysjön, mars 1968	37
2.3.2 Försök vid Köping, 1968	39
2.4 Bestämning av erforderlig vridning	41
2.4.1 Försök i lera vid Ultuna, april 1969	42
2.4.2 Försök i sand vid Albysjön, maj 1969	46
2.4.3 Torsionsmätning på skarvade hejarsondstänger ..	52
3 SLAGEFFEKT	
3.1 Förberedande försök vid Duvåker, 1964	58
3.1.1 Effekt av ökad hejarvikt	62
3.1.2 Effekt av ökad fallhöjd	62
3.2 NGF:s "Forslag til retningslinjer for geotekniska undersøkelser"	62
3.3 Undersökning med frifallshejare	63
3.3.1 Försök med olika fallhöjder vid Husby, 1966 ...	65
3.3.2 Försök vid Duvåker och Albysjön, 1967	65
3.3.2.1 Jämförelse mellan traditionell hejarsondering och sondering med fritt fallande hejare och fast dyna	67
3.3.2.2 Försök med olika fallhöjder	72
3.4 Stötvågsmätningar	75
3.4.1 Stötvågsteori	75
3.4.2 Utrustning för stötvågsmätning	76
3.4.3 Initialstötvågens form vid hejarsondering	80
3.4.4 Försök med olika fallhöjder	83
3.4.5 Killåsets glidning vid traditionell hejar- sondering	83
3.5 Utprovning av dämpande mellanlägg med stötvågs- mätning	85
3.5.1 Inledande försök med dämpande mellanlägg	88
3.5.2 Fortsatta försök med dämpande mellanlägg vid Albysjön, maj 1969	90
3.5.2.1 Försök med fjädermellanlägg	90
3.5.2.2 Försök med naturgumminellanlägg	100

3.5.3	Egenskaper hos uretangummi	103
3.5.3.1	Försök med uretangummimellanlägg	105
3.5.4	Diskussion av försöksresultat från utprovning av dämpande mellanlägg	111
3.5.5	Sonderingsförsök med dämpande mellanlägg	115
4	SPETSENS UTFORMNING	131
4.1	Kungl. väg- och vattenbyggnadsstyrelsens försök med olika spetsar	131
4.2	Försök vid Duvåker, 1964	134
4.3	Finska försök	135
4.4	Försök vid Ultuna och Albysjön, 1969	136
5	TIDSSTUDIER VID SONDERINGSFÖRSÖK MED FRIFALLS- HEJARE OCH KONTINUERLIG VRIDNING	141
6	STANDARD OCH REKOMMENDATIONER:.....	146
6.1	Presentation av SGF:s nya standard för hejarsondering	146
6.2	Kommentarer till standarden samt rekommenda- tioner	149
7	FÖRSLAG TILL FORTSATTA UNDERSÖKNINGAR	153
	LITTERATUR	155

INLEDNING

Hejarsonden har använts sedan omkring 1940, då kravet på att tränga ner i fastare jordlager än vad viktsonden förmår kom att framstå allt påtagligare. Den vanligen använda utrustningen tillverkas av ingenjörsfirman Borros AB och den betecknas i föreliggande rapport traditionell typ. Den utveckling som skett sedan hejarsonden tillkom har främst ägnats kvalitativa förbättringar av den maskinella utrustningen, medan endast mycket liten utveckling eller forskning rörande metoden förekommit.

SGF:s sonderingskommitté har bl a till uppgift att verka för utveckling och standardisering av sonderingsmetoderna. En första standard för hejarsonderingsmetoden fastställdes den 23 april 1964. Denna standard innebar en reglering av hejarvikt, fallhöjd, stångdimension, sondspetsar samt slagningshastighet för den då använda utrustningen och metoden.

Det stod dock redan då klart att metoden kunde förbättras. Några inledande försök vid Duvåker nära Hedemora 1964 visade bl a att slagningsproceduren inte medgav en konstant fallhöjd. Vidare observerade man att slagdynan, som består av ett killås, ofta glider på stången vid de första slagen efter omsättning.

Undersökningarna rörande hejarsonderingsmetoden inriktades till en början på att studera hur sonderingsmotståndet påverkas av variationer i fallhöjd och hejarvikt. Senare gjordes försök med en fritt fallande hejare (frifallshejare) och fast slagdyna, varvid bl a effekten av killåsets glidning kunde studeras.

Resultaten från dessa undersökningar påvisade behovet av fast dyna i stället för killås samt att hejaren faller fritt och inte bromsas i fallet av medlöpande wirar.

I en andra försöksomgång vid den tidigare nämnda platsen, Duvåker, gjordes försök att mäta mantelfriktionen längs sondstången i syfte att separera spets- och mantelmotstånd. Vid rotationen av sondstången uppkom en så stor reduktion av det totala

neddrivningsmotståndet att en missvisande bild av jordlagerföljden erhöles. På grund av dessa resultat fortsattes undersökningarna med en studie av vridningens inverkan på sonderingsmotståndet.

Användningen av frifallshejare och fast dyna medförde att stötvågskrafterna i hejarsondstängerna blev större än vid traditionell hejarsondering. Härigenom erhöles utmattning i stångmaterialet intill stångskarvarna. Det blev därför nödvändigt att utprova ett dämpande mellanlägg att placera på den fasta dynan och på detta sätt omforma stötvågen.

I nedanstående redogörelse redovisas resultaten från de ovan i korthet omnämnda försöken samt presenteras den nya standarden tillsammans med kompletterande rekommendationer.

Eftersom flertalet undersökningar daterar sig från åren före 1970 ansluter jordartsnomenklaturen till den praxis som då tillämpas. Således används t ex begreppen mjäla och finmo i betydelsen finsilt respektive grovsilt.

BETECKNINGAR OCH DEFINITIONER

W_0	total massa (stänger, slagdyna, spets) som hejaren skall driva ned
m_0	hejarens massa
A_0	sondspetsens tvärsnittsarea
n	antal hejarslag
e	sondens nedträngning per mättingsintervall. Vanligtvis räknas antalet slag n under en viss nedträngning som är lika i varje mättingsintervall (enligt SGF:s standard är $e = 20$ cm)
h'	hejarens effektiva fallhöjd, motsvarande fritt fall
g	jordacceleration
$E_{\text{slag}} = m_0 g h'$	tillförd slagenergi vid ett hejarslag
$K = \frac{0,01 E_{\text{slag}}}{e(1 + \frac{W_0}{m_0}) A_0}$	konstant (gällande för olika värden på W_0 och m_0 vid hejarsondering, typ Sermes)
$R_p = nK$	jordens dynamiska motstånd enligt Sermes' beräkningspraxis
L	sondspetsens djup under markytan
D	sondstångens diameter
M_V	vridmomentets storlek vid vridning av sondstången
$\tau_{\text{medel}} = \frac{2 M_V}{L \pi D^2}$	medelfriktion mellan jord och sondstång vid statisk belastning

$E_{\text{mantel}} = \tau_{\text{medel}} \pi D L e$	mantelfriktionens andel i erforderlig neddrivningsenergi
h	nominell fallhöjd, dvs uppmätt fallhöjd utan hänsyn till eventuella friktionsförluster under hejarens fall
$\alpha = \frac{h'}{h}$	effektivitetsfaktor som motsvarar kvoten mellan "effektiv" fallhöjd h' och nominell fallhöjd h . Vid fritt fall är $\alpha = 1,0$ och $h' = h$
$N_{\text{mantel}} = \frac{E_{\text{mantel}}}{E_{\text{slag}}}$	antal slag som erfordras för att övervinna mantelfriktionen under 20 cm nedträngning
P'	stötstågskraft
P	maximal stötstågskraft
σ	spänning
σ_2	stångspänning
v_0	hejarens anslagshastighet mot slagdynan
v	partikelhastighet
c	ljudets fortplantningshastighet i stål
c_H, c_D, c_{St}	ljudets fortplantningshastighet i hejaren, slagdynan respektive sondstången
A_H, A_D, A_{St}	hejarens, slagdynans respektive sondstångens tvärsnittsarea
E_H, E_D, E_{St}	hejarens, slagdynans respektive sondstångens dynamiska elasticitetsmodul

$Z_H = \frac{A_H E_H}{c_H}$	stötvågsmotstånd (akustisk impedans) i hejaren
$Z_D = \frac{A_D E_D}{c_D}$	stötvågsmotstånd (akustisk impedans) i slagdynan
$Z_{St} = \frac{A_{St} E_{St}}{c_{St}}$	stötvågsmotstånd (akustisk impedans) i sondstängen
$\Delta v = \frac{Z_H}{Z_H + Z_D} v_0$	partikelhastighetsändring i slagdynan vid hejarens sammanstötning med slagdynan
L_H	hejarens längd
T	stötvågens varaktighet för det fall hejaren, slagdynan och sondstängerna har lika tvärsnittsarea. Om hejaren har större tvärsnittsarea än slagdynan respektive sondstängen överlämnas hejarens energi stegvis varvid T är "steglängden"
P_v ($v = 1, 2, 3, 4, \dots$)	stötvågskraftens storlek i steg 1, 2, 3, 4... i "trappstegskurvan" varvid respektive steg har varaktigheten T (se ovan)
$q = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_3}{P_2} = \frac{P_4}{P_3} \dots$	förhållandet mellan kraften i två närliggande trappsteg
L_1	sondstängens längd under mätpunkten vid stötvågsmätning
L_2	stänglängd ovanför slagdynan
D_y	ytterdiameter
A_1, A_2	yta inom stötvåg motsvarande "effektiv" impuls (se FIG. 48)

P_{brott}	dynamiskt spetsmotstånd
α_1, α_2	vinklar mot v-axeln i tillståndsdigrammet
a, b, c...	olika "tillstånd" (kombinationer av kraft och partikelhastighet, motsvarande punkter i tillståndsdigrammet)
r	korrelationskoefficient
d	sondspetsens diameter
l_m	sondspetsens mantellängd
SPT	Standard Penetration Test
J_s	jalusiborr
K_v	kolvprovtagare
K_vStI	standardiserad kolvprovtagare St I
V_i	viktsondering
TrS	trycksondering, typ SGI
Rö	öppet rör för bestämning av grundvattennivå
GW	grundvattennivå
τ_{fu}	odränerad skjuvhållfasthet
S_t	sensitivitet, dvs kvoten mellan en leras odränerade skjuvhållfasthet i ostört tillstånd och samma leras odränerade skjuvhållfasthet i omrört tillstånd.

γ	skrymdensitet
Gr	grus
L	lera
Mj	mjåla
Mn	morån
M	mo
Mf	finmo
S	sand
dy	dyig
gr	grusig
l	lerig
mj	mjålig
m	moig
s	sandig
st	stenig
t	med inslag av torv
vx	med växtdelar
<u>s</u>	sandskikt (och motsvarande vid annat material)
bh	borrhål

- (t) tunna torvskikt (och motsvarande vid annat material)
- v varvig
- () något /lerigt etc/
- (dy)mj_f(t)s något dyig mjällig finmo med sandskikt och tunna torvskikt (exempel på jordartsbenämning enligt SGF:s standard)

1 BESKRIVNING AV HEJARSONDERINGSMETODEN

1.1 Traditionell hejarsondering

Vid traditionell hejarsondering används en trebent hejarbock (se FIG. 1) som i toppen är försedd med en ring genom vilken sondstängerna erhåller styrning. Sondstängerna är massiva med skarvlängden 3 m, diametern 32 mm och vikten 6,3 kg/m. Hejaren som är försedd med ett centriskt hål för sondstängerna, väger 63,5 kg och är upphängd i wirar, vilka löper över en nocktrumma och ned till en drivkälla som är placerad på ett av hejarbockens tre ben. Drivkällan för lyftning utgörs av en bensinmotor. Lyftningen av hejaren regleras med ett manöverhandtag som när det trycks ned ger en lyftning av hejaren. När manöverhandtaget återförs till utgångsläget avbryts lyftningen och hejaren faller. Fallhöjden skall vid traditionell hejarsondering vara 60 cm enligt 1964 års geotekniska standard. Slagdynan består av två kilar och en mantel, nedan kallat killås, som fästs på stängen. Den vid hejarens anslag mot killåset uppkommande stötkraften (slagkraften) överförs efter vissa friktionsförluster (se 3.4.5) i killåset till sondstängerna och vidare till sondspetsen. En av olägenheterna med detta traditionella förfarande är att fallhöjden kan variera inom vida gränser beroende på att maskinskötare är hänvisad till att med enbart ögonmått och ett känsligt handgrepp på manöverhandtaget få rätt fallhöjd slag efter slag. Eftersom lyfthastigheten vid full motoreffekt är relativt stor, så är fallhöjden vanligen större än den föreskrivna. Detta beror delvis på att maskinskötare kopplar ifrån lyftanordningen för sent (naturlig reaktionstid efter det att hejaren har passerat "kritmärket" på stängen utvisande rätt fallhöjd), var till kommer att hejaren efter frikopplingen på grund av tröghetskraften kan lyftas ytterligare 10 å 15 cm innan den vänder och faller. Fallhöjden kan till följd härav bli både 80 och 90 cm. Å andra sidan kan slageffekten reduceras i hög grad och inte ens motsvara fallhöjden 60 cm om maskinskötare "slirar på kopplingen" och därigenom hindrar hejaren att falla "fritt". Ett ovillkorligt krav måste således vara att motorn är helt frikopplad under hejarens fall för att inte slageffekten skall

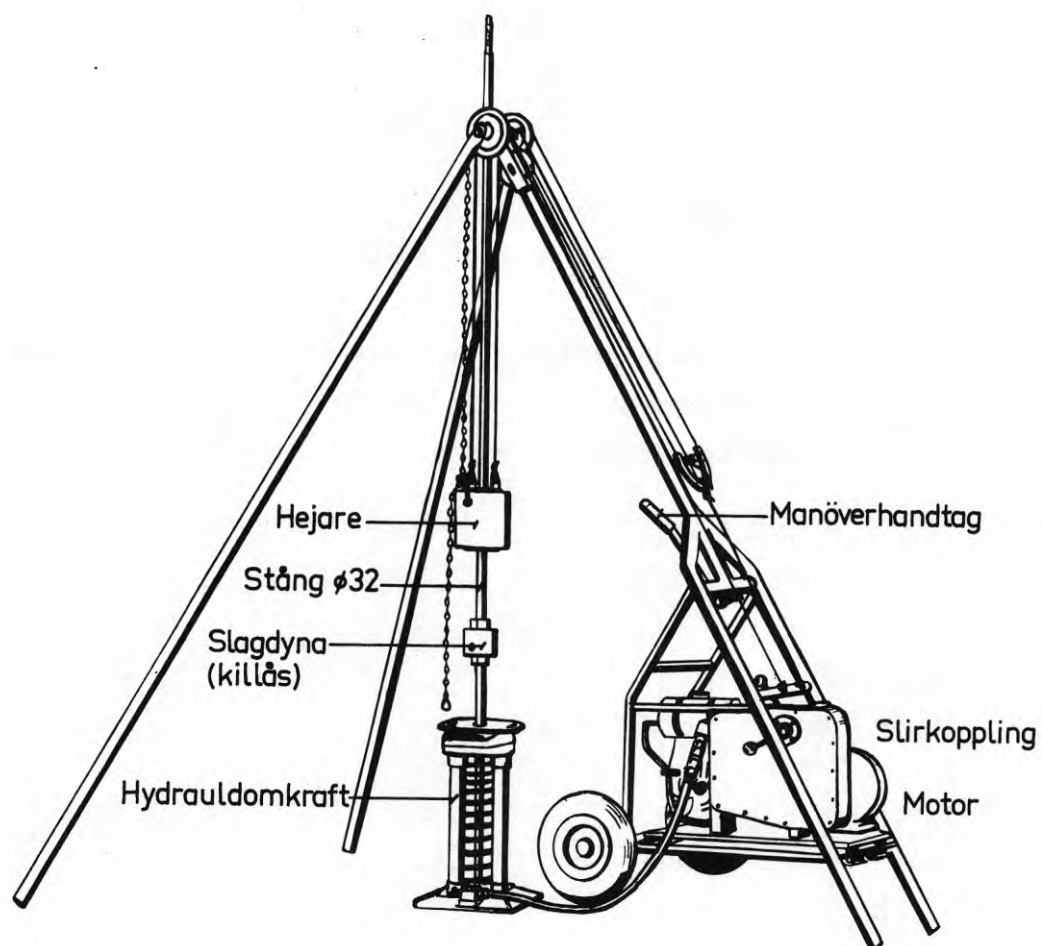


FIG. 1. Hejarbock uppställd för traditionell hejarsondering, typ Borro
Källa: Handboken Bygg, del 1B (1972).

Traditional ram-sounding device with motor tripod.
Source: Handboken Bygg, del 1B (1972).

reduceras mer än nödvändigt. Andra faktorer som kan bidra till att hejaren bromsas i fallet är t ex friktionen mellan de medlöpande wirarna och nocktrumman. Hittills nämnda faktorer har betydelse för storleken av den stötkraft som uppstår när hejaren träffar killåset. Stötkraften är proportionell mot hejarens anslagshastighet. Beträffande slagdynans egenskaper är det önskvärt att den överför slagkraften till sondstängerna på ett så likartat sätt som möjligt slag efter slag, dvs eventuell energiförlust vid kraftöverföringen bör vara konstant från slag till slag. Detta är en egenskap som inte alls uppfylls av killåset, eftersom energiförlusten vid kraftöverföringen beror på den för tillfället rådande friktionen mellan killåset och stängen. Allteftersom slagningen fortgår växer friktionen beroende på att kilarna slås fast allt bättre och efter ett visst antal slag som bl a beror på vilken genomsnittlig fallhöjd som används och på stängens råhet, är friktionsförlusten i stort sett lika vid varje slag. Men eftersom stängerna slås ned i jorden måste killåset efter hand flyttas upp vilket normalt sker efter varje 1 - 1,5 m nedträngning. Flyttningen av killåset blir ofta aktuellt redan innan tillräcklig fastslagning enligt ovan erhållits.

Den till stängerna överförda, efter friktionsförluster resterande, slagkraften fortplantas vidare ned till sondspetsen dock med vissa friktionsförluster längs stängernas mantelyta. För att ytterligare förluster ej skall uppkomma är det viktigt att "glapp" undviks i stängskarvarna. Detta undviks genom noggrannhet vid skarvningen och genom att de i jorden befintliga stängerna roteras ett par varv åtminstone i samband med varje skarvning. Vridningen hindrar även sondspetsen att gå snett. Vidare kan de ljud (eller frånvaron av ljud) som uppstår när en kvadratisk spets roteras underlätta bedömningen av jordarten på spetsnivån.

Beträffande spetsens storlek och form tillåts enligt 1964 års standard kvadratisk och rund spets med tvärsnittsarean 15 - 16 cm² och mantellängden 20 - 200 mm. Till följd härav är antalet förekommande spetstyper stort.

1.2 Hejarsondering med fritt fall och fast dyna

Vid utvecklingen av hejarsonderingsmetoden har målsättningen varit att man efter företagna förbättringar skall kunna hålla slageffekten konstant slag efter slag.

Av betydelse i detta sammanhang är
att fallhöjden hålls konstant
att hejaren faller fritt
att slagdynans dämpande effekt är lika från slag till slag
att sonderaren endast i liten grad kan påverka de faktorer som reglerar slageffekten.

En viktig milstolpe på vägen mot det förbättrade förfarandet utgjorde tillkomsten av den prototyp till frifallshejare, som började utvecklas 1963 av Borros AB i samarbete med Sonderingskommittén och Statens geotekniska institut. Denna prototyp möjliggjorde att försök kunde utföras med fritt fallande hejare och en tillnärmelsevis konstant fallhöjd. Detta har betydelse för värdet av de jämförande hejarsonderingsförsök som har utförts efter år 1963. Under den första tiden användes fortfarande killåset som slagdyna, men 1968 ersattes detta vid försöken av en fast slagdyna. Slagdynan gängas härvid fast direkt på stångtoppen och glider således ej i förhållande till stången. Vissa förändringar av hejaranordningen och slagdynan har senare skett men i princip skiljer sig den nuvarande hejarsonden inte från de prototyper som användes vid försöken.

Det förfarande som år 1971 fastställdes såsom SGF:s standard för hejarsondering och där kallas metod A beskrivs nedan (jfr FIG. 2 och FIG. 3). Slagdynan är fast och gängad direkt på stångändan. Stängerna har en skarvlängd av 1,5 m, men är i övrigt lika dem som används vid traditionell hejarsondering. Ett 4,75 m långt styrrör för hejaren är elastiskt infäst i den fasta dynan. Hejarbocken är densamma som används vid traditionell hejarsondering, dock bör den större av de båda modellerna användas, eftersom den mindre modellen ibland inte medger full fallhöjd vid de första slagen efter stångskarvning.

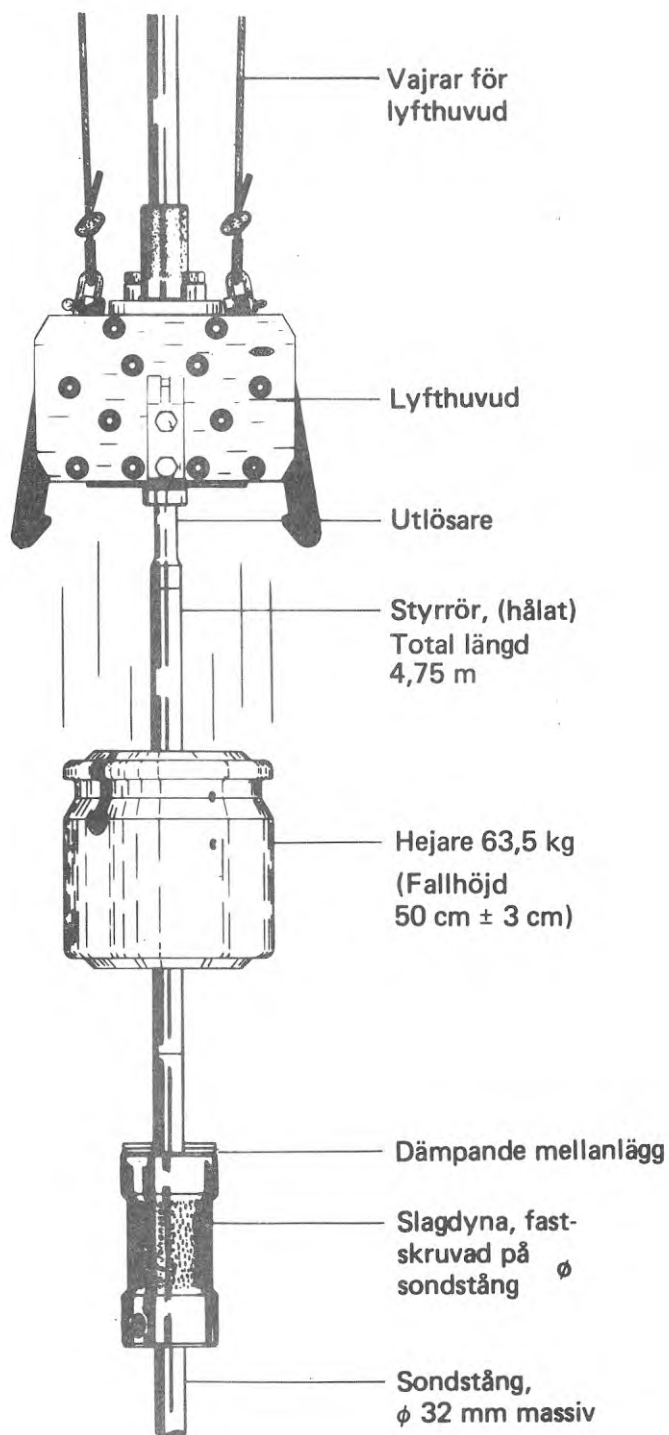


FIG. 2. Frifallshejare och fast slagdyna. Tillsats till hejarbock, typ Borro.

Sketch of the free-fall hammer.

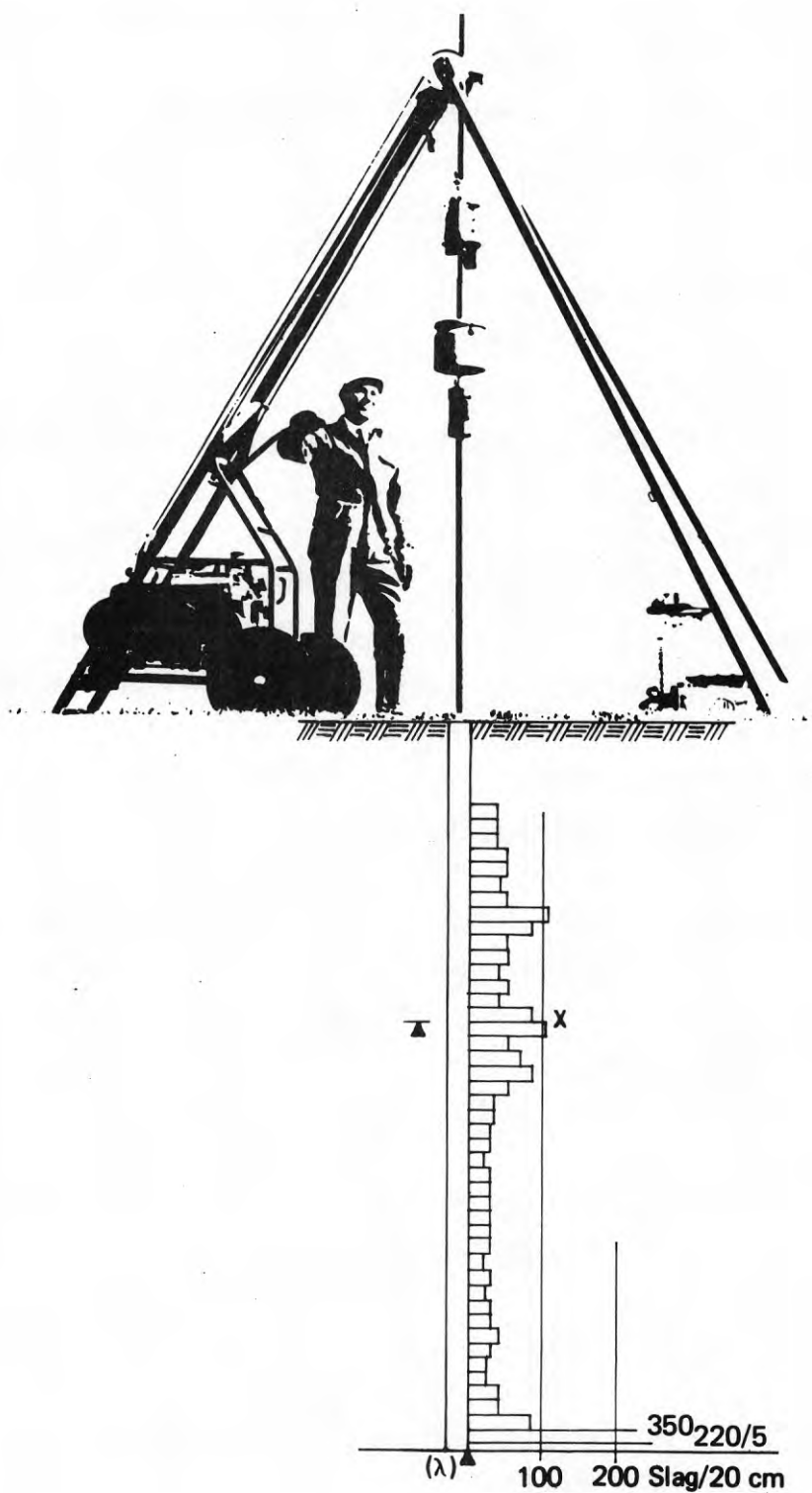


FIG. 3. Hejarbock uppställd för sondering med frifallshejare. Exempel på redovisning av hejarsonderingsresultat enligt SGF:s standard.

Free-fall hammer with motor tripod. Presentation of test result according to SGF standard.

Domkraften för uppdragning av sondstängerna bör lyftas över sondstången efter avslutad sondering och således ej ställas på plats vid sonderingens början, detta för att skarvningsarbetet skall kunna utföras från marknivån utan ställning. Styrröret erhåller styrning genom att det passerar upp genom styrringen i hejarbockens toppunkt. I de båda lyftwirarna hänger ett med gripklor försett lyfthuvud (26 kg), vilket fångar upp hejaren med två gripklor. När drivmotorn genom anslag på manöverhandtaget kopplas in lyfts lyfthuvudet med hejaren. En lokal minskning av styrrörets diameter (utlösare) 0,6 å 0,7 m ovanför den fasta dynan medför att gripklorna släpper hejaren. Hejaren fortsätter därefter ytterligare ca 15 cm uppåt till följd av tröghetskraften innan den vänder och faller i det närmaste friktionsfritt. Det bör påpekas att maskinskötare i viss mån kan påverka hejarens lyfthastighet (och därmed fallhöjden) genom sättet att hantera manöverhandtaget. Denna olägenhet elimineras emellertid nästan helt om drivmotorns lyfteffekt alltid utnyttjas till fullo (dvs utan slirning på kopplingen). I detta fall kommer den tröghetsberoende lyftningen av hejaren att bli lika från slag till slag och fallhöjden således nära konstant (± 3 cm). För att reducera stötkraften som uppstår när lyfthuvudet slår an mot hejaren för att på nytt fånga upp denna har en gummidämpning placerats under lyfthuvudet.

Energiförlusten vid slagning med frifallshejare mot en fast dyna placerad direkt på stångänden är mycket liten i jämförelse med användning av en wireupphängd hejare och ett eftergivligt killås. Detta har möjliggjort en reduktion av fallhöjden från tidigare 60 till 50 cm, varigenom en anpassning skett till den praxis som tillämpas i övriga Europa. För att kunna tillgodogöra sig den positiva effekt, som ligger i en dämpning av slaget (se 3.5), placeras dessutom ett gummimellanlägg bestående av 2 stycken 2 mm tjocka plattor av uretångummi på slagdynan.

Sondspetsen är cirkulär med tvärsnittsarean 15 - 16 cm² (nominellt \emptyset 45 mm), mantellängden 90 mm (två ggr diametern) och

spetsvinkeln 90° (se FIG. 61). Spetsen kan vara helt fast eller endast löst fäst vid sondstängen. Spetsens anslutning till stängen kan göras med eller utan fasningsvinkel enligt figuren. (Samma spetstyp är numera standard även för traditionell hejarsondering).

Som en nyhet ingår i detta förbättrade förfarande även vridning av sondstängen med täta mellanrum (normalt 2 varv per 20 cm nedträngning). Denna vridning reducerar i hög grad det uppmätta sonderingsmotståndet, särskilt på större djup där reduktionen i t ex sand kan uppgå till 70%, till följd av minskat mantelmotstånd (se vidare 2.4.2).

1.3 Beskrivning av Standard Penetration Test (SPT)

Den dynamiska sonderingsmetoden Standard Penetration Test utvecklades ur en provtagare, som redan år 1902 hade börjat användas hos Charles R. Gow Company i USA och metoden kallades då Standard Gow Boring. Provtagaren hade en ytterdiameter av 1" (25,4 mm) och var öppen nedtill. Utstansningen av provet gjordes i botten av ett rensat borrhål med slag från en 110 lb (50 kg) hejare, vilken lyftes och släpptes för hand. Omkring år 1914 började man notera antal slag som erfordrades för att stansa ut provet och angav med ledning därav jorden såsom lös, halvfast eller fast. Drygt tio år senare, när Charles R. Gow Company hade övertagits av Raymond Concrete Pile Company gavs provtagaren de mått som den har idag och vilka framgår av FIG. 4, nämligen ytterdiameteren 2" (50,8 mm) och innerdiameteren $1 \frac{3}{8}$ " (34,9 mm). Samtidigt ändrades hejarens massa från 110 lb till 140 lb (63,5 kg) och infördes den praxis, som innebär att man räknar antalet slag per fot (30,5 cm) sjunkning. Till en början använde man en fallhöjd av 12" (30,5 cm), men denna visade sig vara för liten och omkring år 1930 övergick man till 30" (76,2 cm) varmed Standard Penetration Test i sin nuvarande form började tillämpas.

Under de år som gått sedan år 1930 har lite gjorts för att normalisera och standardisera SPT-metoden. Detta är beklagligt eftersom metoden används i alla världsdelar och den lokala

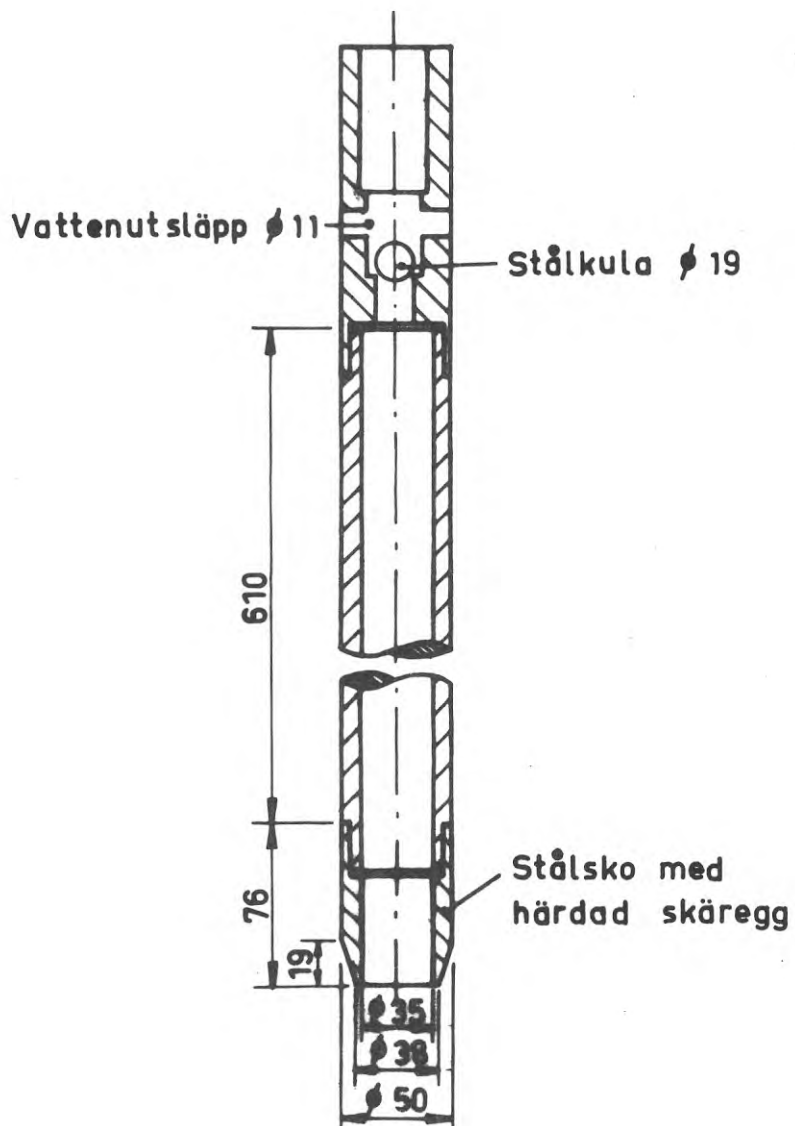


FIG. 4. Längdsektion av provtagare för Standard Penetration Test.

Length-section of the Standard Penetration Test sampler.

praxis som tillämpas kan skilja sig väsentligt från de mycket allmänna riktlinjer som framgår av ASTM (Tentative Method med beteckningen D 1586-63T, utgiven 1958, reviderad 1963). Enligt ASTM förbereds ett SPT-försök genom att man borrar upp ett hål till den nivå, varifrån man önskar utföra försöket. Om hålet inte står öppet, måste foderrör användas. Vanligtvis är foderrörskdelarna förbundna medelst utanpå liggande muffar och har en innerdiameter av $2\frac{1}{2}$ " - 3". Enligt ASTM bör hålets diameter begränsas till intervallet $2\frac{1}{4}$ " - 6". Provtagaren är delad på längden i två rörhalvor, vilka hålls samman av en i nedre änden pågågad, härdad ring, vilken har utformats som en egg, och i övre änden av en hylsring (se FIG. 4). När borrhålet är rensat ned till provtagningsnivån nedförs provtagaren i hålet och placeras försiktigt på borrhålets botten. Som förlängningsstänger rekommenderas därvid s k A-stänger (rör) vilka har en ytterdiameter av $1\frac{5}{8}$ " (41,3 mm) och väger 5,6 kg/m. Kraftigare stänger bör dock väljas om borrhålet är djupare än 50 fot (15 m).

När provtagaren har nedförts till borrhålets botten kan ett sonderingsförsök utföras från denna nivå. Den nedträngning som erhålls på grund av enbart provtagarens och förlängningsstängernas vikt noteras inte, utan försöket börjar vid den nivå, på vilken sonden stannar. Med användning av en 63,5 kg hejare som får falla från 76 cm höjd slås provtagaren ned 15 cm, varefter slagningen fortsätts till dess ytterligare 30 cm sjunkning erhållits eller till dess 100 slag uppnåtts. Antal slag räknas från försökets början, varvid de summeras separat för vardera av de tre 15 cm-skikten. Det material som ligger närmast under borrhålets botten är i regel stört på grund av den åverkan som skett under uppbörning och rensning av borrhålet. Av denna anledning anges såsom neddrivningsmotstånd det antal slag som erfordras för de sista 30 cm nedträngning. Detta slagantal utgör det s k N-värdet (ibland även kallat N_{30} , framförallt i länder där det metriska måttsystemet tillämpas).

På senare tid har behovet av standardisering av SPT-metoden diskuterats livligt. Förespråkarna för en standardisering anser

att den erfarenhet man kan tänkas ha vunnit genom flera års arbete med metoden inte får utgöra något hinder för en standardisering och förbättring av metoden, eftersom de skillnader i utförande och resultat som normalt kan förekomma ger erfarenheterna ett tvivelaktigt värde. Enligt Vargas (Ireland, Moretto & Vargas, 1970) är det nödvändigt att detaljerade föreskrifter utarbetas såväl för håltagning och provtagning som för själva SPT-försöket.

För ytterligare information om SPT-metoden hänvisas till Fletcher (1965) och Ireland, Moretto & Vargas (1970). Det bör framhållas att SPT inte används i Sverige annat än vid enstaka tillfällen och då företrädesvis i forskningssammanhang såsom komplement till andra sonderingsmetoder i jämförande syfte. I Norge används SPT i förstahand av Statens Vegvesen och värdesätts där främst tack vare att man samtidigt erhåller både sonderingsmotstånd och jordprov. Vid översättning av sonderingsmotståndet till packningsgrad används vanligtvis de gränser som redovisas i TAB. 1 (Terzaghi & Peck, 1967).

TAB. 1. Empiriska samband mellan sonderingsmotstånd (SPT) och packningsgrad, Terzaghi & Peck (1967)

Antal slag/30 cm (N)	Packningsgrad
0 - 4	Mycket löst
4 - 10	Löst
10 - 30	Medelfast
30 - 50	Fast
>50	Mycket fast

1.4 Beskrivning av den franska hejarsonden, typ Sermes

Utmärkande för denna hejarsond är att den är tryckluftsdreven, dvs hejaren återförs till sitt övre läge med hjälp av ett oljepneumatiskt lyftsystem där energikällan utgörs av tryckluft från en 5 hk kompressor. Utlösning av hejarslaget sker auto-

matiskt när hejaren har nått fallhöjden 400 mm, vilken enligt uppgift kan hållas med mycket liten felmarginal. Slagtalet hålls konstant vid 52 slag/min.

Hejarens vikt kan anpassas efter sonderingsmotståndet, varvid man har att välja mellan vikterna 30, 60 och 90 kg. En ändring av hejarvikten åstadkoms genom att man "bygger på" 30 kg-vikten med två mantelhalvor, vilka tillsammans väger 30 kg. Ökningen från 60 kg till 90 kg åstadkoms genom att ytterligare två mantelhalvor "hängs på" utanpå de förra och låses. I FIG. 5 visas en skiss av Sermes hejarsond, där hejaren är på väg uppåt. I FIG. 6 visas hejaren på väg nedåt. Det förhållandet att slageffekten (dvs neddrivningseffekten) försämras med djupet kan sålunda kompenseras genom ökning av hejarens vikt. När förhållandet mellan hejarens vikt och den sammanlagda vikten av stänger, spets, slagdyna och styrrör blir mindre än t ex 0,5 ökas hejarvikten.

Registrering görs av antal slag per 10 cm sjunkning. Slagdynan är placerad på toppen av sondstängerna. De ihåliga sondstängerna har en längd av 1000 mm och en ytterdiameter av 40 mm. Stångvikten är 3,75 kg/m och på varje stång finns svarvspår med 10 cm intervall för att underlätta sjunkningsmätningen i fält.

Sondspetsen är rund med diametern 70 mm, dvs förhållandet mellan spetsens och sondstängens diameter är 1,75. Längden av spetsens cylindriska del (mantellängd) är densamma som dess diameter (70 mm). Spetsens nedre del är utformad som en kon med spetsvinkeln 90° . Enligt den av Sermes tillämpade praxisen är spetsen lös och lämnas således i jorden i samband med uppdragningen av stängerna. Genom de ihåliga stängerna kan spolvätska nedföras till spetsnivån, där den pressas ut horisontellt i borrhålet genom hål i spetsens cylindriska del. Spolvätskan används i syfte att reducera mantelfriktionen i t ex plastiska jordar. Normalt antas dock mantelfriktionen kunna försummas till följd av spetsens förmåga att "öppna" sondhålet.

Under sonderingen passerar sondstängerna genom en vid markytan placerad hydraulisk klämma, som automatiskt griper runt stänger-

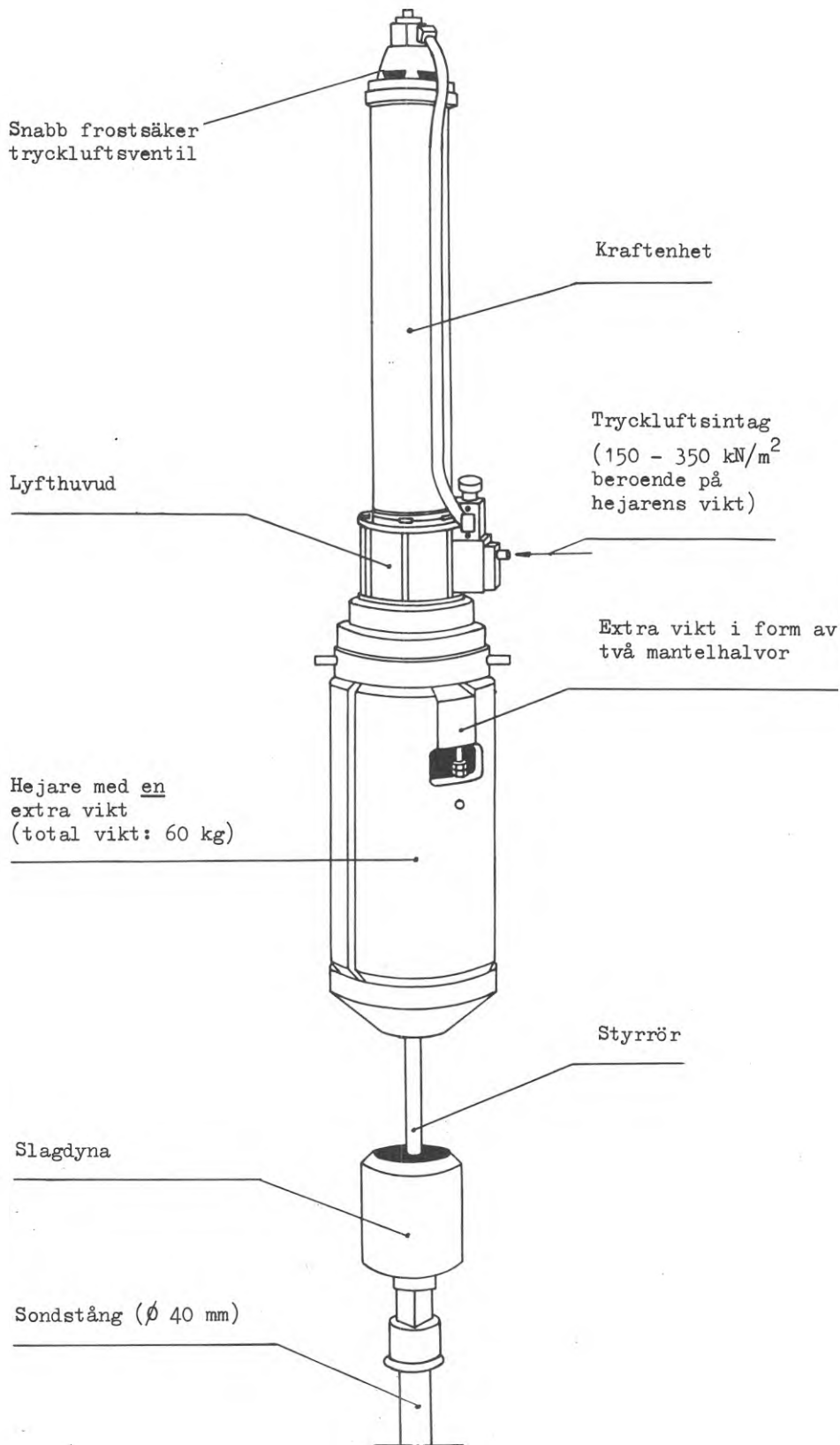


FIG. 5. Skiss av Sermes' tryckluftdrivna hejarsond (hejaren på väg uppåt).

Sketch of Sermes' pneumatic ram-sounding device (the hammer on its way upwards).

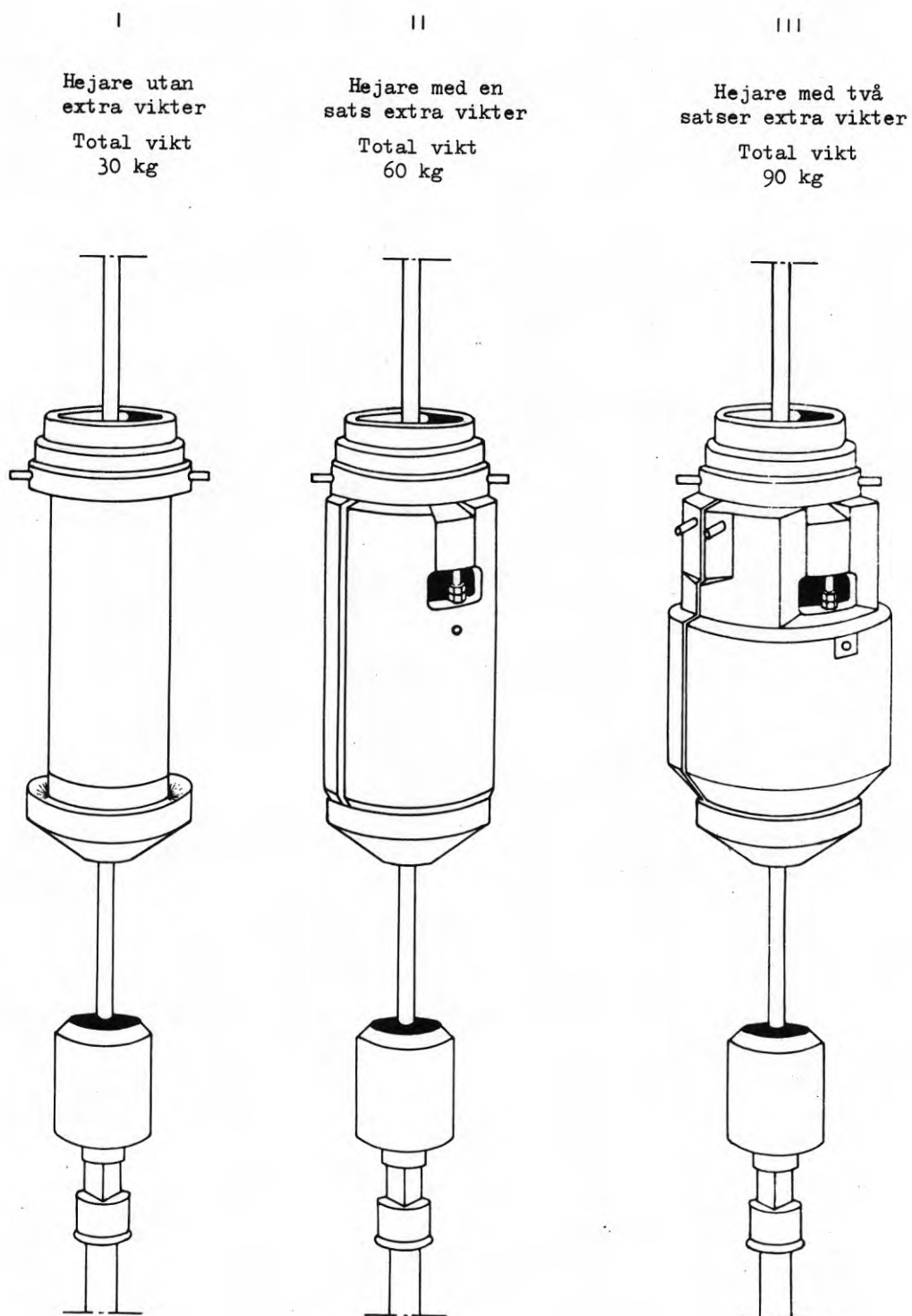


FIG. 6. Hejare typ Sermes utan och med extra vikter (hejaren på väg nedåt).

Hammer, type Sermes, without and with extra weights (the hammer on its way downwards).

na när lufttillförseln till hejaren bryts. Detta underlättar stångskarvning eftersom endast en rörtång behövs. De använda rörtångerna är dessutom av en speciell typ som skadar stängernas yta minimalt.

Den trebenta hejarbocken används enbart för att hänga upp hejaren i under den tid stångskarvning pågår. Den har därför kunnat göras mycket lätt och dess längd uppgår endast till 1,8 m efter isärtagning. Hejarbocken är såsom redan nämnts utrustad med ett oljepneumatiskt lyftsystem. För betjäning av hejarsonden erfordras endast en man, vilken sköter slagningen från ett tangentbord där även antal slag registreras.

För uppdragning används en hydraulisk domkraft, vilken drivs med en bensinmotor. Domkraften som är ihålig lyfts över den sist påskrivade stången och placeras på marken.

Redovisning av resultaten

Vid bearbetning av resultaten utnyttjas en slagformel där man vid härledningen har antagit att den tillförda slagenergin (E_{slag}) är lika med den energi som behövs för att övervinna jordens dynamiska motstånd, R_p , och ge t ex 10 cm nedträngning. Ingen hänsyn tas till eventuell mantelfriktion. Formeln har följande utseende:

$$R_p = 0,01 \frac{n E_{slag}}{e \left(1 + \frac{W_0}{m_0}\right) A_0} \quad (1)$$

där R_p = jordens dynamiska motstånd, MN/m²

e = nedträngning, 10 cm

W_0 = total massa, kg, som hejaren skall driva ned 10cm

m_0 = hejarens massa (30, 60 eller 90 kg)

A_0 = spetsens tvärsnittsarea, 38,4 cm²

n = antal slag per 10 cm nedträngning

$E_{slag} = m_0 g h'$ = slagenergi, Ncm

h' = fallhöjd, 40 cm fritt fall

g = jordaccelerationen, 9.81 m/s² (≈ 10 m/s²)

0,01 = faktor för sortomvandling från N/cm² till MN/m²

Eftersom

$$R_p = n \frac{0,01 m_0 g h'}{e(1 + \frac{W_0}{m_0}) A_0} = nK \quad (2)$$

har K-värdena beräknats för olika värden på W_0 och m_0 , så att man lätt erhåller R_p genom en enkel multiplikation av antalet slag och det aktuella K-värdet. De på detta sätt erhållna värdena på jordens dynamiska motstånd redovisas i logaritmisk skala som funktion av djupet i linjär skala. Härigenom blir redovisningsnoggrannheten störst vid låga värden på R_p , där ju även små variationer ofta spelar stor roll. Vid höga värden på R_p bedöms kravet på exakthet vid redovisningen såsom betydligt lägre, varför den logaritmiska skalan kan vara motiverad.

För ytterligare information om Sermes' hejarsond hänvisas till en av Sermes (1968) utarbetad broschyr, varifrån ovanstående beskrivning har hämtats.

1.5 Redovisning av hejarsonderingsresultat

Under åren fram till 1966 användes här i landet vanligen två system för redovisning av hejarsonderingsresultat. I det mest använda mättes i likhet med vad som görs vid pålning sjunkningen för en serie om ett visst antal slag, vanligen 20. På ritningarna markerades sjunkningen med tvärstreck på borrstapeln - ju tätare tvärstreck desto större sonderingsmotstånd. Med detta system blev det dock svårt att urskilja hur stor sjunkningen egentligen var för de sista slagserierna i ett sondhål, vilka ju är av speciellt intresse för bestämningen av pålstoppnivåer.

Enligt det andra systemet redovisades sjunkningen per slag i en viss skala varvid man i diagrammet fick ett mindre utslag ju fastare jord som genomsonderades. Med detta redovisningssystem fick man ofta en god bild av motståndet vid stoppnivån men ej på högre liggande nivåer. Detta är en nackdel om man sonderar i t ex grovt grus och vill ha en uppfattning om jordens fasthet, eftersom denna i sådan jord ej kan fås med vikt- eller trycksond.

År 1965 presenterade den av Svenska geotekniska föreningen tillsatta Symbol- och beteckningskommittén sitt slutliga förslag till bl a redovisning av sonderingsresultat i sektion. Härvid hade man valt att konsekvent för alla sonderingsmetoder, utom för trycksonderingsmetoden, ange sonderingsmotståndet som en prestation per 20 cm nedträngning hos sonden.

För hejarsondering innebär detta att man skall redovisa antal slag för varje 20 cm sjunkning i en viss skala. Det av SGF fastställda redovisningssystemet som varit i bruk sedan 1966 har även använts i denna rapport. Ur åskådlighetssynpunkt har dock ibland valts andra skalor än vad som anges i SGF:s beteckningsblad. Exemplet i FIG. 3 är hämtat från beteckningsblad 4.

I rapporten redovisas resultaten delvis även som summakurvor, där kurvan anger hur många slag totalt som erfordrats för att sonden skall nå ett visst djup.

2 MANTELFRIKTION

2.1 Mantelfriktionens betydelse vid hejarsondering

Till skillnad från Standard Penetration Test används som tidigare nämnts ej något foderrör eller hål för sonden vid hejarsondering. Till följd härav kommer sonderingsmotståndet att utgöras dels av spetsmotstånd, dels av mantelfriktion längs stång och spets. Detta framgår klart vid sondering till stora djup (över ca 20 m) då sonderingsmotståndet till följd av mantelfriktionen blir förhållandevis stort även i lös jord. I samband med pauser vid sondering i djupa lerlager har man t ex kunnat notera ett ökat sonderingsmotstånd efter rast (sonden har "växt" fast).

Vid upplägningen av sonderingsförsöken i Duvåker 1967 diskuterade man därför möjligheten att genom vridning av stången med samtidig momentmätning kunna få fram den andel av neddrivningsmotståndet som utgör mantelfriktion. Härigenom skulle en riktigare bedömning av jordens fasthet på större djup kunna göras.

Mantelfriktionsandelen i erforderlig neddrivningsenergi kan statistiskt beräknas enligt följande

$$E_{\text{mantel}} = \tau_{\text{medel}} \pi D L e \quad (3)$$

där τ_{medel} = medelfriktion mellan jord och sondstång
vid statisk belastning

D = sondstångens diameter

L = sondspetsens djup under markytan

e = sondens nedträngning under mätningen

Genom mätning av vridmomentet M_v vid vridning av sondstången kan τ_{medel} beräknas enligt

$$\tau_{\text{medel}} = \frac{2 M_v}{L \pi D^2} \quad (4)$$

varvid förutsätts att τ_{medel} ej påverkas av vridningen.

Genom insättning av ekv (4) i ekv (3) fås

$$E_{\text{mantel}} = \frac{2 M_v e}{D} \quad (5)$$

Slagenergin i ett slag fås ur sambandet

$$E_{\text{slag}} = m_0 g \alpha h = m_0 g h' \quad (6)$$

där m_0 = hejarvikt

h = nominell fallhöjd

α = effektivitetsfaktor

g = jordacceleration

h' = effektiv fallhöjd

Ur ekvationerna (5) och (6) erhålls energimässigt det antal slag (N_{mantel}) som erfordras för att övervinna mantelfriktionen

$$N_{\text{mantel}} = \frac{E_{\text{mantel}}}{E_{\text{slag}}} = \frac{2 M_v e}{D m_0 g \alpha h} \quad (7)$$

Genom att på olika djup t ex efter varje två meters nedträngning utföra vridning av stängen med momentmätning kan man med beräkning enligt ovan i sonderingsdiagrammet erhålla en sk nollinje som representerar mantelfriktionen. Eftersom slagningsförloppet är betydligt snabbare än vridningen kan det tänkas att τ_{medel} vid slagning är större än vid vridning speciellt i kohesionära jordar där den dynamiska viskositeten hos den omrörda jorden kommer att spela in. I dessa försök har någon hänsyn härtill ej kunnat tas.

2.2 Försök att mäta mantelfriktionen

2.2.1 Försök vid Duvåker, 1967

Vid hejarsonderingsförsök i Duvåker (se även 3.3.2) provades för första gången systemet med mätning av vridmoment vid stångrotationen. Beträffande jordlagerförhållandena vid Duvåker hänvisas till 3.1. Vid momentmätningen användes som hävstångsarm en ca 1,5 m lång stång som gängades fast på översta skarvtappen till stängerna varefter en dynamometer anbringades i stångens yttre ände. Mätning av momentet utfördes efter varje 2 m nedträngning.

En härledning efter energibetraktelse enligt ovan visar att det antal slag som erfordras för att övervinna mantelfriktionen N_{mante1} (slag/20 cm) på ett visst djup är direkt beroende av vridmomentets (M_V) storlek enligt

$$N_{\text{mante1}} = 0,042 M_V \quad (8)$$

Härvid har förutsatts att effektivitetsfaktorn $\alpha = 0,8$ och att vridmomentet uttrycks i Nm. I FIG. 7 har inritats den för borrhål 10 enligt ovan framräknade nollinjen. Vid vridningen noterade man att vridmomentet var störst vid början av vridningen. Eftersom vridmomentet också varierade under första vridningsvarvet valdes att mäta vridmomentet efter ett varvs vridning, då det blivit nära konstant.

Av FIG. 7 framgår också att sonderingsmotståndet minskar väsentligt efter varje vridning. Minskningen i sonderingsmotståndet tycks göra sig gällande intill ca 0,5 m under vridningsnivån.

Spetsmotståndet på de olika nivåerna antas i diagrammet representeras av avståndet mellan nollinjen och det lägsta totalmotstånd som uppmätts efter vridningen.

Veterligt är detta första gången man noterat en systematisk minskning i sonderingsmotståndet till följd av vridningen och sonderingskommittén fann det därför nödvändigt att vidare undersöka detta förhållande eftersom en dylik reduktion av sonderingsmotståndet felaktigt kan tolkas som lösare skikt i jorden.

2.2.2 Försök vid Albysjön, 1967

I samband med övriga försök vid Albysjön 1967 utfördes också ett sondhål med intermittent vridning av sondstängen varje två meter. I detta fall har använts frifallshejare, fast dyna och 60 cm fallhöjd samt en rund spets, \emptyset 45 mm, med mantellängden 20 mm (spets nr 6 i FIG. 60). Denna spets följde med rotationen vid vridning av stängen.

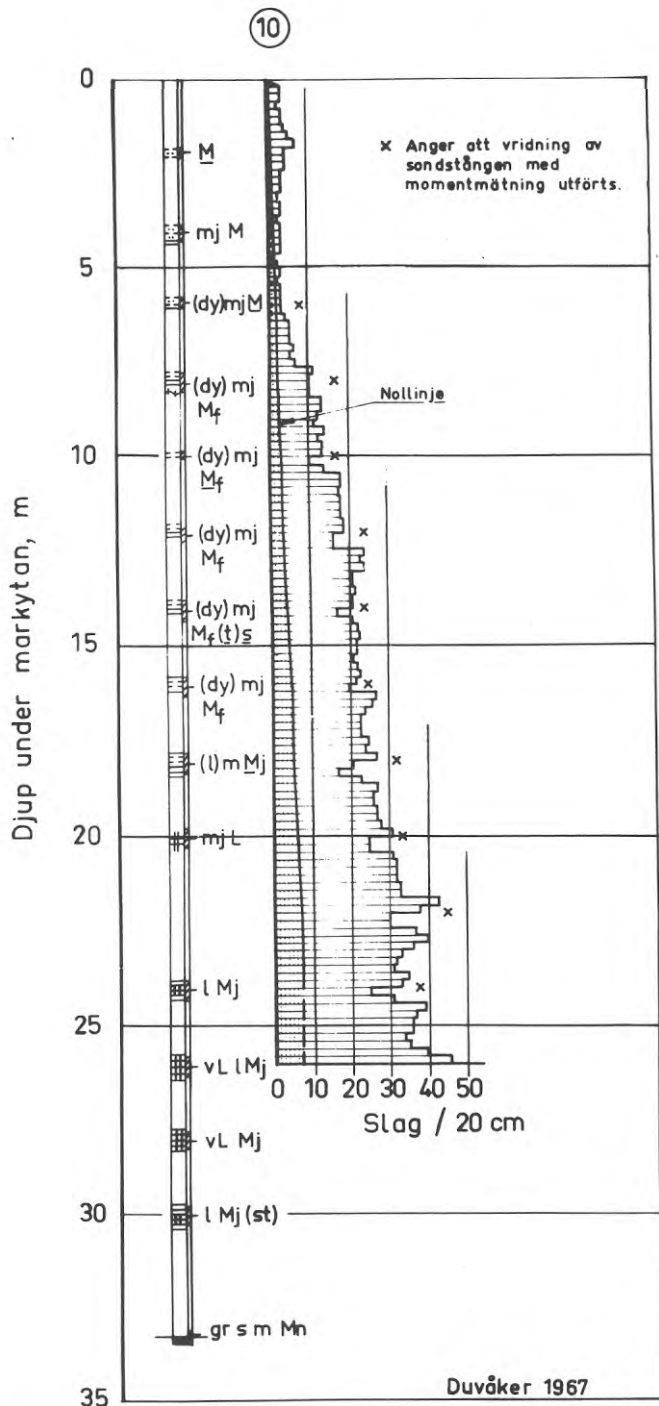


FIG. 7. Exempel visande mantelfriktionens andel av totala sonderingsmotståndet, beräknad ur uppmätta vridmoment och redovisad som "nollinje". Traditionell hejarsondering. Försök i mellanjord vid Duvåker, april 1967.

Example showing the skin friction part of the total penetration resistance calculated by using the measured torque and shown in the diagram as a "zero-line". Traditional type of ram-sounding. Tests in silt at Duvåker, April 1967.

För bestämning av jordlagerföljden vid Albysjön utfördes provtagning med Lindö-borr till 35 m djup. Jorden består av sand som mellan 7 och 10 m djup respektive mellan 25 och 28 m djup är moig och mellan 21 och 25 m djup är grusig med inslag av sten (jfr FIG. 27).

I FIG. 8 redovisas hur sonderingsmotståndet och vridmomentet M_V (Nm) varierade med djupet på den aktuella platsen. Med effektivitetsfaktorn α satt lika med 1,0 (fritt fall) blir uttrycket för mantelfriktionsandelen

$$N_{\text{mantel}} = 0,033 M_V \quad (9)$$

Enligt denna ekvation åtgår ca 1 slag/20 cm vid 8 m djup och ca 8 slag/20 cm vid 30 m djup för att övervinna mantelfriktionen.

Även vid dessa försök erhöles en betydande minskning av sonderingsmotståndet efter vridningen och effekten var märkbar in till ca 1 m under vridningsnivån. Även här ger denna intermittent återkommande reduktion av sonderingsmotståndet en oriktig bild av jordlagerföljden.

Spetsmotståndet räknat från den beräknade nollinjen till de låga sonderingsmotstånden efter vridning visar att jorden även på stort djup är tämligen lös. Detta har senare bekräftats vid trycksondering och pålförsök på platsen.

De ovan redovisade försöksresultaten föranledde kommittén att för en framtida hejarsonderingsstandard föreslå att kontinuerlig vridning av sonden skulle utföras, dvs viss vridning på varje 20 cm-avsnitt. De fortsatta undersökningarna inriktades därför på att få fram hur omfattande denna vridning skulle vara.

Genom sådan mera kontinuerlig rotation av sondstängerna minskar mantelfriktionen betydligt, vilket framgår av t ex FIG. 54 i avsnitt 3.5.4 där ett vridmoment av 92 Nm uppmättes på 30 m djup jämfört med de i ovan relaterade försök uppmätta

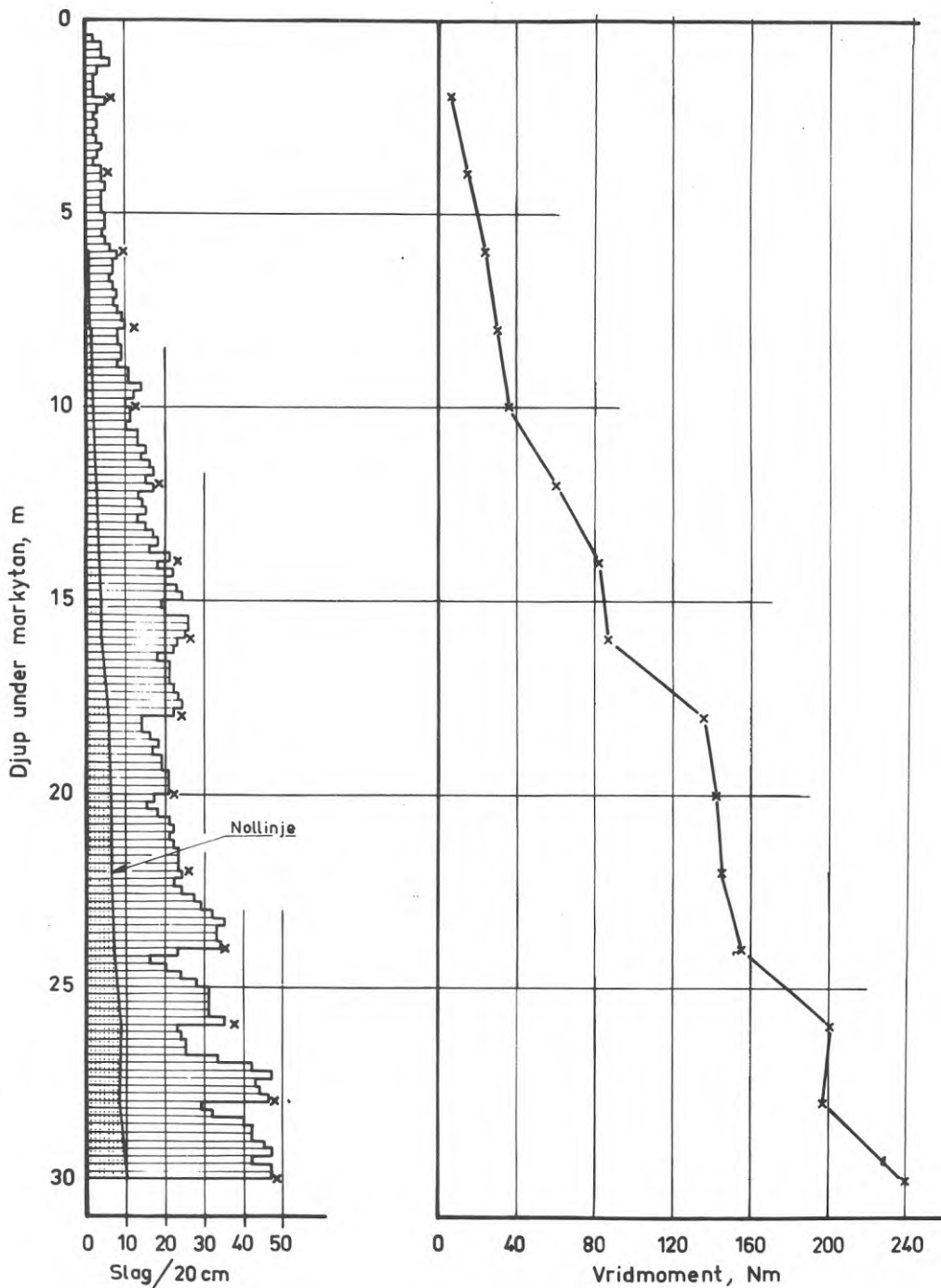


FIG. 8. Exempel visande mantelfriktionens andel av totala sonderingsmotståndet, beräknad ur uppmätta vridmoment och redovisad som "nollinje". 60 cm fritt fall och fast dyna. Försök i sand vid Albysjön, november 1967.

Example showing the skin friction part of the total penetration resistance, calculated by using the measured torque and shown in the diagram as a "zero-line". 60 cm height of free fall and a fixed anvil. Test in sand at Albysjön, November 1967.

240 Nm på samma djup. Jämförelsen av vridmoment påverkas emellertid även av det förhållandet att spetsen i fallet med kontinuerlig vridning var längre än i det andra fallet. En lång spets öppnar sondhålet mera effektivt än en kort, varigenom mantelfriktionen minskas (se vidare 4.4). Trots vridningen åtgår en viss del av tillförd slagenergi för att övervinna mantelfriktionen. De i FIG. 54 redovisade försöken har utförts med frifallshejare och 50 cm fallhöjd ($\alpha = 1,0$), vilket ger följande formel för beräkning av mantelfriktionsandelen

$$N_{\text{mantel}} = 0,040 M_v \quad (10)$$

I figuren har motsvarande nollinje lagts in. Mantelfriktionsandelen har där befunnits utgöra ca 2 slag/20 cm vid 15 m djup och ca 4 slag/20 cm vid 30 m djup.

2.3 Kontinuerlig vridning av sondstången

2.3.1 Försök vid Albysjön 1968

Sedan det visat sig att den intermittenta glest förekommande vridningen ofta ger en felaktig bild av jordlagerföljden, eftersom sonderingsmotståndet minskar väsentligt omedelbart efter utförd vridning, inriktades försöksverksamheten på att klarlägga effekten av en kontinuerlig vridning av sondstången. Med kontinuerlig vridning avses i detta fall viss vridning på varje avsnitt om 20 cm.

I mars 1968 utfördes en försöksserie vid Albysjön där ju redan tidigare ett antal försök hade utförts. Slagningen utfördes vid detta tillfälle med en automatisk hydraulisk hejarbock som hade konstruerats vid SGI. Även denna apparat arbetar med en fritt fallande hejare och fallhöjden var vid dessa försök 60 cm.

Resultatet visas i form av vanliga hejarsonderingsdiagram och som summakurvor i FIG. 9. Vid detta undersökningstillfälle utfördes ett hål (nr 13) utan vridning och ett hål (nr 14) med två varvs vridning varje 20 cm. Vid båda hålen användes de korta lösa rundspetsarna (nr 6 i FIG. 60) som tidigare provats. Dessutom utfördes ett borrhål (nr 15) med en vriden spets (nr 1 i FIG. 60), som hade konstruerats speciellt för detta

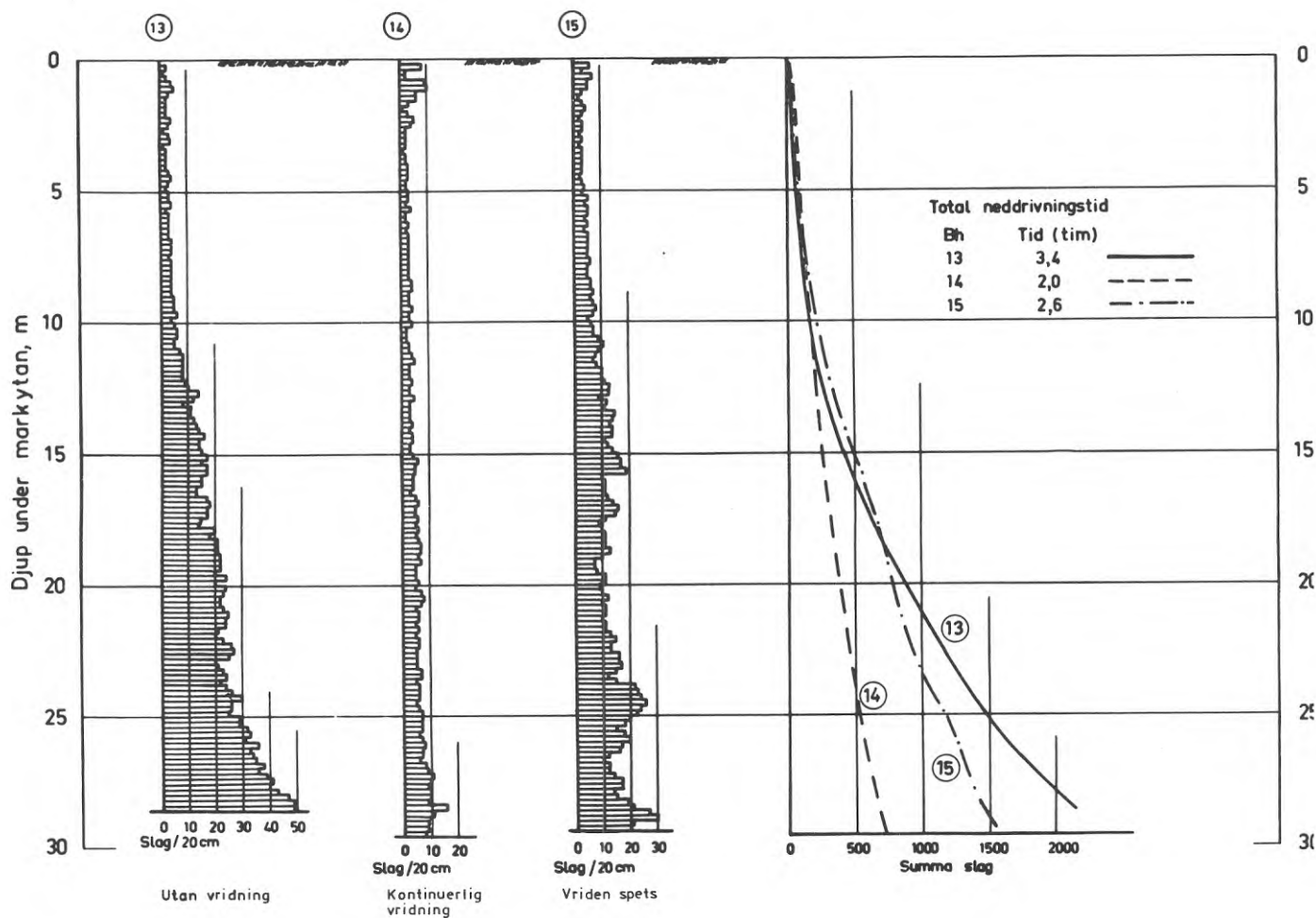


FIG. 9. Jämförelse mellan sonderingsresultat erhållna utan stångvridning, med kontinuerlig vridning (2 varv per 20 cm nedträngning) samt med vridning åstadkommen med hjälp av vriden spets. 60 cm fritt fall och fast dyna. Försök i sand vid Albysjön, mars 1968.

Comparison between test results obtained without rotation of the rod, at a rotation of 2 turns per 20 cm penetration and a rotation induced by a screw point. 60 cm height of free fall and a fixed anvil. Tests in sand at Albysjön, March 1968.

tillfälle. Avsikten var att undersöka om man med en vriden spets "automatiskt" skulle kunna erhålla en kontinuerlig vridning av sondstången vid slagningen.

Resultatet visar, att man med en kontinuerlig vridning erhåller en avsevärd reduktion av sonderingsmotståndet speciellt på större djup. Vid t ex 15 m djup var sonderingsmotståndet 15 - 17 slag/20 cm i borrhål 13 och endast 3 - 4 slag/20 cm i borrhål 14 där vridning skett. Vid 29 m djup där sonderingen avbrutits var de motsvarande värdena 49 slag/20 cm och 9 - 11 slag/20 cm. Totalt erfordrades utan vridning 2120 slag för att nå 29 m djup och endast 670 slag vid sondering med vridning, dvs endast ca 30% av antal slag utan vridning.

Försöken med den vridna spetsen visade, att man erhöll en viss vridning av stången, men endast i början av varje slag. Rotationen var dock tillräcklig för att ge en viss reduktion av mantelfriktionen. Tyvärr var nog spetsen för stor och lång varför man sannolikt erhöll en relativt stor mantelfriktion på själva spetsen. Vid sondering med den vridna spetsen har man också fått stora variationer i sonderingsmotståndet som troligen ej härrör från fasthetsvariationer i jorden. På grund härav beslöt man att ej utföra vidare försök med den vridna spetsen.

Som helhet betraktat gav försöket med kontinuerlig vridning en riktigare bild av variationerna i jordens fasthet än det traditionella förfarandet, där knappast någon vridning utfördes. Man har på denna plats, som ovan nämnts, relativt löst material även på 20 ä 30 m djup.

2.3.2 Försök vid Köping, 1968

I samband med ett omfattande pålningsarbete för en ny silo i Köping, där IVA:s Pålkommision medverkade vid provbelastning av pålar, utfördes också ett par hål med hejarsondering, där effekten av kontinuerlig vridning av sondstången kunde studeras (se FIG. 10). Försöket utfördes med frifallshejare och 60 cm

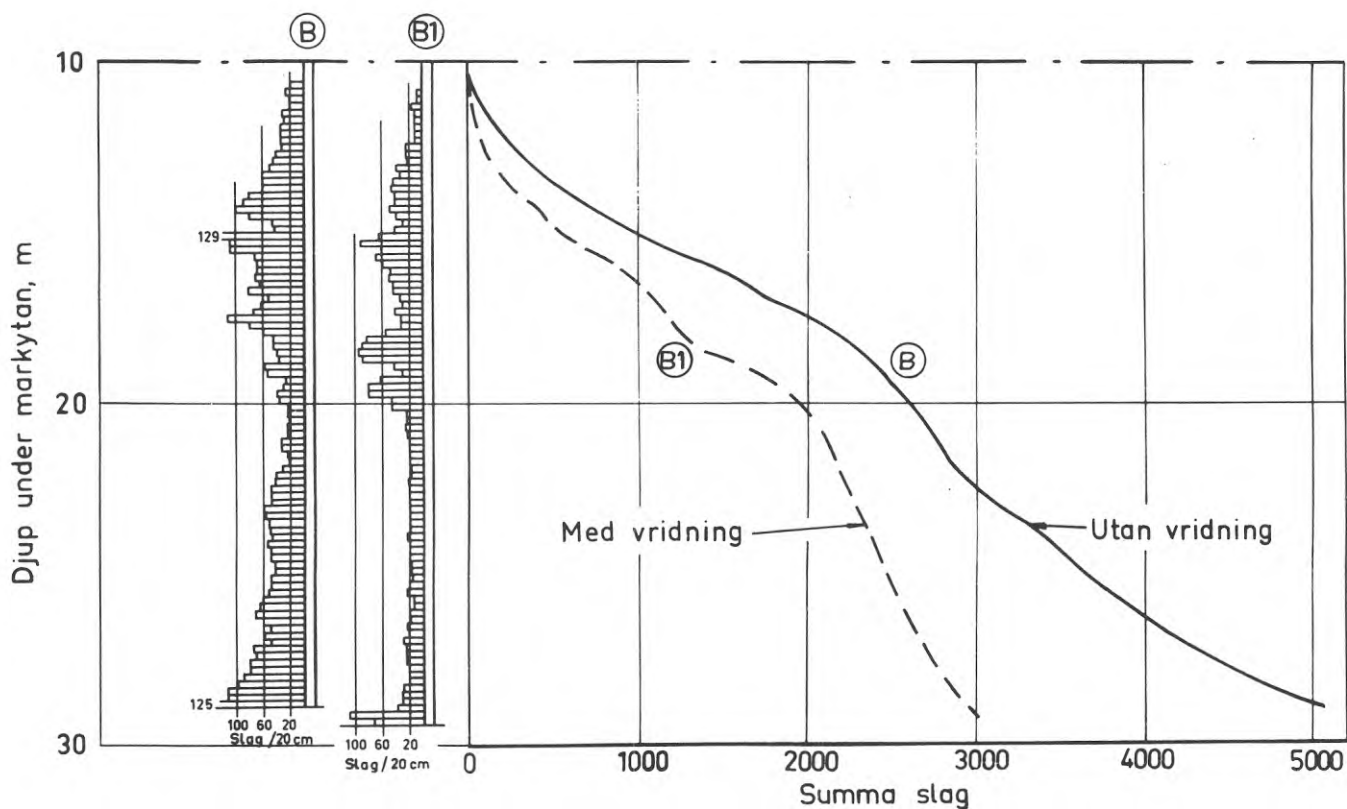


FIG. 10. Tillämpningsexempel visande vridningens inverkan på sonderingsmotståndet vid 60 cm fritt fall och fast dyna. Försök i jord bestående av mo och sand samt mellan 15 och 20 m djup morän. Undersökning för silo i Köping, 1968.

Effect of rod-turning on the penetration resistance at 60 cm height of free fall and a fixed anvil. Tests in a silty and sandy soil containing a layer of moraine between 15 and 20 m depth below ground surface. Investigation for a silo at Köping, 1968.

fallhöjd. Det ena hålet (B) utfördes med vridning enbart i samband med skarvning och det andra (B1) med vridning två varv per 20 cm sjunkning.

Jorden består på denna plats överst av ett ca 10 m mäktigt lager av lös lera underlagrat av sedimentära mo- och sandlager av totalt ca 5 m mäktighet. Därunder återfinns ett ca 5 m mäktigt lager bestående av ett fast lagrat moränmaterial, vilket underlagras av sedimentära sandlager av totalt ca 9 m mäktighet på morän eller berg.

I FIG. 10 redovisas endast sonderingsresultatet i friktionsmaterialiet under leran. Av resultatet framgår att det åtgår ca 65% fler slag att nå ned till 29 m djup med hejarsondering utan vridning jämfört med förfarandet med vridning. Man har således i detta fall sparat ett stort slagningsarbete. Men detta är ändå inte det viktigaste. Man erhåller nämligen med vridningsförfarandet en sannare bild av jordens fasthetsvariationer än med förfarandet utan vridning. Man ser att de undre sedimentära sandlagren mellan 20 och 29 m djup är förhållandevis löst samt jämnt lagrade.

Vid påslagningsarbetet framkom att flertalet pålar trängde igenom det övre skiktet med moränmaterial och ned genom underliggande sedimentära sandlagren samt slutligen stoppade på ca 29 m djup. Vissa pålar har dock stannat i det övre moränlagret, men ingen påle stannade i det mellanliggande undre sedimentära sandlagret. Detta förhållande kunde ha förutsagts med ledning av sonderingsdiagrammet från hål B1, men ej vid sondering enligt hål B, där man i det undre sedimentära sandlagret erhållit ett större sonderingsmotstånd som dessutom ökar gradvis med djupet. Någon mätning av vridmomentet på sondstängens utfördes ej i detta fall. En sådan mätning hade än tydligare visat beskaffenheten av de undre sandlagren.

2.4 Bestämning av erforderlig vridning

Med ledning av erfarenheter från ovan relaterade undersökningar

beträffande effekten av sondstångens vridning på sonderingsmotståndet inriktades de fortsatta undersökningarna på att utveckla en procedur där en mera kontinuerlig vridningseffekt erhålls. Härför erfordras att sondstången vrids så ofta att någon nämnvärd ökning av mantelmotståndet inte inträffar mellan vridningstillfällena. Gränset i detta avseende inträffar vid vridning före varje slag, varvid mantelmotståndet reduceras till ett minimum och eventuella variationer i sonderingsmotståndet huvudsakligen torde bero på olikheter i spetsmotståndet. Avsikten var att vridningen vid den senare praktiska tillämpningen av metoden skulle ske på mekanisk väg. En mekanisk anordning för vridning av sondstången bedömdes vara enklare och billigare i tillverkning ju mindre den erforderliga vridningsvinkeln per vridningstillfälle är. Därför gjordes en serie sonderingsförsök där vridningsvinkeln före varje slag varierades från hål till hål. Försök utfördes både i lera och i sand, varvid vridningen av sondstången utfördes manuellt.

2.4.1 Försök i lera vid Ultuna, april 1969

En serie hejarsonderingsförsök utfördes i lera vid Ultuna där sondstången vreds före varje slag. Den vid sonderingsförsöken använda vridningsvinkeln var 0° (ingen vridning), ca 20° , ca 60° och ca 120° respektive. Sondspetsen var rund, \emptyset 45 mm, med mantellängden 50 mm (nr 4 i FIG. 60) utom i hål nr 5 där fyrkantspets, ϕ 40 mm, med 160 mm mantellängd (nr 2 i FIG. 60) användes (jfr undersökningsplanen FIG. 11). Med den runda spetsen utfördes vid denna försöksplats även ett sondhål med traditionellt förfarande, dvs med mantel och kilar och wireupphängd hejare samt ett sondhål med fast dyna och gummi-mellanlägg (6 mm tjocklek). Dessa senare försök kommenteras i avsnitt 3.5.5.

Jordlagerförhållandena vid försöksplatsen i Ultuna har beskrivits av Kallstenius (1963). Enligt denna beskrivning är leran organisk i de övre jordlagren (till ca 8 m djup). På 19 m finns ett sandskikt, vilket markerar övergången från postglacial till glacial lera. Skjuvhållfastheten enligt fältvingborr växer från

ca 21 kN/m^2 ($2,1 \text{ Mp/m}^2$) på 5 m djup till ca 32 kN/m^2 ($3,2 \text{ Mp/m}^2$) på 17,5 m djup. Sensitiviteten mätt med fältvingborr växer samtidigt från 6 till 11,8. På 20 m djup är leran moig. Provtagningen, vilken utfördes med standardkolvborr, har ej utförts djupare än 20 m.

I FIG. 12 visas det sammanlagda antalet slag som funktion av djupet under markytan (summakurvor) för respektive försök vid Ultuna i april 1969. I den organiska leran, dvs till ca 8 m djup, erhöles mycket lågt sonderingsmotstånd. Vid uppgörandet av summakurvorna har sonderingsmotståndet i denna del därför försumrats.

Som framgår av FIG. 12 sammanfaller kurvorna för hål 2 och 9 där ingen vridning utfördes i det närmaste helt, vilket tyder på mycket homogena jordförhållanden och likartad slagning. Redan vid så liten vridningsvinkel som 20° före varje slag (betecknas $20^\circ/\text{slag}$) erhöles en avsevärd reduktion av sonderingsmotståndet. För att nå t ex 35 m djup erfordrades vid denna vridning endast 1166 slag jämfört med 1671 slag om ingen vridning utfördes, således en minskning med 30%. Vid användning av samma runda spets och vridningsvinkeln $120^\circ/\text{slag}$ erfordrades 954 slag för att nå 35 m djup, vilket motsvarar en minskning med 43%. När denna större vridningsvinkel användes tillsammans med lång fyrkantspets reducerades sonderingsmotståndet ytterligare. Det sammanlagda antalet slag för att nå 35 m djup uppgick i detta fallet till 767 slag. Fyrkantspetsen var av den typ som följer med stängen vid dess rotation, varvid omrörningen i leran blir stor. Även om spetsen ej medföljer vid stängens rotation ger en kvadratisk spets mindre sonderingsmotstånd än en rund vid lika mantellängd hos spetsarna (se kap. 4). Det är därför olämpligt att inom en undersökningsplats använda både rund och kvadratisk spets i synnerhet om den kvadratiske medföljer vid stängens rotation.

FIG. 13 visar sonderingsdiagrammen avseende hål 2 (ingen vridning), hål 7 ($20^\circ/\text{slag}$), hål 4 ($60^\circ/\text{slag}$) och hål 3 ($120^\circ/\text{slag}$). Beträffande försöket med 60° vridningsvinkel per slag (hål 4)

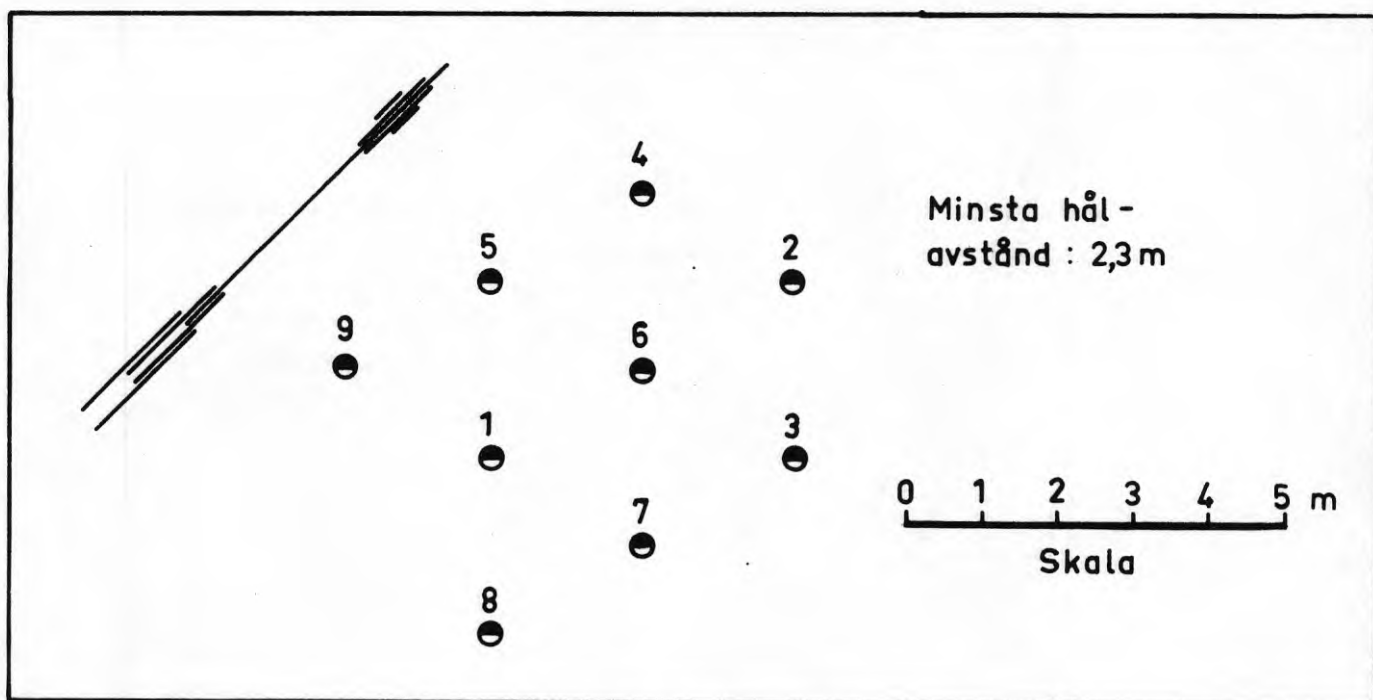


FIG. 11. Undersökningsplan. (Beteckningar se FIG. 12.) Försök i lera vid Ultuna, april 1969.

Plan of test area. (Legend in FIG. 12.) Tests in clay at Ultuna, April 1969.

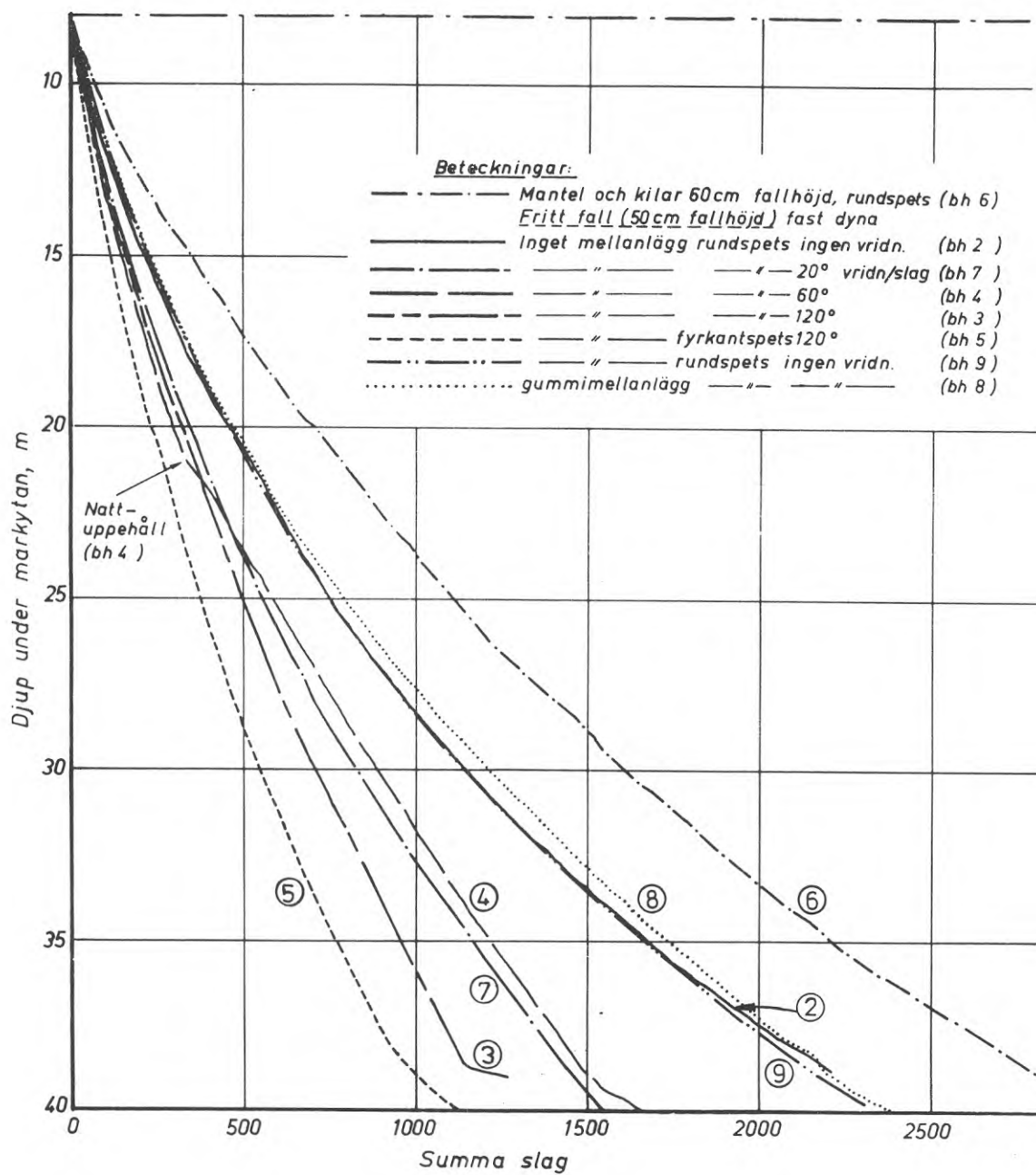


FIG. 12. Summakurvor. Försök i lera vid Ultuna, april 1969.

Accumulated penetration resistance as a function of depth. Tests in clay at Ultuna, April 1969.

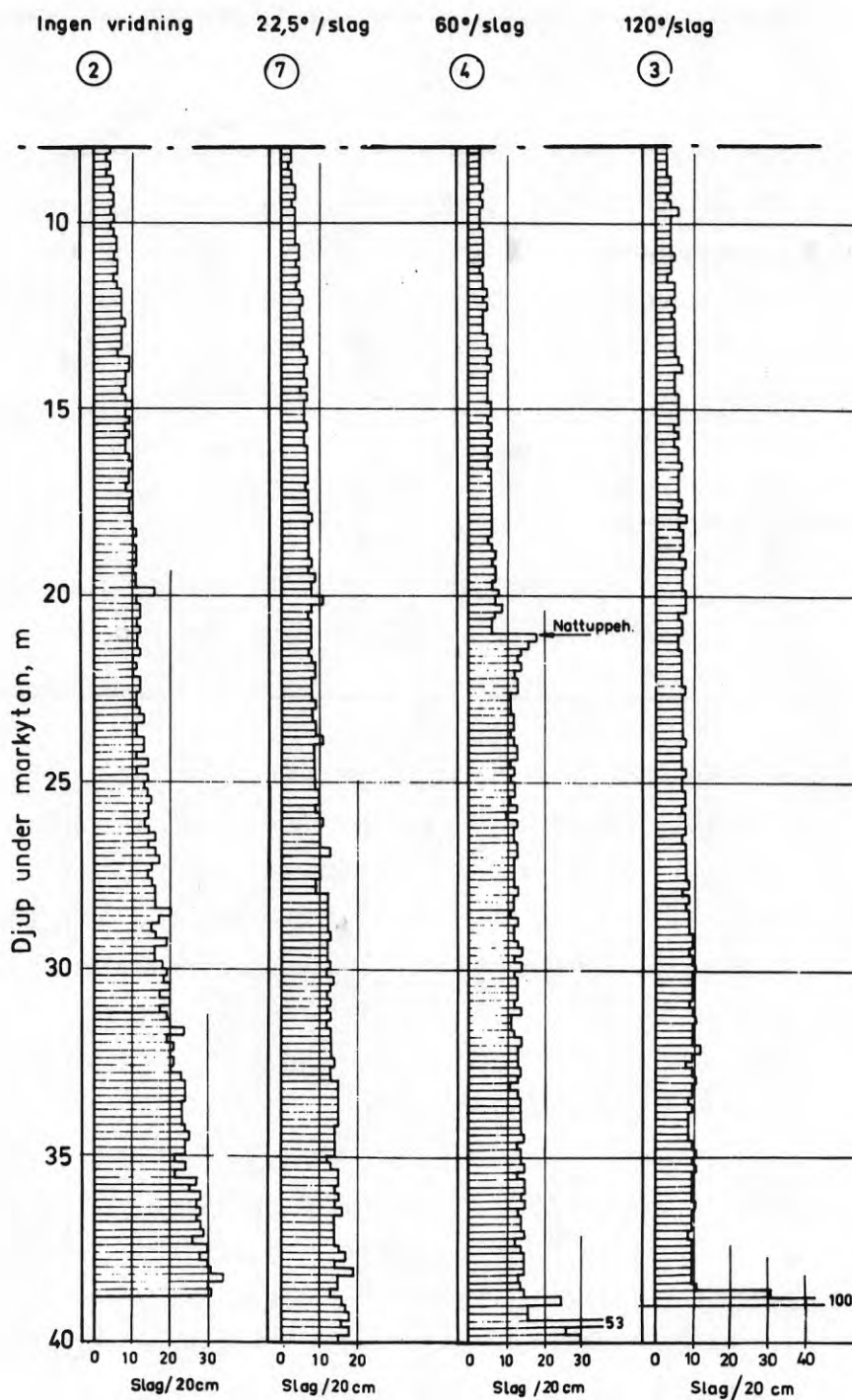


FIG. 13. Effekt av vridningsvinkelns storlek vid vridning av sondstången före varje slag. 50 cm fritt fall och fast dyna, rund spets (\emptyset 45 mm) med 50 mm mantellängd. Försök i lera vid Ultuna, april 1969.

Effect of change of the amount of rotation per blow of the rod. 50 cm height of free fall and a fixed anvil, cylindrical point (\emptyset 45 mm) of 50 mm length. Tests in clay at Ultuna, April 1969.

gjordes ett avbrott i sonderingen över en natt vid 21 m djup. När sonderingen återupptogs följande morgon hade sondstången "växt fast" så mycket i jorden, att sonderingsmotståndet för den närmast följande metern var nära dubbelt så stort som det skulle varit utan uppehåll i sonderingen. Ökningen av sonderingsmotståndet var som framgår av FIG. 13 märkbar genom hela återstoden av sonderingshålet. Även vid dessa försök erhöles med vridning ett något jämnare sonderingsdiagram, som sannolikt bättre överensstämmer med jordlagerföljden.

2.4.2 Försök i sand vid Albysjön, maj 1969

Betydelsen av sondstångens vridning undersöktes även i sand vid Albysjön i Fittja ca 15 km söder om Stockholm. Beträffande jordlagerförhållandena vid Albysjön se 2.2.2 och FIG. 27.

Försöken med olika vridningsvinkel i lera visade, att den relativt sett största effekten på sonderingsmotståndet av stångvridning inträffade om sondstången överhuvudtaget vreds (20° /slag) jämfört med sondering utan vridning. Den ytterligare minskning i sonderingsmotstånd som erhöles vid ökning av vridningsvinkeln från 20° /slag till 60° /slag eller 120° /slag var förhållandevis liten. Med anledning härav uteslöts vridningen 60° /slag vid Albysjön i maj 1969.

Vid detta tillfälle utfördes två försöksserier med vridning där vridningsvinkeln uppgick till 0° /slag, 20° /slag och 120° /slag respektive (jfr undersökningsplanen i FIG. 14). I den ena serien användes den korta runda spetsen (nr 6 i FIG. 60) och i den andra den långa fyrkantiga (nr 2 i FIG. 60). Dessutom gjordes med den runda spetsen en sondering (bh 1) enligt det äldre, traditionella förfarandet och två försök med dämpande mellanlägg på den fasta slagdynan (bh 8 resp. bh 10). Dessa senare försök redovisas och diskuteras i avsnitt 3.5.5 (se FIG. 49).

Vid sondering utan vridning, speciellt i friktionsjord, kan sondstången mer eller mindre "spännas in" i jorden, varigenom

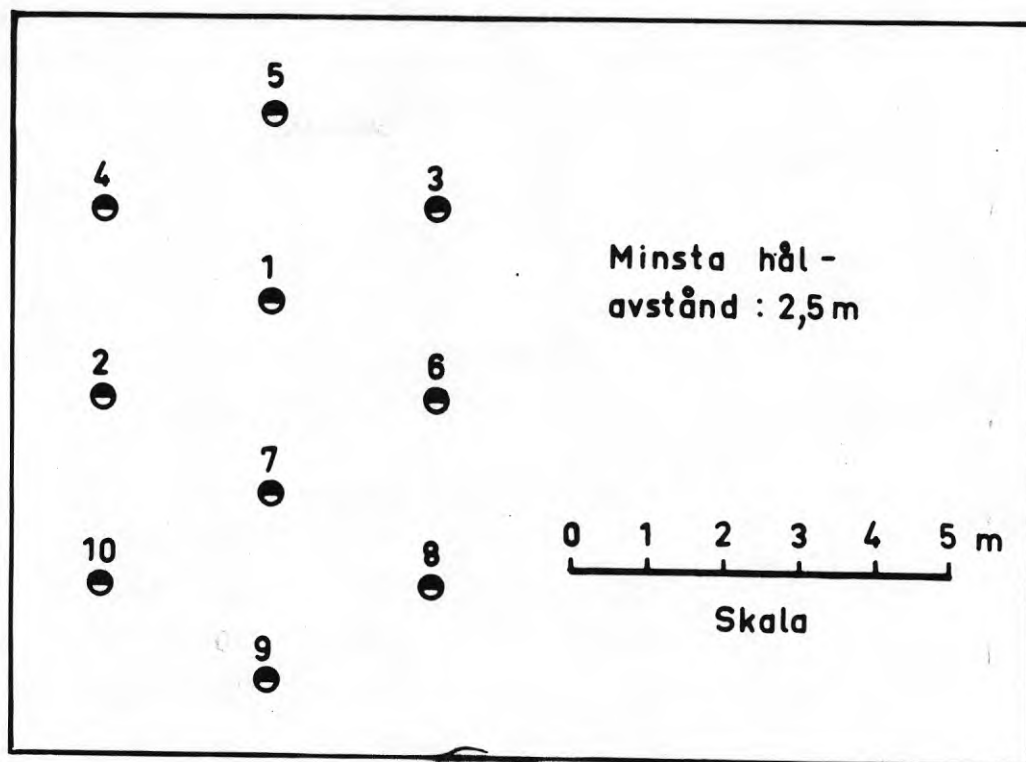


FIG. 14. Undersökningsplan. (Beteckningar se FIG. 15.) Försök i sand avid Albysjön, maj 1969.

Plan of test area. (Legend in FIG. 15.) Tests in sand at Albysjön, May 1969.

stora horisontaltryck (och därmed stort mantelmotstånd) kan uppstå på vissa nivåer. När sondstången vrids ofta förhindras uppkomsten av en sådan inspänning, varigenom vridningen direkt medverkar till att totalmotståndet reduceras.

Av summakurvorna i FIG. 15 avseende försök med respektive utan vridning framgår, att vridningen har större betydelse vid sondering med rund spets än med fyrkantig. Orsaken till detta förhållande diskuteras i avsnitt 4.4.

Vid sondering med kort rund spets utan vridning erfordrades 2390 slag för att spetsen skulle nå 25 m djup. När sondstången vreds 20° /slag erfordrades 864 slag för att nå samma djup vilket motsvarar en reduktion med hela 64%. Vid 120° vridning/slag erfordrades endast 663 slag för att nå samma djup, en reduktion med ca 72%. Sonderingsdiagrammen visas i FIG. 16.

Vid sondering med lång fyrkantspets utan vridning erfordrades 1750 slag för att spetsen skulle nå 25 m djup. När sondstången (inklusive spetsen) vreds 20° /slag erfordrades 1125 slag för att nå samma djup, en reduktion med ca 36%. Vid 120° vridning/slag erfordrades endast 940 slag för att nå samma djup, vilket motsvarar en reduktion med ca 46%. Sonderingsdiagrammen visas i FIG. 17.

Traditionell hejarsondering med kort rund spets och vridning ca ett varv efter varje 1,5 m nedträngning erfordrade 1275 slag för att spetsen skulle nå 25 m djup. Vridningen torde i detta fallet, trots att den förekommer mycket sparsamt, vara tillräcklig för att förhindra "inspänning" av stängerna i jorden och har därför starkt bidragit till att 1115 färre slag behövdes än i nyssnämnda fall utan vridning (rund spets).

Beträffande övriga faktorer som påverkar sonderingsmotståndet vid traditionell hejarsondering se bl a avsnitten 3.1, 3.3, 3.4.5.

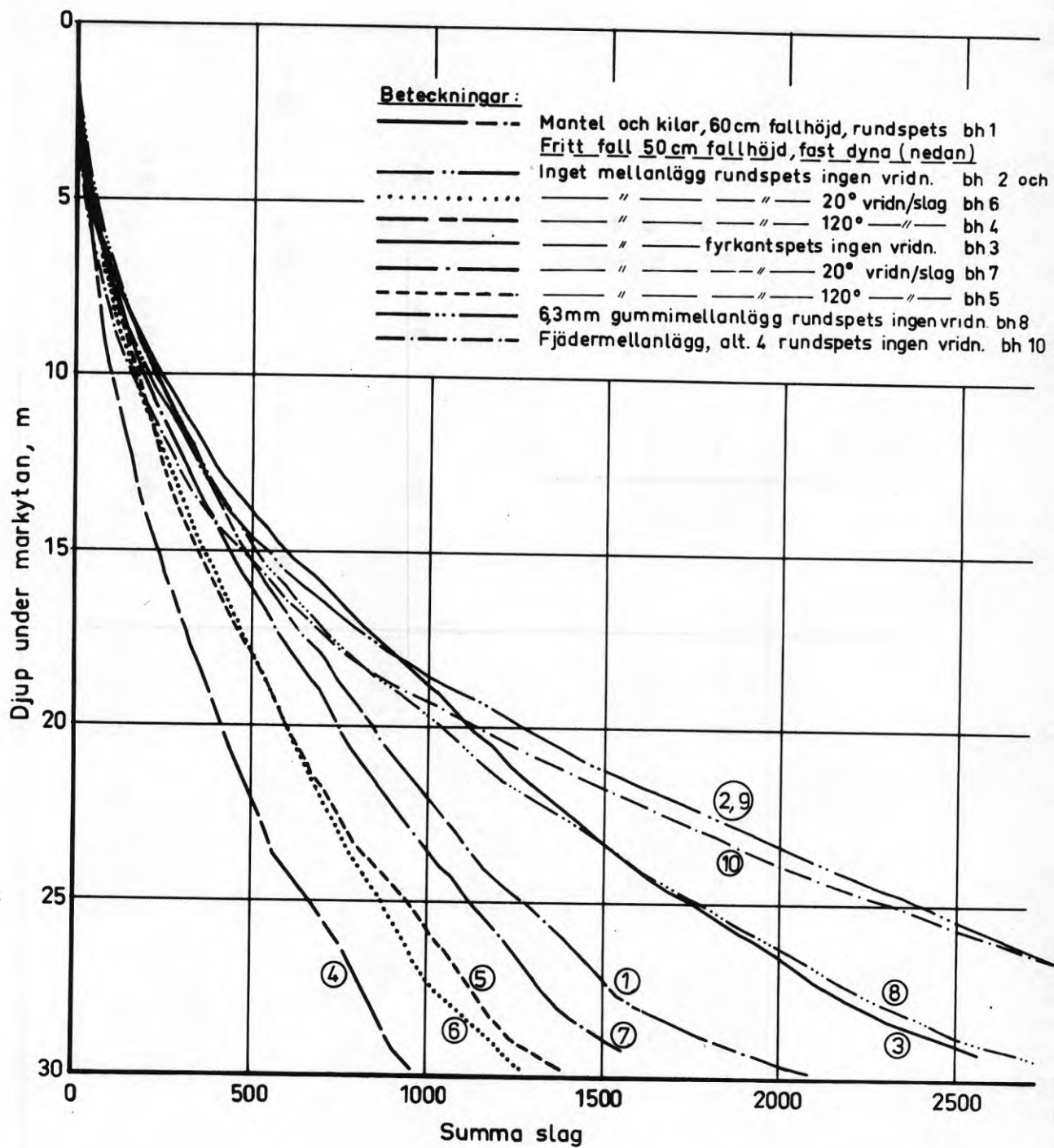


FIG. 15. Summakurvor. Försök i sand vid Albysjön, maj 1969.

Accumulated penetration resistance as a function of depth. Tests in sand at Albysjön, May 1969.

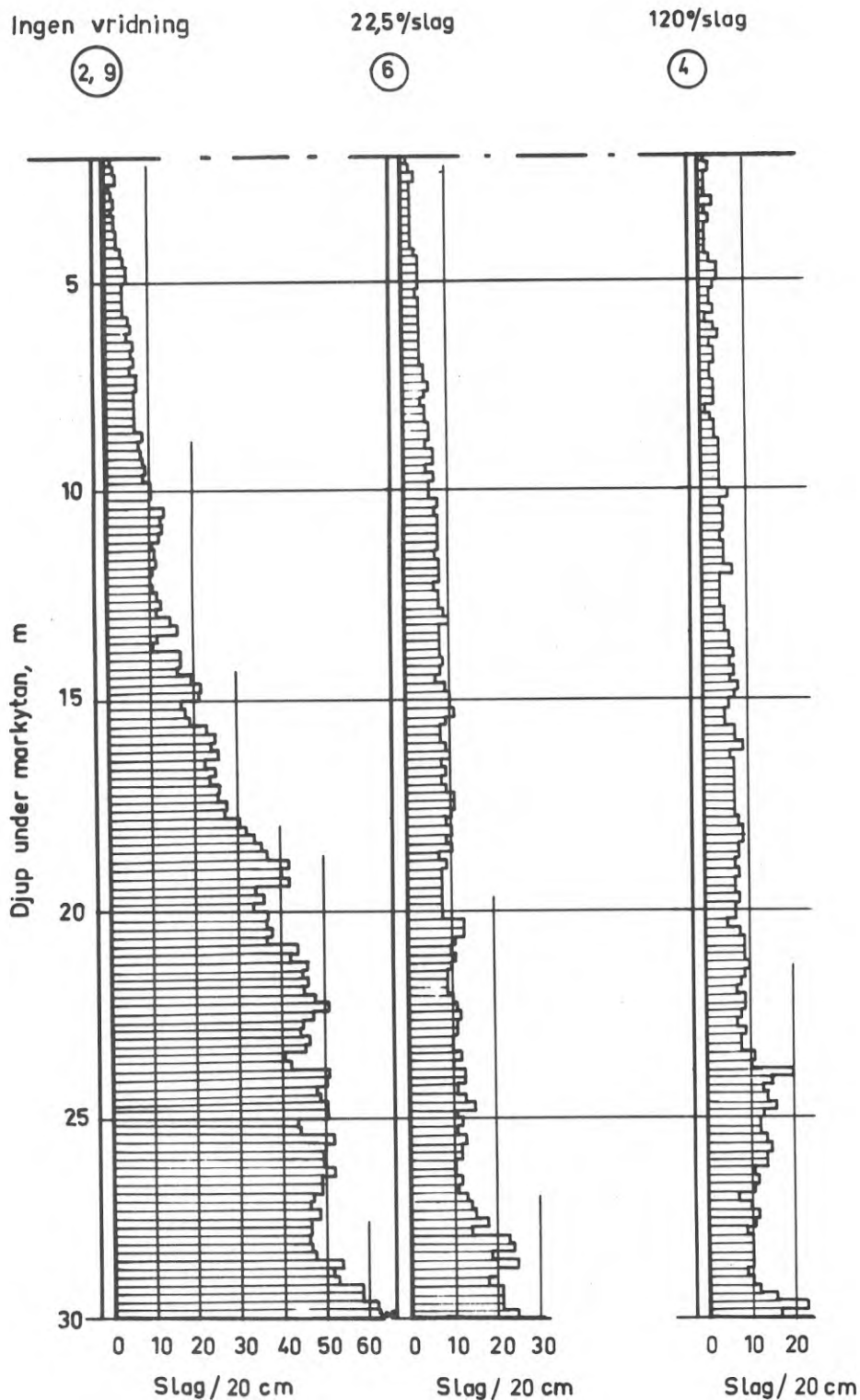


FIG. 16. Effekt av vridningsvinkelns storlek vid vridning av sondstången före varje slag. 50 cm fritt fall och fast dyna, rund spets (\emptyset 45 mm) med 50 mm mantellängd. Försök i sand vid Albysjön, maj 1969.

Effect of change of the amount of rotation per blow of the rod. 50 cm height of free fall, a fixed anvil and a cylindrical point (\emptyset 45 mm) of 50 mm length. Tests in sand at Albysjön, May 1969.

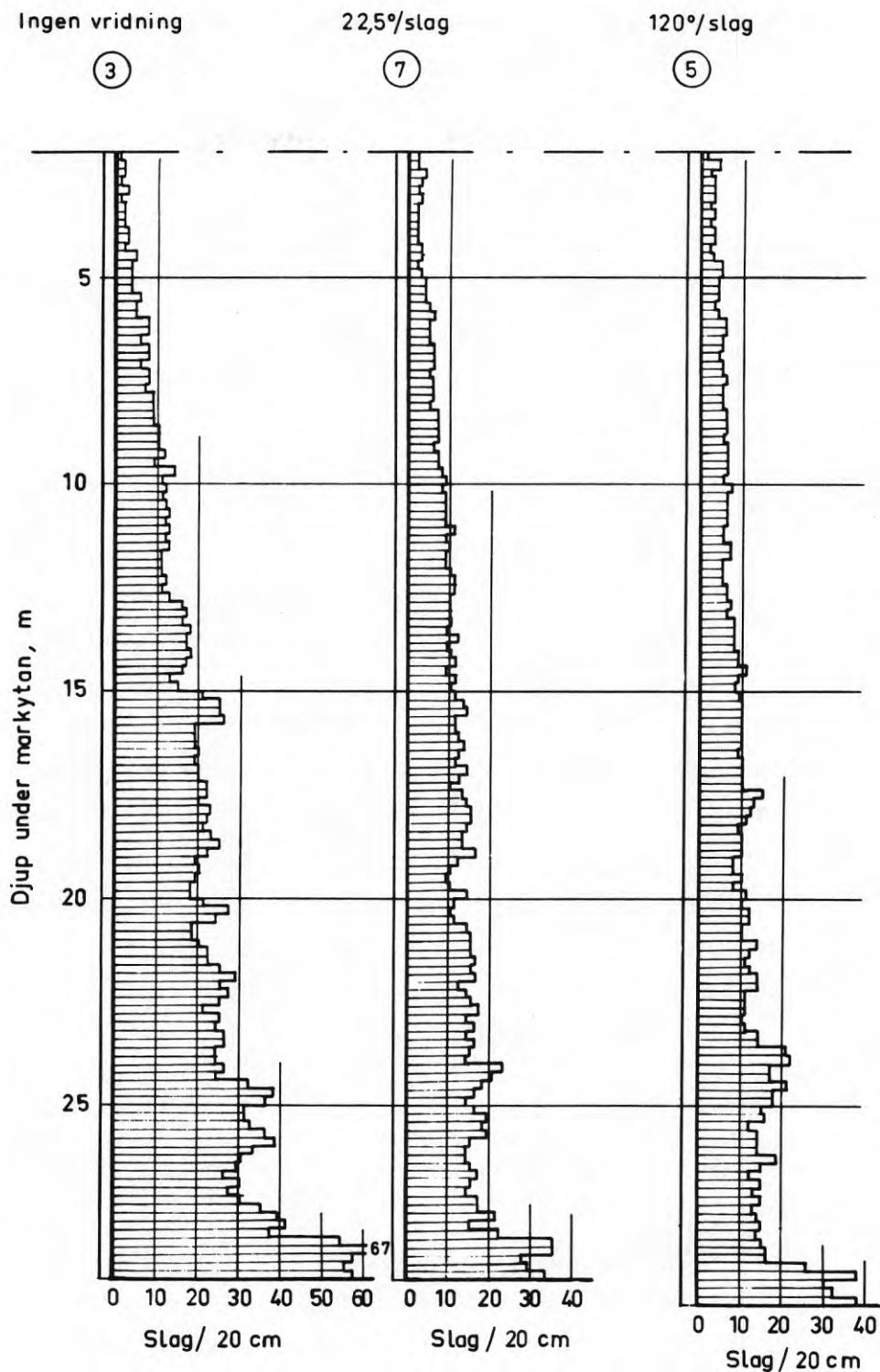


FIG. 17: Effekt av vridningsvinkelns storlek vid vridning av sondstängen före varje slag. 50 cm fritt fall och fast dyna, fyrkantspets (ϕ 40 mm) med 160 mm mantellängd. Försök i sand vid Albysjön, maj 1969.

Effect of change of the amount of rotation per blow of the rod. 50 cm height of free fall, a fixed anvil and a square point (ϕ 40 mm) of 160 mm length. Tests in sand at Albysjön, May 1969.

I FIG. 18 visas vridningseffekten i både sand och lera. Kurv-örna i figuren åskådliggör hur kvoten mellan sonderingsmotstånd som uppmätts med vridning respektive utan vridning varierar med djupet. Till grund för jämförelsen ligger det genomsnittliga sonderingsmotstånden för varje två meters nedträngning, vilka har beräknats ur sonderingsprotokollen. I figuren redovisas även de fullständiga diagrammen avseende "icke vridning" respektive "120° vridning/slag". Det framgår klart att sonderingsmotståndet reduceras betydligt kraftigare i sand än i lera vid vridningen.

Vid glest förekommande vridningstillfällen och än mer då ingen vridning utförs, kommer mantelmotståndet att tillväxa så kraftigt med djupet att eventuella variationer i spetsmotståndet blir allt svårare att urskilja ju djupare sonderingen drivs.

Om mantelmotståndet utgör så mycket som 70 å 80% av totalmotståndet är det som regel ej möjligt att urskilja eventuella variationer i spetsmotstånd. Vid kontinuerlig vridning av sondstängen kommer spetsmotståndet att utgöra en väsentlig del av totalmotståndet samtidigt som sondens "aktionsdjup" ökas. Dessutom bör det framhållas att minskningen av slagantalet per sonderingshål vid vridning ger en tidsvinst som mer än väl uppväger den extra tid, som en manuell vridning kräver (se vidare därom i kap. 5).

2.4.3 Torsionsmätning på skarvade hejarsondstänger

Vid försöken i lera vid Ultuna (se 2.4.1) uppmättes i bh 5 (lång fyrkantspets, 120° vridning/slag) vridmomentet vid vridning av stängen. På ca 34 m djup uppgick vridmomentet till 100 Nm, Vid försök i sand vid Albysjön 1967 (se FIG. 8) var vridmomentet på 30 m djup 240 Nm när stängen vreds endast varannan meter.

Det är av intresse att veta vilken minsta vridningsvinkel som erfordras vid marknivån för att vridningen nått och jämt skall nå spetsnivån. Den kritiska vridningsvinkel som precis rubbar

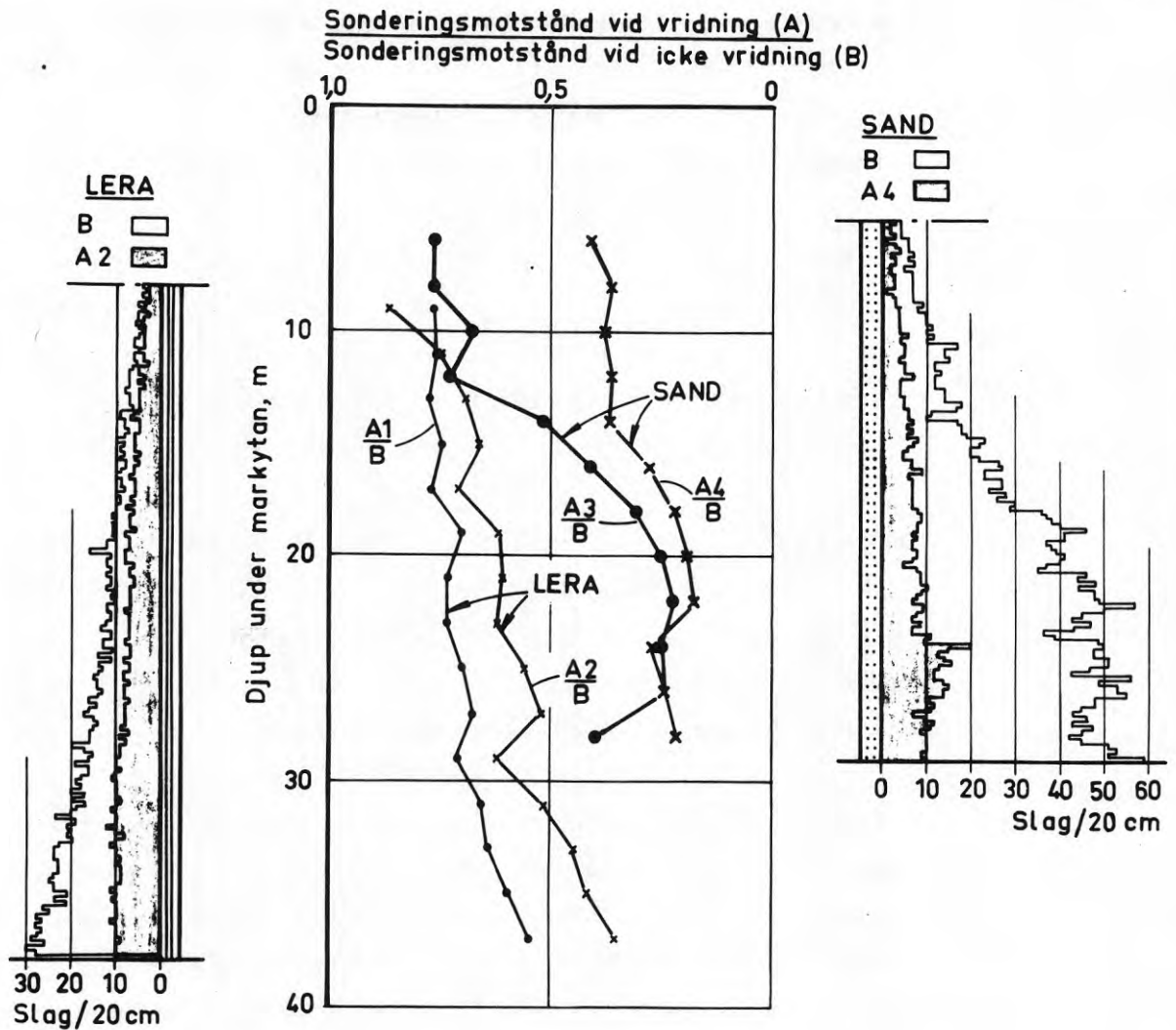


FIG. 18. Kvoten mellan sonderingsmotstånd med vridning och sonderingsmotstånd utan vridning som funktion av vridningsvinkel och djup under markytan. 50 cm fritt fall, fast dyna, rund spets (\varnothing 45 mm) med 50 mm mantellängd. Försök i lera vid Ultuna, april 1969 och i sand vid Albysjön, maj 1969.

Beteckningar: A1 och A3 = 20° vridning/slag, A2 och A4 = 120° vridning/slag, B = ingen vridning.

The ratio between the penetration resistance at "rotation" and "no rotation" as a function of depth. 50 cm height of free fall, a fixed anvil and a cylindrical point (\varnothing 45 mm) of 50 mm length. Tests in clay at Ultuna, April 1969 and in sand at Albysjön, May 1969.

Legend: A1 and A3 = 20° turning/blow, A2 and A4 = 120° turning/blow and B = 0° turning/blow.

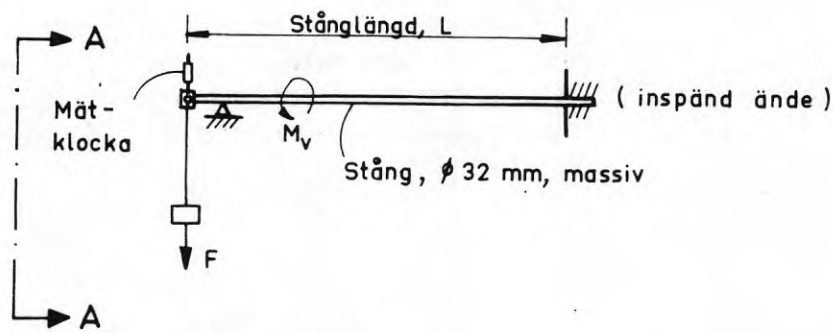
spetsen (vid medföljande spets) är den vinkel som "äts upp" av stångtorsionen. För att erhålla ett mått på denna kritiska vridningsvinkel som funktion av total stånglängd och applicerat vridmoment i stånglängden gjordes en serie försök på verkstad. Härvid spändes stångens ena ände fast medan den andra vilade på ett upplag (se FIG. 19). Den fritt upplagda stångänden belastades stegvis med vridmomenten 50, 100, 150 och 200 Nm under mätning av erforderlig vridningsvinkel enligt figuren. Stånglängden uppgick till 1,5 m, 3,0 m och 4,5 m respektive. Försöksresultaten framgår av TAB. 2 och FIG. 19.

Om de rätlinjiga sambanden enligt FIG. 19 antas gälla ända till 30 m stånglängd erhålls diagrammet i FIG. 20. Det framgår att en vridningsvinkel av minst 45° erfordras för att ett vridmoment av 200 Nm på spetsnivån skall kunna övervinnas genom vridning på marknivån vid 30 m stånglängd.

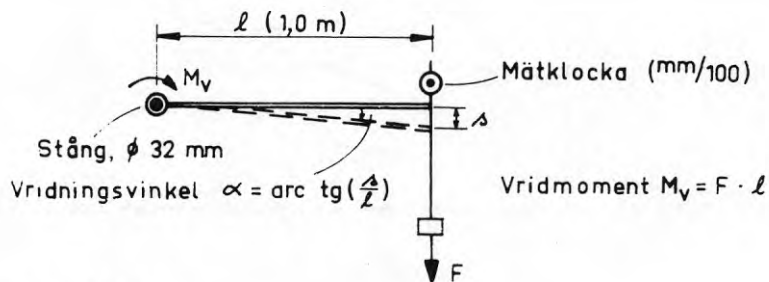
Vridmotståndet i samband med sondering är emellertid fördelat längs hela sondstängen och dess storlek beror av mantelfriktionens storlek och variation med djupet. Det verkliga belastningsfallet skiljer sig således påtagligt från det vid torsionsmätningarna använda belastningsfallet. För att röra hela stängen och spetsen vid ett vridmotstånd av 200 Nm och 30 m stånglängd erfordras i det praktiska fallet en mindre vridning i övre stångänden än om hela vridmotståndet är koncentrerat till stångänden (spetsen). En vridningsvinkel av 45° slag bedöms alltså vid ett vridmotstånd av 200 Nm vara tillräcklig vid upp till minst 30 m sonderingsdjup. Vid de fortsatta försöken tillämpades därför en vridningsvinkel av 45° slag (mellan slagen).

Vid hejarsonderingsförsök i lera vid Ultuna i november 1969 undersöktes huvudsakligen slagdämpningens inverkan på sonderingsmotståndet (se 3.5.4) varjämte ett försök (bh 9 i FIG. 57) gjordes med intermitterent kontinuerlig vridning av sondstängen. Härvid vreds sondstängen 45° före varje slag under 1,4 m nedträngning av sonden, varefter närmast följande 1,6 m utfördes helt utan vridning. Detta förfarande upprepades genom

TILLVÄGÅNGSSÄTT



SEKTION A - A



RESULTAT

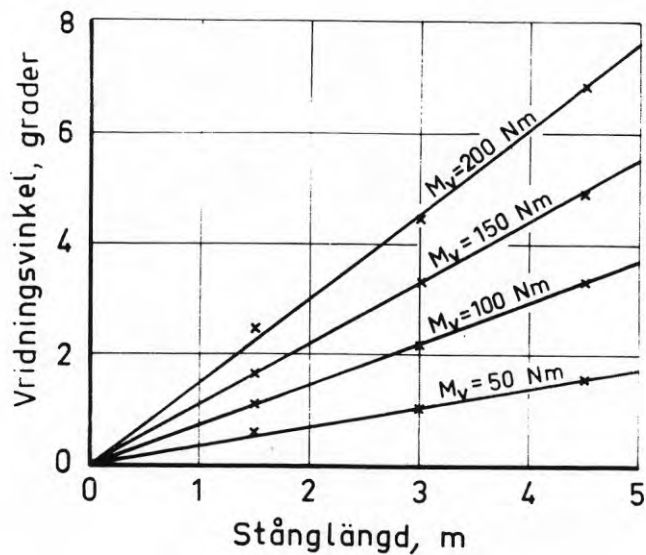


FIG. 19. Torsionsmätning på skarvade hejarsondstänger. Tillvägagångssätt och resultat. Försök på SGI, 1969.

Torsion tests on jointed ram-sounding rods at SGI, 1969.

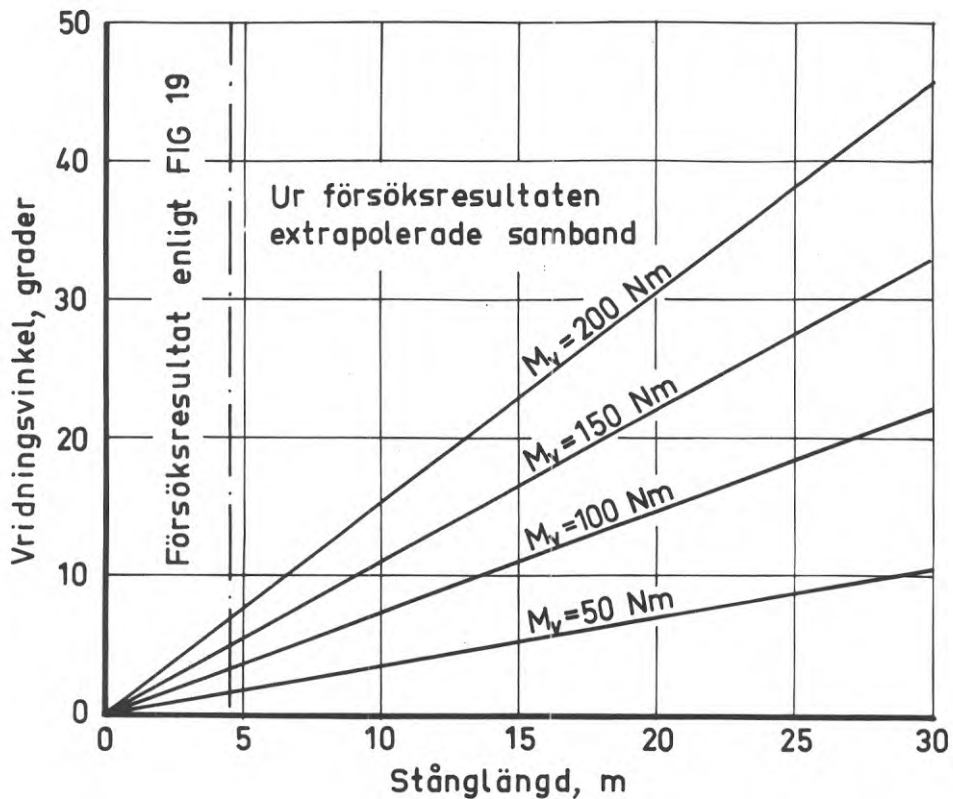


FIG. 20. Samband mellan vridningsvinkel och stånglängd vid olika vridmoment, M_V (rätlinjig extrapolering av sambanden i FIG. 19).

Relationship between the angle of rotation and length of rod at different torques, M_V (rectilinear extrapolation of the straight lines in FIG. 19.)

hela sondhålet. Av sonderingsdiagrammet i FIG. 57 framgår, att sonderingsmotståndet ökar starkt med djupet när vridningen upphör. Redan efter 20 å 40 cm nedträngning utan vridning har ett mot ovridet hål svarande sonderingsmotstånd uppnåtts, vilket innebär en ökning med ca 50%, jämfört med sonderingsmotståndet inom närmast ovanliggande "vridna" djupintervall. Det är tydligt att i stort sett hela vridningseffekten går förlorad om vridningen avbryts tillfälligt vid sondering i lera. I detta fall har sonderingsmotståndet inte påverkats av något stillestånd och därav orsakad "fastväxning" av sondstången. Om ett längre uppehåll görs i sonderingen kommer mantelmotståndet till följd av sondstångens "fastväxning" att öka ytterligare, varigenom totalmotståndet vid återupptagen sondering blir större än de i bh 9 visade största värdena (jfr FIG. 13 bh 4).

TAB. 2. Resultat av torsionsmätning på hejarsonderingsstänger av olika längd (skarvlängd 1,5 m)

Stånglängd	Uppmätt vridningsvinkel vid ett vridmoment av			
	50 Nm	100 Nm	150 Nm	200 Nm
1,5 m	0° 35'	1° 10'	1° 42'	2° 30'
3 m	1° 5'	2° 10'	3° 20'	4° 30'
4,5 m	1° 35'	3° 20'	4° 55'	6° 50'

3 SLAGEFFEKT

Vid hejarsondering kan antas gälla samma regler för sondens nedträngning som för en påle. Detta innebär bl a att sondstängens sjunkning är direkt beroende av hejarens anslags-hastighet mot dynan som påvisat genom tillämpning av sk stöt-vågsteori (se 3.4.1).

3.1 Förberedande försök vid Duvåker, 1964

Som tidigare anförts utfördes redan 1964 vissa undersökningar vid en då projekterad bro över Dalälven vid Duvåker i Kopparbergs län. Syftet med dessa undersökningar var ursprungligen att jämföra resultat från påslagning och hejarsondering. Grundförhållandena visade sig emellertid vara annorlunda än vad som hade förutsatts, varför undersökningen kom att i huvudsak inriktas på att jämföra olika sonderingsmetoder. Nedan beskrivs grundförhållandena i Duvåker varefter en redogörelse lämnas över där erhållna försöksresultat. Resultaten från dessa undersökningar har tidigare redovisats i ett examensarbete vid institutionen för geoteknik vid Tekniska högskolan i Stockholm (Rehman & Wennerstrand, 1965).

Jorden består överst av 6 m mo med inslag av mjäla och nedåt även av dy. Från 6 till 18 m djup utgörs jorden huvudsakligen av mjälig finmo, som är något dyig. På 14 m djup finns även torv- och sandskikt.

Från 18 till 30 m djup består jorden huvudsakligen av lera och mjäla med inslag av mo och mot djupet även av sten. Dessa sedimentära jordar underlagras av en fast morän. Grundvattennivån uppmättes i provtagningshålet till ca 5,0 m djup under markytan, vilket motsvarar vattenståndet i älven utanför försöksplatsen.

I FIG. 21 har sammanställts resultat av sonderingar och provtagningar på platsen. Förutom hejarsondering har utförts trycksondering, typ SGI, viktsondering samt Standard Penetration

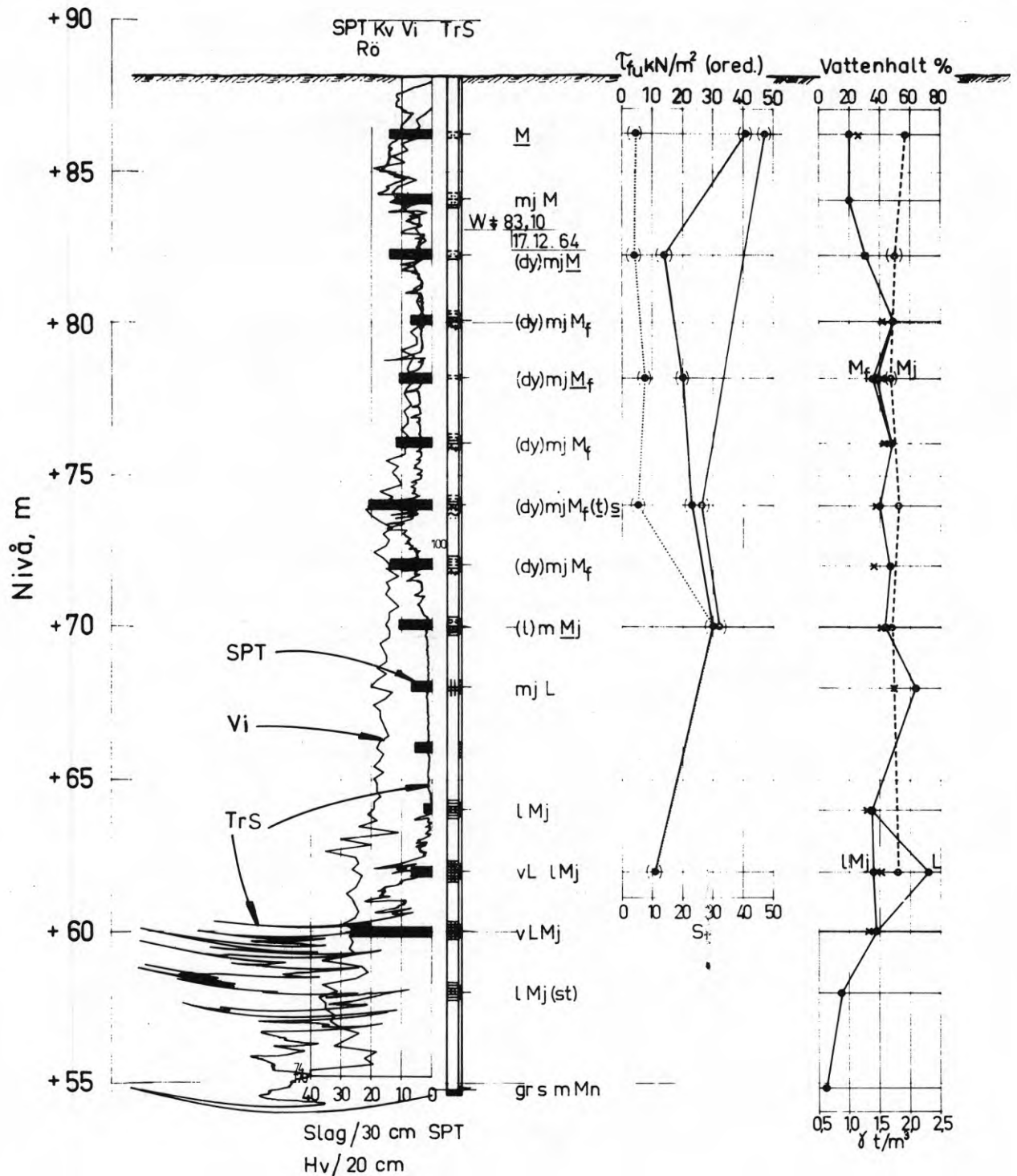


FIG: 21. Jämförelse mellan traditionell hejarsondering, trycksondering typ SGI, viktsondering samt Standard Penetration Test (SPT). Försök i mellanjord vid Duvåker, 1964.

Comparison between traditional ram-sounding, static penetration test, type SGI, weight-sounding and Standard Penetration Test (SPT). Tests in a silty soil at Duvåker, 1964.

Test (provtagningshålet).

Det kan först vara av intresse att notera att alla sonderingsmetoderna ger samma ungefärliga bild av jordlagerföljden, men att trycksonden även återger mindre variationer i jordens relativa fasthet. Både trycksonden och viktsonden ger klart utslag för fastare skikt på ca 14 m djup (nivån + 74 m i FIG. 21). Hejarsonden (FIG. 22) är däremot tämligen okänslig för mindre variationer i de lösa jordlagrens sammansättning och fasthet, men uppvisar stort motstånd i de djupare liggande jordlagren bestående av mjäla.

Vid grundvattennivån eller snarare något ovanför sker en markant minskning av tryck- och viktsonderingsmotståndet, medan däremot hejarsonderingsmotståndet, som redan är lågt, ej påtagligt förändras. Minskningen i tryck- och viktsonderingsmotstånd är ca 70% dvs det minskas till ca 30% av motståndet ovanför grundvattennivån.

Hejarsonderingsförsöken utfördes dels enligt normalt traditionellt förfarande (försök 1), dels med ändring av antingen fallhöjden (försök 2), spetsen (försök 3) eller hejarvikten (försök 4). Följande spetsar, hejarvikter och fallhöjder användes. (Den lösa spetsen är nr 6 i FIG. 60.)

Försök	Spets	Hejarvikt	Fallhöjd
1	Lös, Ø 45 mm	63,5 kg	60 cm
2	Lös, Ø 45 mm	63,5 kg	76 cm
3	Slät, Ø 32 mm	63,5 kg	60 cm
4	Lös, Ø 45 mm	140 kg	60 cm

Dessutom hade på platsen tidigare utförts en traditionell hejarsondering (försök 5), vars resultat har medtagits i FIG. 22 för jämförelse. Sonderingsresultaten redovisas i form av summakurvor, vilka visar det totala antalet slag som erfordras för att sonden skall nå ett visst djup. Dessutom visas sonderingsdiagrammet avseende försök 1.

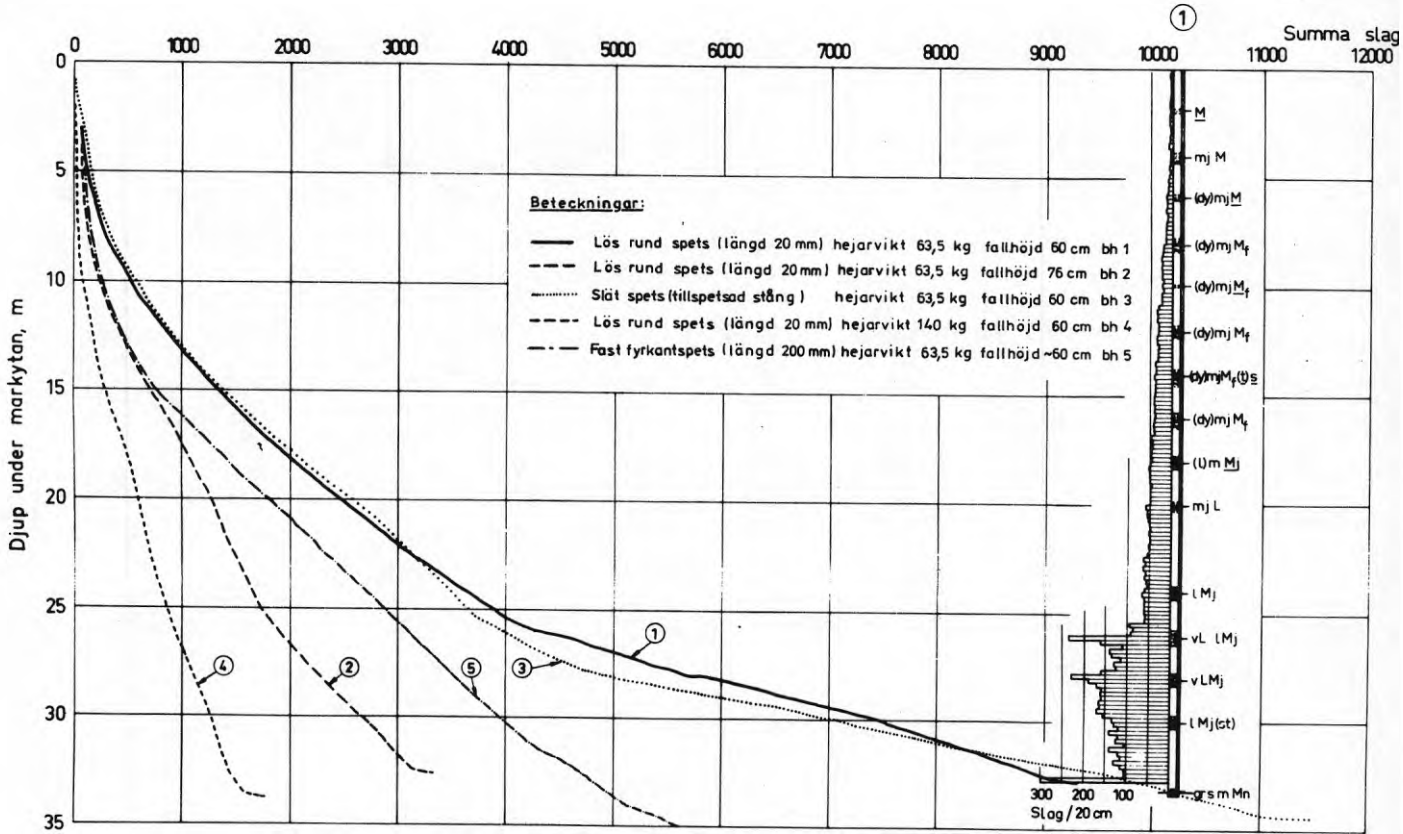


FIG. 22. Undersökning av spetsformens, hejarviktens och fallhöjdens inverkan på sonderingsmotståndet vid traditionell hejarsondering. Försök i mellanjord vid Duvåker, 1964.

Effect of variation of the shape of the point, of the weight of the hammer and of the height of fall. Tests in a silty soil at Duvåker, 1964.

3.1.1 Effekt av ökad hejarvikt

En jämförelse mellan sonderingsresultaten från försök 1 och 4, vilka skiljer sig med avseende på hejarens vikt, ger vid handen att det åtgår 6,4 ggr så många slag att nå fasta bottenlager med den traditionella hejaren (63,5 kg) jämfört med den tyngre 140 kg-hejaren. Det är speciellt i början och slutet av sonderingen som effekten är stor. I medeltal erfordras 4 till 5 ggr fler slag med den lättare hejaren för att sonden skall nå samma djup, vilket är en större skillnad i sonderingsmotstånd än vad som kan framgå av en ren energibetraktelse. Samtidigt skall noteras, att man med den tyngre hejaren knappast får någon information om jordens fasthetsvariationer, utan enbart en uppgift om "fasta bottens" läge. Detta kan dock i många fall vara helt tillfyllest.

3.1.2 Effekt av ökad fallhöjd

I FIG. 22 kan också en jämförelse göras mellan försök 1 och 2 där man i det senare försöket har använt 76 cm fallhöjd, vilket är den fallhöjd som gäller för SPT. Ökningen i slagenergi blir härvid ca 25%.

Vid jämförelse finner man, att det åtgår mellan 1,9 och 2,8 ggr fler slag att nå ett visst djup med 60 cm fallhöjd jämfört med 76 cm. Det högre värdet gäller för 30 m djup. Man ser alltså att i denna jordlagerföljd betyder en 25%-ig ökning av fallhöjden i stort sett en halvering av sonderingsmotståndet. Dessa stora motståndsskillnader gör det omöjligt att acceptera det traditionella sonderingsförfarandet för annat än att på små djup vid "enkla" grundförhållanden söka fast botten, vilket skall framgå av den fortsatta framställningen.

3.2 NGF:s "Forslag til retningslinjer for geotekniska undersøkelser"

Den norska geotekniska föreningen (NGF) tillsatte 1963 en kommitté vilken under åren 1963-1966 utarbetade ett "Forslag till ret-

ningslinjer for geotekniske undersøkelser". I detta förslag nämns bl a hejarsondering varvid tämligen vida gränser för utrustning och utförande lämnas. Det anges att slagenergin per slag skall vara mellan 25 och 75 kpm (250 till 750 Nm), men att sonderingsmotståndet skall redovisas i enheten tm/m (= 10 kN/m).

Av de ovan relaterade försöken framgår att det ej är egalt hur man åstadkommer en viss slagenergi utan ändringar av fallhöjden har relativt sett större effekt på nedträngningen än ändringar i hejarvikten som framgår av FIG. 23 där sonderingsmotstånden för sonderingarna nr 1, 2 och 4 uppritats i enheten kNm/m. Man kan också notera att en ändring av slagenergin inte ger en direkt proportionell ändring i sonderingsmotståndet samt att resultaten kommer att skilja sig på olika sätt beroende på i vilken jord sonderingen utförs. Olikheter i resultaten kommer att variera med jordarten. På grund av ovanstående bedöms det som nödvändigt att använda sig av ett standardiserat förfarande för att jämförelser skall kunna göras mellan sonderingsresultat från olika platser och olika sonderingshål.

Förklaringen till dessa olikheter framgår delvis nedan i återstoden av kap. 3.

3.3 Undersökningar med frifallshejare

Vid de ovan redovisade försöken har genomgående använts den traditionella metoden där wirarna löper med hejaren i fallet. Försöksresultaten visade nödvändigheten av att man kontrollerar fallhöjden noga. Detta ledde in på utvecklingen av en s k frifallshejare av vilken en senare variant redan har beskrivits (kap. 1.2). Vid den första frifallshejarutrustning användes fortfarande mantel och killås och som utlösningssanordning för hejaren en konisk ansvällning som kunde skruvas fast på sondstängens på ett bestämt avstånd från killåset.

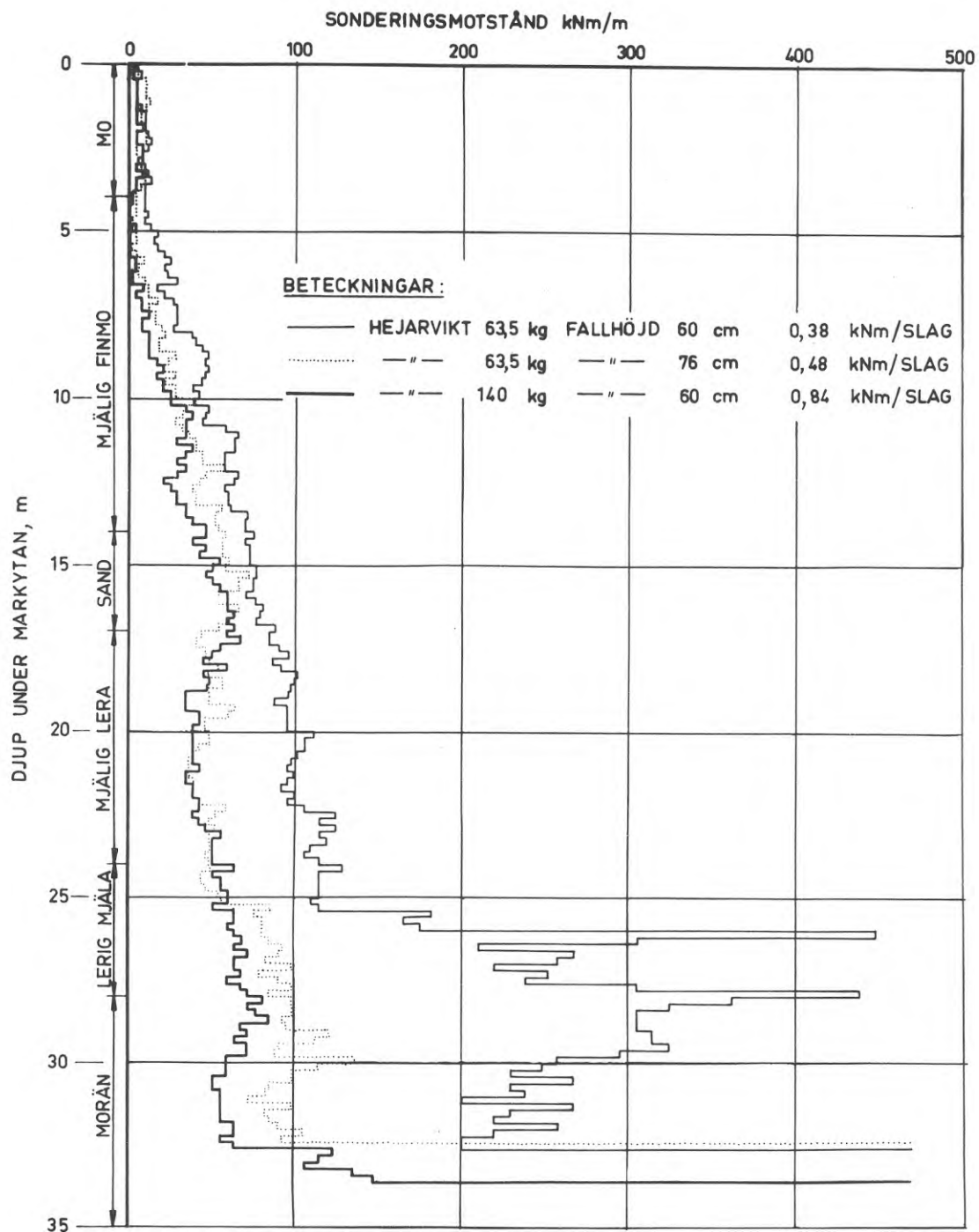


FIG. 23. Effekt på sonderingsmotståndet (kNm/m) av en 25%-ig ökning av fallhöjden respektive en 120%-ig ökning av hejarvikten vid traditionell hejarsondering. Försök i mellanjord vid Duvåker, 1964.

Effect of a 25% increase of the height of fall and a 120 % increase of the weight of the hammer, respectively, at traditional ram-sounding tests. Tests in a silty soil at Duvåker, 1964.

3.3.1 Försök vid Husby 1966

De första försöken med frifallshejare gjordes vid Husby grustag på Munsö i Mälaren. Samtidigt användes också det traditionella förfarandet, varvid fallhöjden kontrollerades noga. För båda metoderna provades tre fallhöjder: 50, 60 och 76 cm, dvs vad som gäller för de tyska och svenska hejarsonderingsmetoderna samt för Standard Penetration Test.

Jorden består på denna försöksplats av moig sand till 7,3 m djup och därunder av något grusig - grusig sand intill ca 12 m djup.

Resultaten redovisas i form av summakurvor för respektive sondhål (se FIG. 24).

Av försöksresultaten framgår följande.

a Vid jämförelse mellan traditionell hejarsondering och sondering med frifallshejare finner man att kurvan för 76 cm fallhöjd med det äldre förfarandet motsvarar ca 40 cm med frifallshejaren. Vid dessa försök har således ca hälften av slagenergin vid traditionell hejarsondering mätt i neddrivningsmotstånd åtgått för att övervinna friktion i wirar samt acceleration av dessa ochnocktrumman.

b Motsvarande förhållande framgår också vid jämförelse mellan kurvorna för traditionell hejarsondering och sondering med frifallshejare då man i båda fallen använt 60 cm fallhöjd. Man finner att vid övergång till frifallshejare halveras erforderligt antal slag för att man skall nå ett visst djup.

c Man skall härav också notera att även med den låga fallhöjden 40 cm ger frifallshejaren ett mindre sonderingsmotstånd än traditionell hejarsondering (60 cm fallhöjd).

3.3.2 Försök vid Duvåker och Albysjön 1967

Vid Duvåker gjordes i april - maj 1967 en serie försök i syfte att klarlägga hur pass effektiv den nya frifallshejaren var i jämförelse med wireupphängd hejare. Man önskade också få klarlagt vilken fallhöjd som kunde vara lämplig vid övergång till

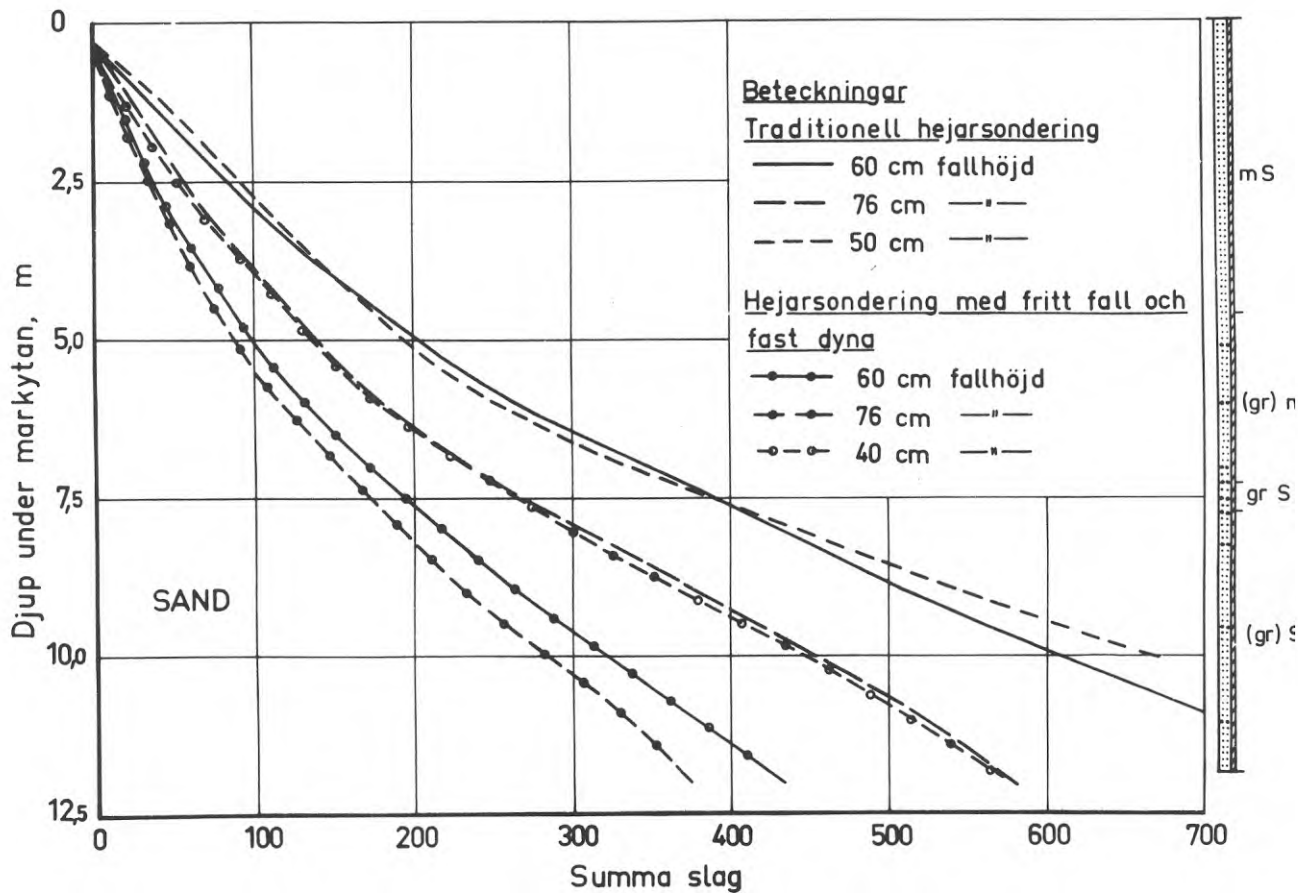


FIG. 24. Jämförelse mellan traditionell hejarsondering och hejarsondering med fritt fall och killås vid olika (kontrollerade) fallhöjder. Försök i sand vid Husby, 1966.

Comparison between the traditional method and the free-fall hammer with a traditional anvil at different (controlled) heights of fall. Tests in sand at Husby, 1966.

frifallshejare eftersom man ej önskade allt för stora skillnader i hejarsonderingsresultaten mellan olika utrustningar. Eventuella skillnader mellan sondering med killås respektive fast slagdyna skulle också studeras.

Sondering utfördes med traditionell hejarsondering (60 cm fallhöjd) samt med frifallshejare 50, 60 och 76 cm fallhöjd. I samtliga fall användes lösa, korta, runda spetsar (nr 6 i FIG.60). Vid dessa försök användes också den tidigare nämnda koniska utlösningssanordningen som fästs direkt på sondstängens samt som slagdyna, dels det gamla killåset, dels en fast slagdyna som kunde gängas fast direkt på översta skarvtappen. På grund härav tvingades man också att ändra skarvlängden på stängerna från 3,0 till 1,5 m. Anledningen till att man önskade införa en fast slagdyna var främst den glidning som uppkommer i killåset vilken medförde att läget för den då använda koniska utlösningssanordningen gång efter annan måste justeras.

Sonderingarna utfördes också med intermitterent vridning av sondstängens, vilket som tidigare nämnts medför en minskning av sonderingsmotståndet omedelbart efter vridningen.

Vid den tidigare nämnda försöksplatsen vid Albysjön, där jorden huvudsakligen utgörs av sand utfördes i november 1967 en motsvarande försöksserie, dock utfördes intermitterent vridning endast i ett sonderingshål (bh 4 i FIG. 26).

3.3.2.1 Jämförelse mellan traditionell hejarsondering och sondering med fritt fallande hejare och fast dyna

Resultaten av försöken vid Duvåker och Albysjön redovisas vad beträffar jämförelsen mellan traditionell hejarsondering och sondering med fritt fallande hejare i FIG. 25-27.

Vid jämförelse mellan traditionell hejarsondering och sondering med frifallshejare med 60 cm fallhöjd i Duvåker (FIG. 25) ser man att det med frifallshejaren erfordras ca 60 - 70% av antalet slag vid traditionell hejarsondering för att man skall nå

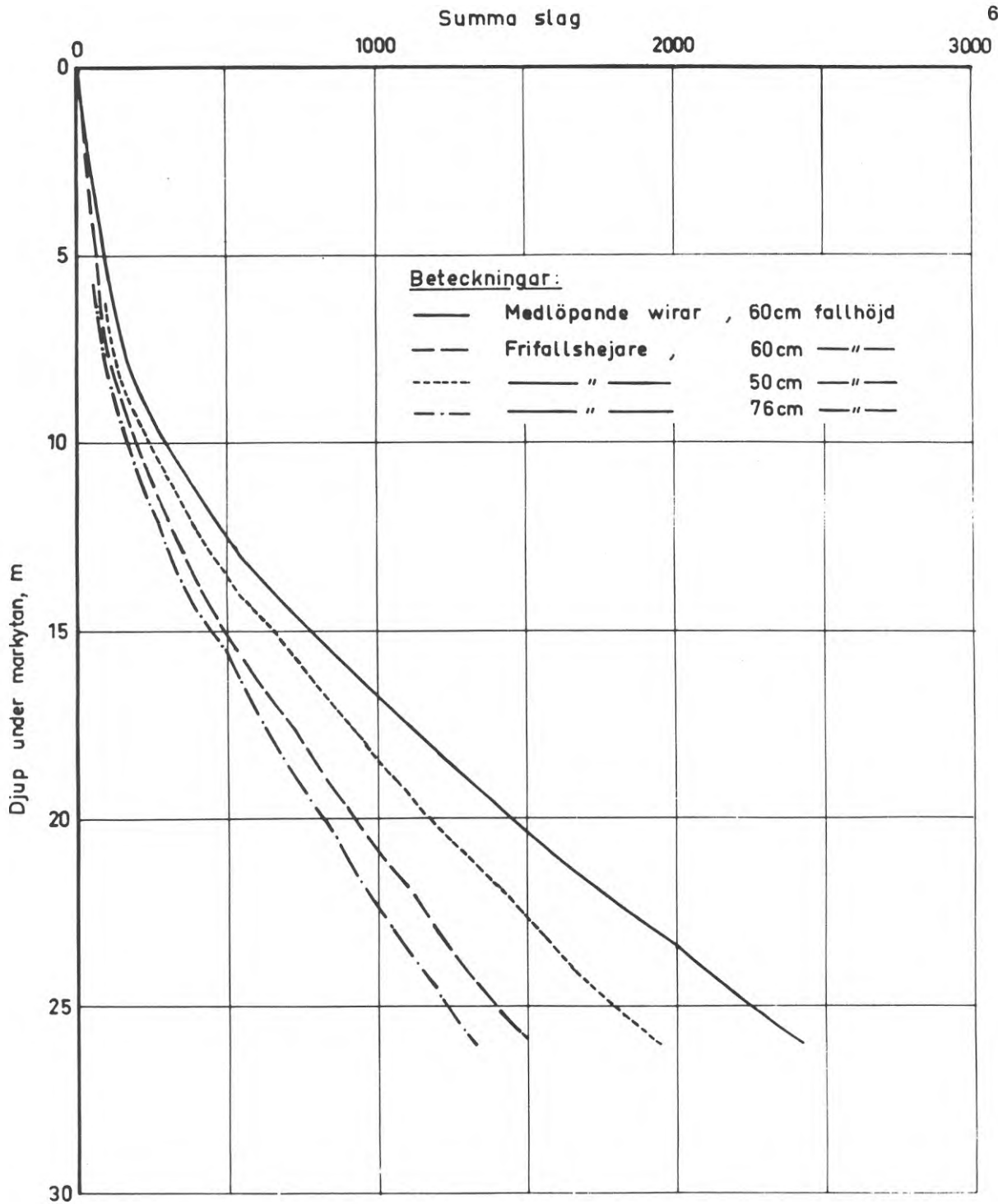


FIG. 25. Jämförelse mellan traditionell hejarsondering (bh 10), fritt fall och killås (bh 2) samt fritt fall och fast dyna (bh 4). Samtliga hål utförda med 60 cm fallhöjd. Försök i mellanjord vid Duvåker, april 1967.

Comparison between the traditional method (test 10), the free-fall hammer with a traditional anvil (test 2) and the free-fall hammer with a fixed anvil (test 4), the height of fall being 60 cm at each test. Tests in a silty soil at Duvåker, April 1967.

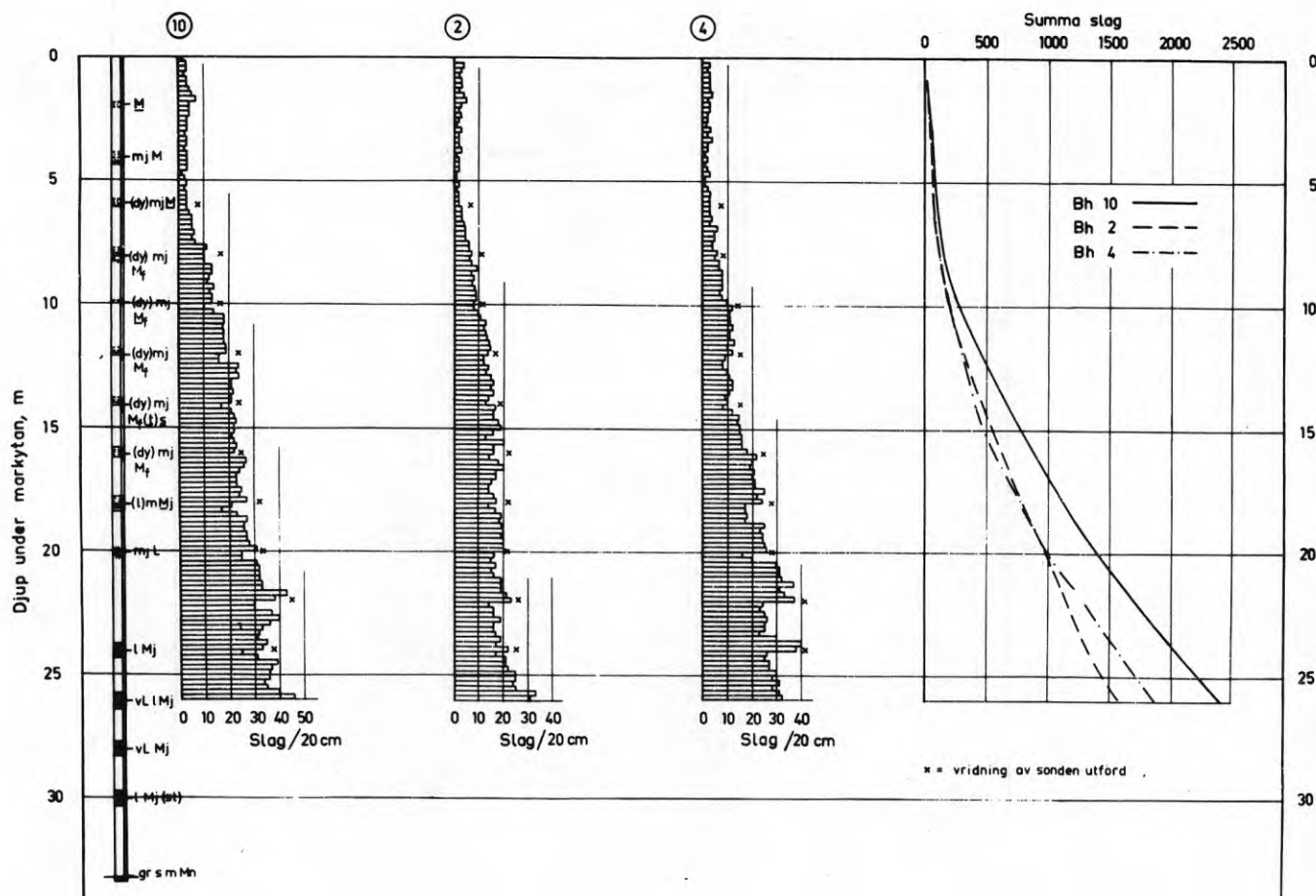


FIG. 26. Jämförelse mellan traditionell hejarsondering (bh 1), fritt fall och killås (bh 2) samt fritt fall och fast dyna (bh 3 och bh 4). I bh 4 har sonden vridits på vissa angivna nivåer. Samtliga hål utförda med 60 cm fallhöjd. Försök i sand vid Albysjön, november 1967. (jfr FIG. 27).

Comparison between the traditional method (test 1), the free-fall hammer with a traditional anvil (test 2) and the free-fall hammer with a fixed anvil (tests 3 and 4). In test 4 the rod has been rotated at the levels shown in the figure. All tests with a height of fall of 60 cm. Tests in sand at Albysjön, November 1967 (cp FIG. 27).

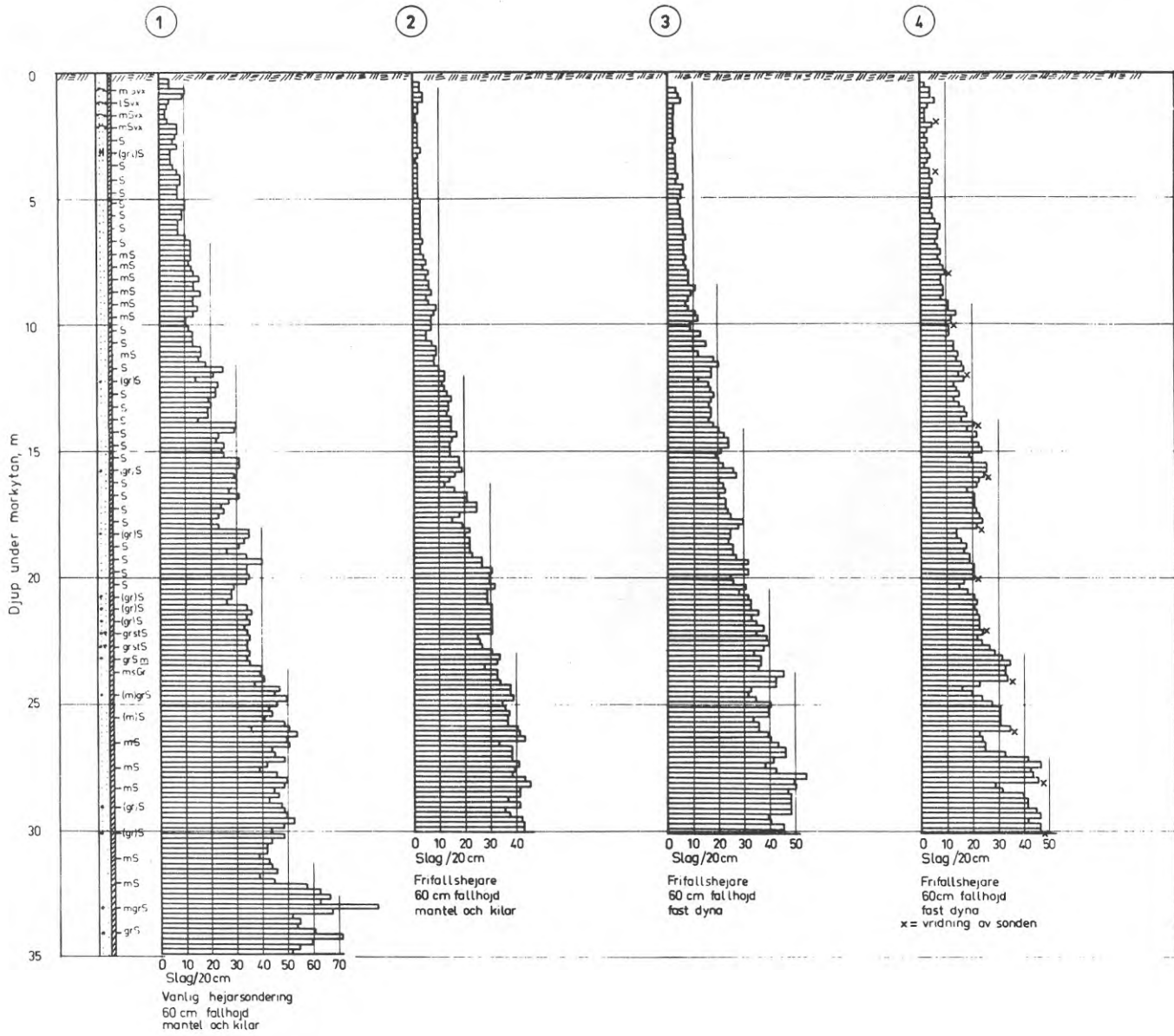


FIG. 27. Summakurvor. Försök i sand vid Albysjön, november 1967 (jfr FIG. 26).

Accumulated penetration resistance as a function of depth. Tests in sand at Albysjön, November 1967 (cp FIG. 26).

samma djup. Tendensen tycks vara densamma för hela jordlagerföljden ned till 26 m djup där sonderingen avbrutits. I dessa jordarter har således effekten av övergången till frifallshejare ej varit lika stor som vid försöken vid Husby 1966 (kap. 3.3.1).

Om man jämför de båda sonderingarna som utförts med killås och med fast dyna (bh 2 och 4) kan man ej urskilja någon entydig tendens, dock erfordras mellan 20 och 25 m djup väsentligt färre slag vid sonderingen med killås. Man skall dock märka, att den intermittenta vridningen fått en temporärt betydligt större effekt på sonderingsmotståndet vid sonderingen med fast slagdyna. Av dessa försök bör man därför ej dra några slutsatser beträffande olikheter i sonderingsmotstånd vid användning av fast dyna respektive killås.

Resultaten av försöken vid Albysjön redovisas, dels i vanliga hejarsonderingsdiagram (FIG. 26), dels i form av summakurvor (FIG. 27). Om man först i FIG. 26 studerar sonderingsdiagrammens form finner man främst en påtaglig reduktion av sonderingsmotståndet vid vridning av sondstängen (bh 4). Man kan också se att det liksom vid tidigare försök blivit en reduktion av sonderingsmotståndet vid övergång från traditionell hejarsondering till sondering med frifallshejare.

Av diagramformen kan man vidare se att man vid traditionell sondering erhållit större ojämnheter i diagrammet än vid sondering med frifallshejare. Detta får i viss mån anses bero på svårigheterna att hålla slageffekten konstant genom hela sonderingen. Ojämnheterna beror naturligtvis också på skifte av killås samt intermittent, ej registrerad vridning vid stängskarvning.

Vid studium av summakurvorna (FIG. 27) finner man att reduktionen av totalmotståndet vid övergång från traditionell hejarsondering till frifallshejare är stor endast ned till ca 20 m djup. Ned till ca 10 m djup erfordras med frifallshejare och 60 cm fallhöjd ca 60% av antal slag för traditionell sondering.

Ned till ca 20 m djup ökar antal slag till ca 80% av det som erfordras vid traditionell sondering. I detta fall då vridning av stången utförts sparsamt och sonderingen skett under grundvattenytan har den större slageffekten med frifallshejaren fått en med djupet minskad betydelse för sonderingsmotståndet.

Vid jämförelse mellan resultat erhållna med killås respektive fast dyna kan man notera att man med den fasta dynan erhåller större nedträngning per slag i de övre delarna av sonderingshållet till ca 10 m djup men mellan 10 och 20 m djup är förhållandet det omvända. Mellan 20 och 30 m djup är summakurvorna i stort parallella, vilket innebär att sonderingsmotståndet varit detsamma.

3.3.2.2 Försök med olika fallhöjder för frifallshejaren

Som nämnts inledningsvis i avsnitt 3.3.2 utfördes 1967 i Duvåker och vid Albysjön försök med olika fallhöjder för frifallshejaren. Man valde då, dels 50 cm fallhöjd vilket motsvarar det europeiska förslaget till hejarsonderingsstandard, dels 60 cm som används vid traditionell sondering. Dessutom provades liksom tidigare vid Husby 76 cm fallhöjd, vilket som tidigare nämnts är den fallhöjd som används vid Standard Penetration Test (SPT).

Försöksresultaten redovisas i form av summakurvor i FIG. 28 (Duvåker) och FIG. 29 (Albysjön).

Försöken vid Duvåker visar att man erhåller större nedträngning per slag med frifallshejaren och 50 cm fallhöjd än med den wireupphängda hejaren och 60 cm fallhöjd. Det åtgår härvid med frifallshejaren ca 80% av antal slag vid traditionell sondering.

Vid jämförelse mellan de tre kurvorna som visar försöken med frifallshejaren finner man att det ej råder direkt proportionalitet mellan fallhöjd och erforderligt antal slag för att nå ett visst djup. Ökningen av fallhöjden från 50 till 60 cm har en förhållandevis större effekt på nedträngningen än ökningen från 60 till 76 cm. Vid en ändring av fallhöjden från 50 till

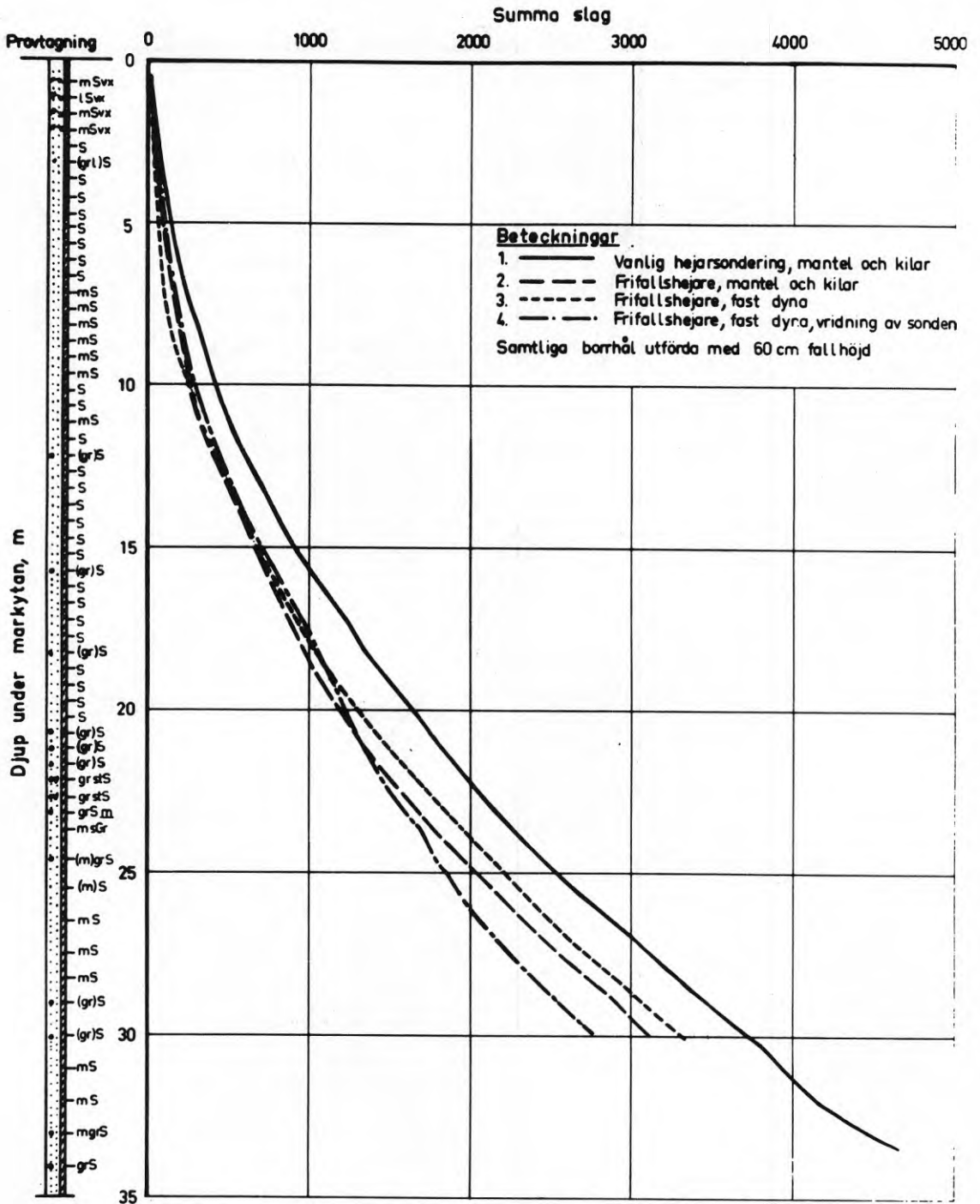


FIG. 28. Jämförelse mellan traditionell hejarsondering och hejarsondering med fritt fall, fast dyna och olika fallhöjder. Summakurvor. Försök i mellanjord vid Duvåker, maj 1967.

Comparison between the traditional method and the free-fall hammer with a fixed anvil at different heights of fall. Accumulated penetration resistance as a function of depth. Tests in a silty soil at Duvåker, May 1967.

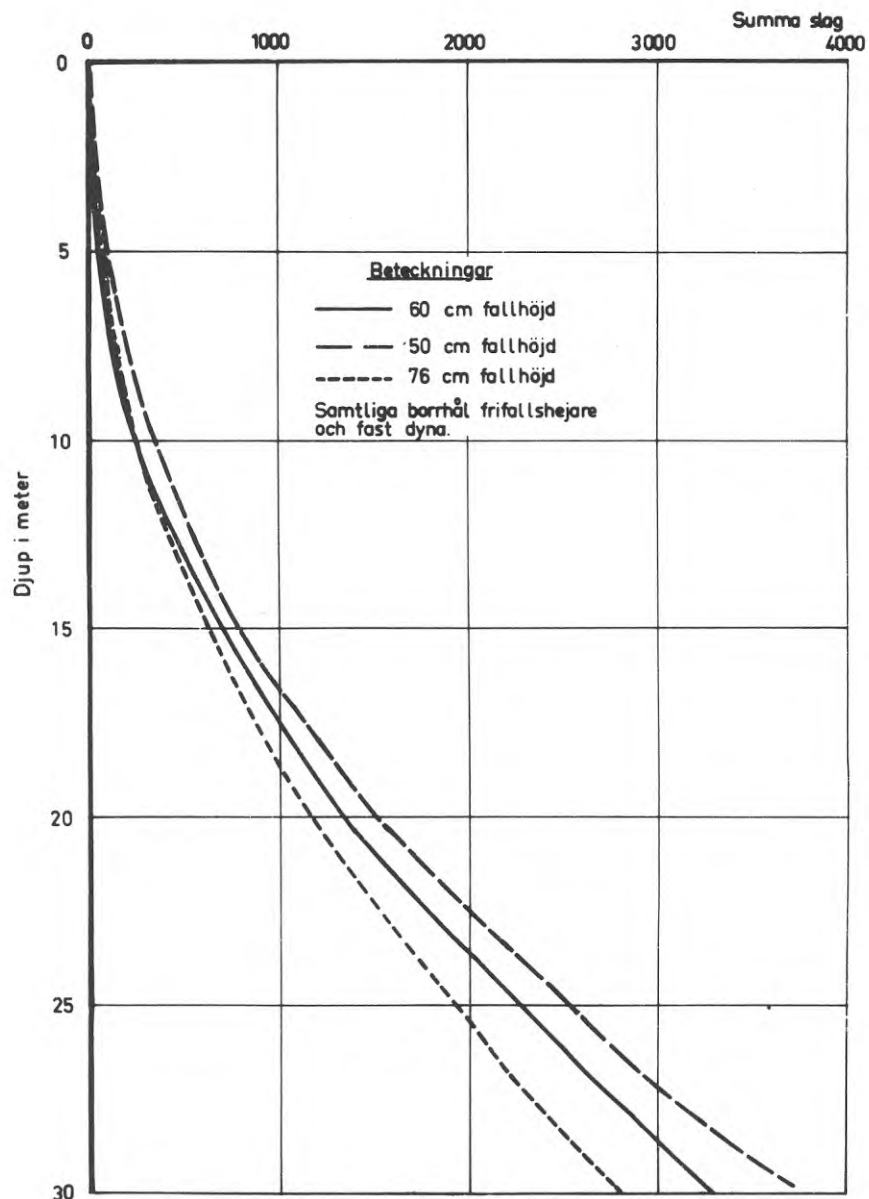


FIG. 29. Fallhöjdens betydelse vid sondering med fritt fall och fast dyna. Summakurvor. Försök i sand vid Alby-sjön, november 1967.

Accumulated penetration resistance as a function of depth at tests with different heights of free fall and a fixed anvil. Tests in sand at Alby-sjön, November, 1967.

60 cm reduceras antalet slag för att nå t ex 20 m djup till 80% av vad som gäller för 50 cm fallhöjd. Fallhöjden har då ökats med 20%. En ökning av fallhöjden med 50% (till 76 cm fallhöjd) medför att erforderligt antal slag för att nå 20 m djup reduceras till 70% av vad som erfordras med 50 cm fallhöjd.

Försöken vid Albysjön (FIG. 29) visar att man ej heller här har direkt proportionalitet mellan fallhöjd och erforderligt antal slag för att nå ett visst djup. Proportionaliteten är dock bättre här än vid Duvåker. Sålunda visar en jämförelse vid 25 m djup att en 25-procentig ökning av fallhöjden (från 60 till 76 cm) ger en minskning av sonderingsmotståndet med ca 10%. En ökning med 50% (från 50 - 76 cm) ger en minskning av sonderingsmotståndet med mellan 20 och 25%.

3.4. Stötvågsmätningar

Vid sammanstötning mellan två kroppar uppstår en stötimpuls (impuls = kraft x tid). Sambandet mellan kraft och tid under stötförloppet ger i ett kraft-tiddiagram en kurva som ofta kallas stötvåg. Impulsen representeras av den yta som innesluts mellan stötvågen och tidaxeln (horisontell).

3.4.1 Stötvågsteori

Beträffande teorin för stötvågsmätning hänvisas till Fischer (1961, 1962) och Fischer & Hellman (1963). I nämnda uppsatser visas att den maximala stötvågskraften P beror av hejarens anslagshastighet v_0 mot slagdynan. Anslagshastigheten v_0 beräknas vid fallhejare ur

$$v_0 = \sqrt{2gh'} \quad (11)$$

där h' = hejarens effektiva fallhöjd, motsvarande fritt fall

g = jordaccelerationen

på stångtoppen).

Teoretiskt påverkas inte stötens varaktighet av en ändring i hejarens anslagshastighet, dvs i fallhöjden (Fischer, 1961; Hellman, 1968).

Ett sätt att förlänga stötens varaktighet är att använda en längre hejare än den konventionella (steglängden T ökas). Vissa försök har gjorts med en 1,1 m lång hopvecklad 60 kg-hejare (Hellman, 1969). Denna förändring av hejaren ansågs emellertid inte tillföra metoden några väsentliga fördelar.

Stötvågsförloppet kan beskrivas grafodynamiskt enligt en av Fischer angiven metod. I FIG. 30 visas en grafodynamiskt konstruerad stötvåg (Fischer, 1961) för det fall hejarens area är sex gånger stångens. Trappstegskurvan grundar sig på ekv. (12), (13) och (14). Detta sätt att beskriva stötvågsförloppet blir emellertid relativt komplicerat om hänsyn skall tas till stötvågsmotståndet i såväl hejare, dyna som sondstång. Än mer komplicerat blir det om dynan är uppbyggd av mer än ett material (dämpande slagdyna), t ex av stål och gummi eller av tallriksfjädrar (se nedan). Någon sådan analys av stötvågsförloppet vid hejarsondering har inte gjorts i föreliggande utredning.

3.4.2 Utrustning för stötvågsmätning

På grund av hejarslaget uppkommer spänningar och deformationer i stångmaterialet. Trådtöjningsgivare fastlimmade på sondstångens yta kommer att utsättas för samma deformation som stångmaterialet varigenom en motståndsändring sker i givarna. Genom en elektrisk koppling, s k bryggkoppling, överförs motståndsändringen till en variation i elektrisk spänning. Denna kan registreras på ett oscilloskop och t ex avfotograferas från oscilloskopets bildskärm (se FIG. 31). Vid flertalet mätningar utnyttjades istället en till oscilloskopet kopplad databandspelare (se FIG. 31), vilket gav den stora fördelen att de på bandet lagrade mätsignalerna kunde arkiveras för senare detaljbearbetning av de erhållna stötvågorna.

Förskjutningsdiagram

Tillståndsdiagram

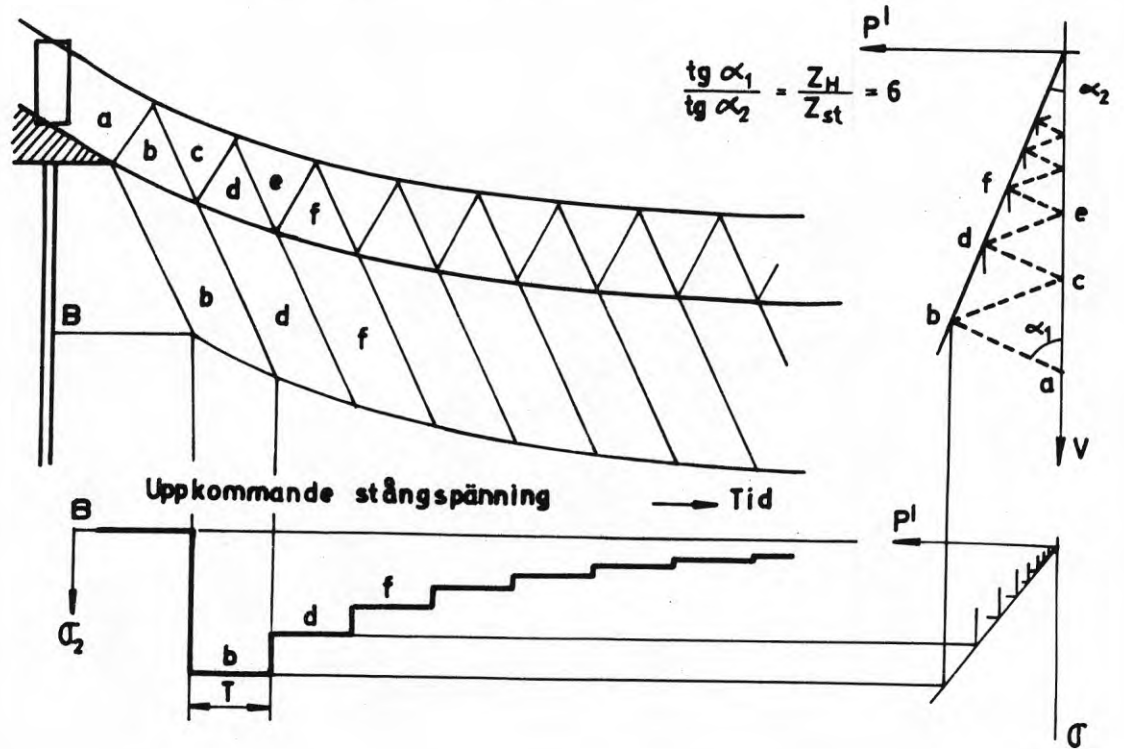


FIG. 30. Grafodynamisk konstruktion av stötvåg åstadkommen av cylindrisk hammare med 6 gånger större area än stången. Källa: Tryckluft nr 1, (Fischer, 1961).

Graphodynamical computation of shock wave produced by a cylindrical hammer thicker than the rod (area ratio = 6). Source: Tryckluft nr 1, (Fischer, 1961).

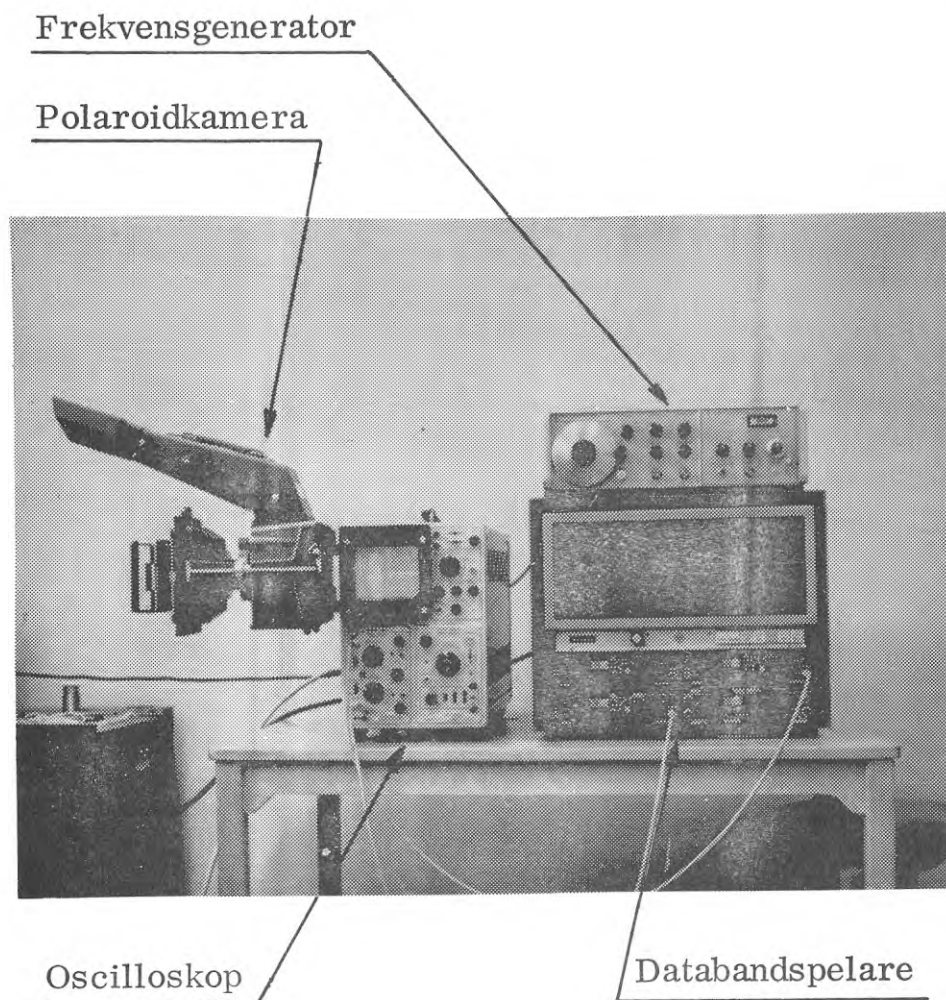


FIG. 31. Oscilloskop och databandspelare för stötvågsmätning.
Källa: IVA:s Pålkommissons Meddelande nr 16,
(Fjelkner, 1971).

Oscilloscope and data tape-recorder for shock wave measurements. Source: IVA:s Pålkommissons Meddelande nr 16 (Fjelkner, 1971).

Storleken av uppkommande stötvågskraften i slagdyna och sondstång är direkt proportionell mot partikelhastighetändringen i slagdynan, Δv .

$$\Delta v = \frac{Z_H}{Z_H + Z_D} \cdot v_0 \quad (12)$$

där $Z = \frac{A \cdot E}{c}$ = stötvågsmotstånd (akustisk impedans) med

index H för hejare och D för dyna

A = tvärsnittsarea

E = dynamisk elasticitetsmodul för stål

c = ljudets fortplantningshastighet i stål

Stötvågsteorin förutsätter att direkt proportionalitet råder mellan spänningen i sondstången och partikelhastighetsändringen i samma punkt på stången orsakad av hejarslaget.

Man kan visa, att stötvågens varaktighet T för det fall hejaren, dynan och sondstången har lika tvärsnittsarea och består av samma material är

$$T = \frac{2 L_H}{c_H} \quad (13)$$

där L_H = hejarens längd

c_H = ljudets fortplantningshastighet i hejaren

Hejaren och dynan (sondstången) har i detta fall samma stötvågsmotstånd, vilket medför att hejaren "hinner" överlämna hela sin energi till dynan (sondstången) under tiden T. Om hejaren, såsom vanligt är, har större stötvågsmotstånd än dynan och sondstången kan hejaren inte bromsas upp helt under tiden T, utan detta sker under en serie fram- och återgående reflexer i hejaren. I det allmänna fallet är då T "steglängden" i den trappstegscurva som härvid bildas. Förhållandet mellan kraften i två närliggande trappsteg är konstant

$$q = \frac{Z_H - Z_{St}}{Z_H + Z_{St}} = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_3}{P_2} = \frac{P_4}{P_3} = \dots \quad (14)$$

där Z = stötvågsmotståndet med index H för hejare och St för stång (i det fall hejaren slår direkt

Trådtöjningsgivarna var av typ Budd C6-141-R2TC, kopplade i fullbrygga.

Oscilloskopet var ett minnesoscilloskop av typ Tektronix 564 med bärfrekvensförstärkare typ 3C66 och tidbas 3B3. En polaroidkamera av typ C12 var monterad på oscilloskopet.

Databandsspelaren var av typ Precision Instrument 6200, vilken var försedd med fyra kanaler. Parallellt med slagningen kunde man dessutom tala in erforderliga uppgifter om slagningen på en talkanal.

3.4.3 Initialstötvågens form vid hejarsondering

Vid hejarsondering övergår hejarens fallenergi i stötenergi vid sammanstötningen med slagdynan. Stötenergin fortplantas via slagdynan ned genom stängerna i form av en tryckvåg med ljudets hastighet (för stål 5150 m/s). Vid hejarlaget alstras i stängerna ovanför slagdynan en dragvåg, vilken fortplantas uppåt och efter reflexion i stångtoppen övergår till en tryckvåg. Denna reflekterade tryckvåg når slagdynan $(2L_2/c) \cdot 1000$ ms efter anslaget, om L_2 betecknar ovanför slagdynan befintlig stånglängd (m) och c ljudets fortplantningshastighet i stål (m/s). Med en viss "eftersläpning" i förhållande till den direkta tryckvågen kommer alltså ytterligare en tryckvåg att fortplantas ned genom stängerna och överlagra den direkta vågen (jfr FIG. 36a). Vid hejarsondering med fritt fall och fast dyna är den totala stånglängden ovanför slagdynan numera ca 4,75 m (vid här redovisade försök 3,75 m). I normalfallet anländer sålunda den reflekterade tryckvågen till slagdynan 1,85 ms (vid försöken 1,45 ms) efter hejarens anslag.

Vid traditionell hejarsondering är stånglängden ovanför killåset inte fixerad utan varierar beroende på att killåset måste slås loss och flyttas upp allteftersom stängerna drivs ned i jorden. De vid traditionell hejarsondering använda stängerna har en längd av 3 meter. Stånglängden ovanför killåset varierar vanligtvis mellan 1 m och 4 å 5 m (beroende på när man utför

stångskarvningen). Detta innebär en fasförskjutning mellan den direkta och den reflekterade tryckvågen på 0,4 - 2,0 ms.

Vid slagning mot en fast slagdyna utan dämpande mellanlägg eller mot ett väl fastslaget killås kommer således den registrerade stötvågen att uppvisa två maxima.

Samtliga stötvågor som passerar en viss punkt på stången bidrar till formen på den där uppmätta resulterande stötvågen. Stötvågskraftens värde vid en viss tidpunkt motsvarar härvid den algebraiska summan med hänsyn till tecken (tryck- eller dragvåg) av stötvågskrafterna i respektive delstötvåg.

Den nedåtgående initialstötvågen utgörs av tryckspänningar. Det är först efter reflexion mot sondspetsen som dragvågor kan uppkomma (se nedan). Vid stötvågmätning är det den resulterande stötvågen som registreras.

Genom användning av dämpande slagdyna (fast dyna försedd med dämpande mellanlägg) kan kraftöverföringen till stången fördröjas beroende på att slagdynan genom dämpartillsatsen erhåller ett mindre stötvågsmotstånd (se 3.4.1) än i det odämpade fallet (dvs uttrycket q i ekv. (11) blir större).

Effekten av en sådan dämpning blir att den maximala stötvågskraften reduceras. Hejarslagets impuls förändras däremot ej av ett dämpande mellanlägg (förutsatt att mellanlägget är helt elastiskt). Den lägre maximala stötvågskraften måste därför åtföljas av antingen en längre stötvåg eller en mera "effektiv" stötvågsform (dvs en stötvåg som vid små motstånd driver stången under längre tid).

Som kommer att framgå av visade exempel på stötvågsformer (se 3.5) så försvinner de flesta "ojämnheter" i vågformen vid användning av dämpande slagdyna vilket sannolikt beror på att man får en jämnare överföring av stötkraften och undviker transversalsvängningar.

Initialstötvågen förändras på vägen från slagdynan genom stängerna till spetsen. En del energi förloras på grund av reflexioner i stångskarvarna. Det är därför viktigt att stängerna gängas samman noggrant. Genom vridningen vid det förbättrade sonderingsförfarandet kan mycket god sammandragning av stängerna uppnås. Vidare åtgår viss energi för att övervinna friktionskrafter mellan stångens mantelyta och omgivande jord.

Dessutom bör det påpekas att förhållandet mellan hejarvikt (63,5 kg) och stångvikt (6,3 kg/m) minskar med djupet, vilket försämrar effekten av hejarlaget. Hejarens vikt motsvarar stängernas vikt på 10 m djup. Vid 20 m blir förhållandet mellan hejarvikt och stångvikt 0,5 vilket enligt Sermes praxis (se 1.4) motiverar en ökning av hejarvikten till 90 kg.

Viss uppfattning om stötvågsformen på spetsnivån kan erhållas genom studium av formen hos den av spetsen reflekterade stötvågen, som når mätpunkten ($2L_1/c$) 1000 ms efter initialstötvågen. L_1 betecknar här stånglängd under mätpunkten (m) och c ljudets fortplantningshastighet i stål (m/s). Om jorden under sondspetsen har större stötvågsmotstånd än sondstängen reflekteras den ankommande tryckvågen som tryckvåg (jfr FIG. 42 b). Specialfallet att spetsen står mot berg visas i FIG. 36. Om jorden under sondspetsen har samma stötvågsmotstånd som sondstängen "märker" inte stötvågen att den lämnar sondstängen och går ut i jorden, varför ingen reflexvåg uppträder. Om slutligen jorden under sondspetsen har mindre stötvågsmotstånd än sondstängen reflekteras den ankommande tryckvågen som dragvåg (jfr FIG. 42 a).

I det följande redogörs för de försök med stötvågsmätning som avser bl a fallhöjdens inverkan på den maximala stötvågskraften vid fritt fall och fast dyna samt stötvågsformens beroende av slagdynans utformning vid dämpande mellanlägg. Dessutom lämnas några resultat från stötvågsmätningar i samband med fastslagning av killåset vid det traditionella förfarandet.

3.4.4 Försök med olika fallhöjder

Vid försöksplatserna Ultuna och Albysjön utfördes en serie försök med olika fallhöjder under samtidig stötvågsmätning. Trådtöjningsgivarna var placerade 0,6 m under den fasta slagdynan och stånglängden ovanför slagdynan var 3,75 m. (Styr-rörets längd har senare utökats till 4 m varigenom stånglängden ovanför slagdynan blir 4,75 m.) Stötvågsmätningarna i Ultuna utfördes efter att sonden drivits genom det 40 m mäktiga lerlagret till stopp mot block eller berg. (Jordlagerförhållandena vid Ultuna har beskrivits i avsnitt 2.4.1.) Vid Albysjön utfördes stötvågsmätningar när sondspetsen befann sig på ca 30 m djup i det betydligt mer än 30 m mäktiga sandlagret (se jordlagerbeskrivning i avsnitt 2.2.2). Den maximala stötvågskraftens variation med fallhöjden framgår av FIG. 32. Diagrammet visar resultat från försök utan dämpning. Resultaten från en serie där den fasta slagdynan var försedd med en 6 mm gummiplatta som dämpande mellanlägg har lagts in på samma figur som jämförelse. I båda fallen erhålls en maximal stötvågskraft, som växer linjärt med kvadratroten ur fallhöjden. Som framgår av de båda försöksserierna utan mellanlägg har materialet under spetsnivån som väntat ingen inverkan på initialstötvågskraftens maximalvärde. Vid tidpunkten för registreringen av detta maximalvärde föreligger nämligen ingen information i mätpunkten om jordlagerförhållandena närmast under spetsnivån.

Vid en fallhöjd av 50 cm och fast dyna utan mellanlägg uppgår den maximala stötvågskraften till ca 83 kN. Om 6 mm gummi-mellanlägg placeras på slagdynan minskas den maximala stötvågskraften till ca 60 kN, dvs en minskning med ca 25% (beräknande dämpningsförsöken se vidare avsnitt 3.5).

3.4.5 Killåsets glidning vid traditionell hejarsondering

Killåset fungerar i princip som ett dämpande mellanlägg, där dämpningseffekten bestäms av killåsets rörelse i förhållande till sondstängen. Ju större glidningen är desto kraftigare blir dämpningen. Eftersom impulsen (= kraft x tid) teoretiskt är

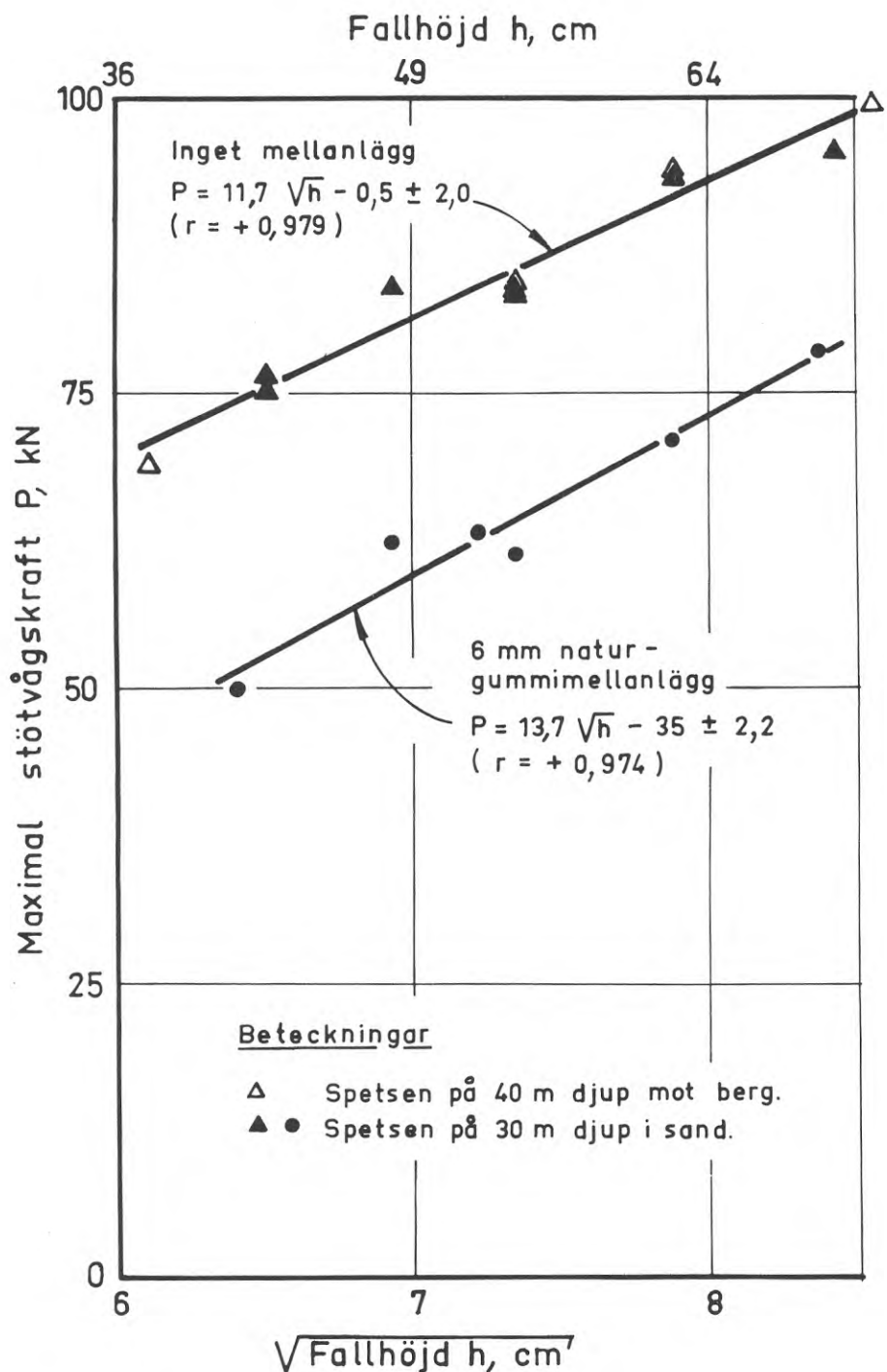


FIG. 32. Resultat av stötvågsmätning med olika fallhöjder. Fritt fall och fast dyna med respektive utan dämpande mellanlägg. Försök i lera vid Ultuna, april 1969 och i sand vid Albysjön, maj 1969.

Results from shock wave measurements at tests with different heights of free fall and a fixed anvil with and without a cushion. Tests in clay at Ultuna, April 1969 and in sand at Albysjön, May 1969.

densamma vid varje hejarslag förutsatt att den "effektiva" fallhöjden hålls konstant, så resulterar dämpningen i en längre varaktighet hos stöten, och en lägre maximal stötvågs kraft. Under sonderingens gång måste killåset då och då slås loss och flyttas upp. Detta upprepas som tidigare angivits efter ungefär varje 1 - 1,5 m nedträngning hos sonden. Antalet slag innan flyttning blir aktuell varierar därför med sonderingsmotståndet. Stötvågsmätningar vid SGI i september 1969 utförda under en serie slag omedelbart efter flyttning av killåset visar (FIG. 33) att den maximala stötvågs kraften under de första 20 å 50 slagen växer från ca 10 kN (1 Mp) till 50 å 60 kN (5 å 6 Mp). Glidningen per slag avtar samtidigt från 5 mm om killåset anbringas på ny sondstång ned till 0,5 å 1 mm. Vid användning av en kraftigt sliten sondstång, dvs stång med ytojämnhet efter borryft, var glidningen i början 11 mm per slag. Fortfarande efter 300 å 400 slag kunde en glidning av 0,2 mm per slag observeras hos killåset. Den maximala stötvågs kraften var då ca 70 kN (7 Mp). Man kan betrakta killåset som väl fastslaget när den maximala stötvågs kraften uppgår till 50 å 60 kN (5 å 6 Mp). Det bör observeras att kilarna i killåset förslits och så småningom måste bytas ut. Vid användning av utslitna kilar kan tillräcklig klämkraft inte uppnås i killåset, beroende på att kilarna alltför lätt slås in mellan manteln och sondstången. Exempel på stötvågsformer vid olika grader av fastslagning av killåset visas i FIG. 34. Dessa försöksresultat härstammar från stötvågsmätningar vid Albysjön i maj 1969 (där sondspetsen befinner sig i sand). En tidigare undersökning av Hellman (1969) gav liknande resultat beträffande effekten av killåsets glidning.

3.5 Utprovning av dämpande mellanlägg med stötvågsmätning

I Europa tillämpas relativt allmänt fallhöjden 50 cm (jfr t ex DIN 4094), varför denna fallhöjd bedömdes lämplig även som svensk standard. Med hänsyn till bl a stängernas hållbarhet måste en reduktion av den maximala stötvågs kraften åstadkommas vid 50 cm fritt fall och fast dyna. Detta sker enklast medelst ett lämpligt utformat mellanlägg som placeras på den fasta

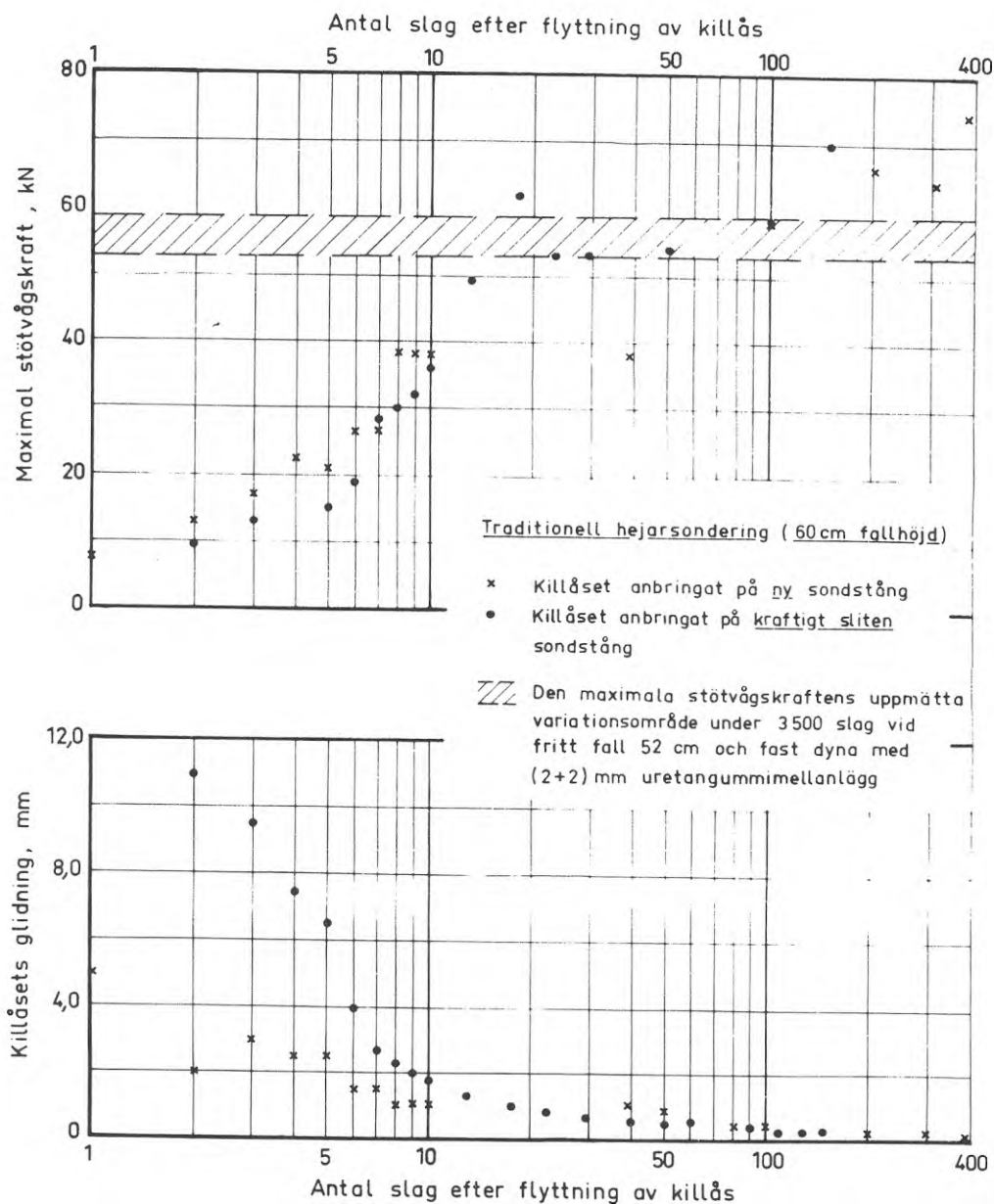
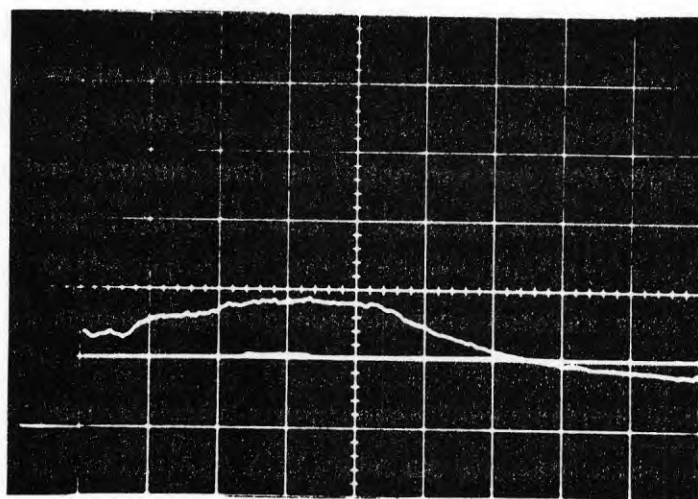
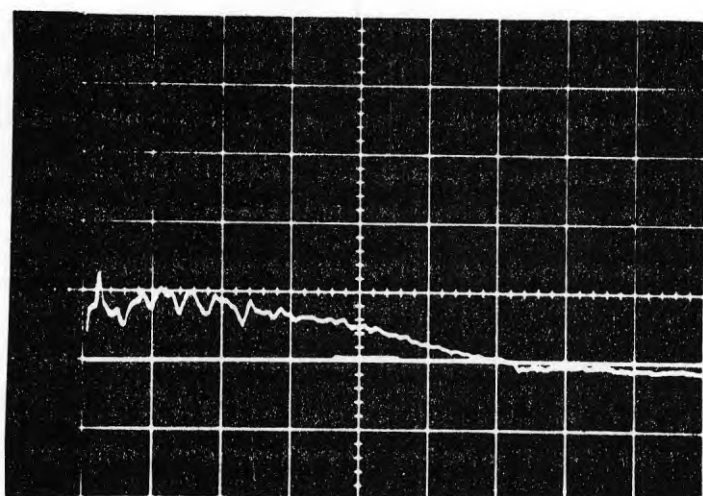


FIG. 33. Den maximala stötvågskraftens variation under ett antal slag efter omsättning av killlåset vid traditionell hejarsondering jämfört med motsvarande kraft vid 52 cm fritt fall och fast dyna försedd med (2 + 2) mm uretangummimellanlägg. Killlåset anbringat på stång med i ena fallet jämn yta i andra fallet ojämn yta (av borrhylft). Försök vid SGI, september 1969.

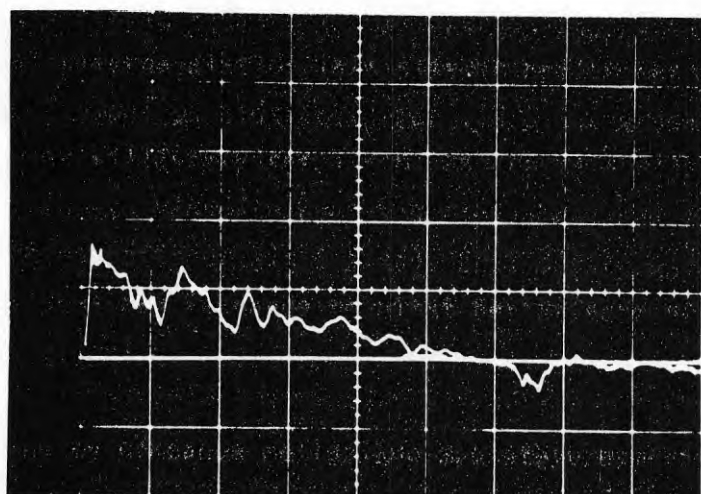
Variation of the maximum intensity of the stress wave at driving after a reset of the traditional anvil (traditional method) compared to the corresponding force at tests with 52 cm height of free fall and a fixed anvil with a cushion of two 2 mm thick plates of uretan rubber. The traditional anvil was attached to a rod with a smooth surface and a raw surface, respectively. Tests at SGI, September 1969.



a) Slag nr 1



b) Slag nr 9



c) Slag nr 16

Dragreflex från spetsen ↑

FIG. 34. Exempel på stötvågor vid traditionell hejarsondering där killåset har uppnått olika grad av fastslagning efter omsättning. Försök i sand vid Albysjön, maj 1969.

The shape of the shock wave at different number of blows after a reset of the traditional anvil. Tests in sand at Albysjön, May 1969.

slagdynan. Som nämndes i avsnitt 3.4.4 uppgår den maximala stötvågskraften vid 50 cm fritt fall och fast slagdyna utan mellanlägg till ca 83 kN, vilket är 20 å 25 kN mer än vid traditionell hejarsondering. I det följande lämnas en redogörelse för de försök som har gjorts i samband med utprovningen av ett dämpande mellanlägg.

3.5.1 Inledande försök med dämpande mellanlägg vid Ultuna, april 1969

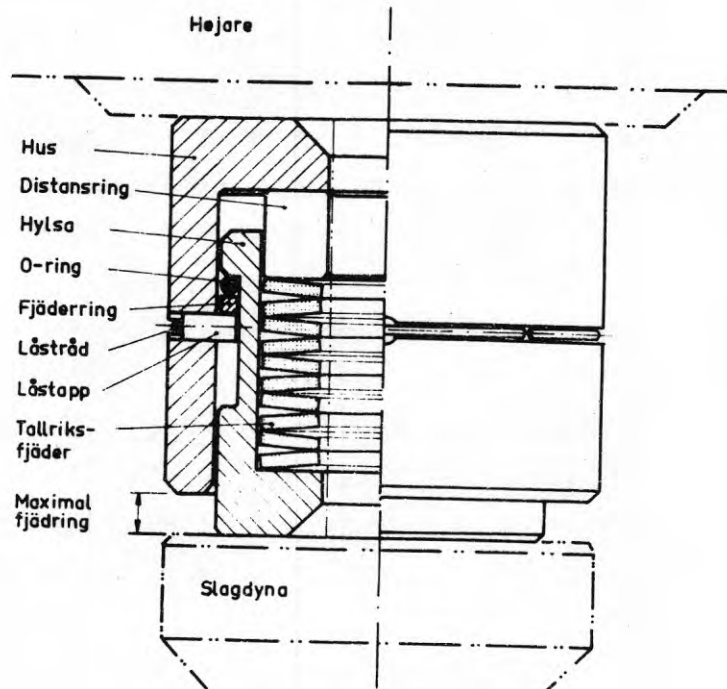
För att erhålla en uppfattning om hur olika typer av mellanlägg påverkar stötvågsformen provades vid Ultuna i april 1969 några olika mellanlägg. Mellanläggen bestod av koppar-, aluminium- och blyplattor, gummi samt ett speciellt utformat tallriksfjäderpaket.

Metallplattorna med 10 mm tjocklek var olämpliga som dämpande mellanlägg, beroende på att de deformerades. Redan efter ett måttligt antal slag hade de tillplattats, så att tjockleken nedgått till hälften av den ursprungliga. Det kan nämnas att den maximala stötvågskraften t o m blev större vid användning av dessa plattor än när slagdynan saknade mellanlägg. Detta torde bero på att metallplattan genom slagningen formades efter slagdynan och hejarens underyta, varigenom kraftöverföringen kunde ske med mindre energiförlust än vid slagning utan mellanlägg.

Fjädermellanlägget var sammansatt av tio tallriksfjädrar 71 x 4,0 SMS 2313, vilka låg vända topp mot topp och bas mot bas. Mellanlägget var så utformat (se FIG. 35) att tallriksfjädrarna kunde erhålla en största relativ sammantryckning av ca 75%. Om uppkommande stötvågskrafter momentant översteg den största tillåtna (motsvarande utnyttjad tillåten fjädring hos tallriksfjädrarna) överfördes dessa toppkrafter odämpade, man erhöll s k genomslag. Det visade sig att en stor del av stötvågen förblev odämpad vid användning av detta mellanlägg (alt. 1 i FIG. 35) beroende på för stor mjukhet hos fjäderkombinationen. Vid en senare försöksserie med fjädermellanlägg (Albysjön,

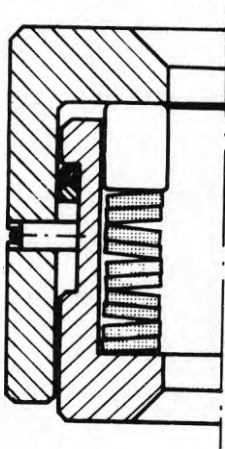
Alt. 1

10 × 1 st tallriksfjädrar *)
 Överförd max. kraft 21 kN
 Max. fjädring 12 mm



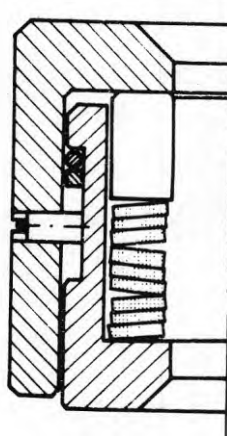
Alt. 2

5 × 2 st tallriksfjädrar *)
 Överförd max. kraft 37 kN
 Max. fjädring 5,0 mm



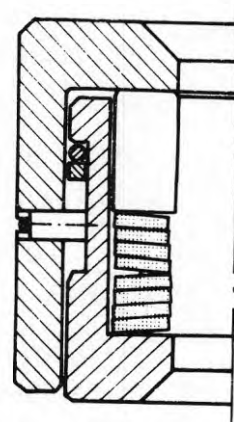
Alt. 3

3 × 3 st tallriksfjädrar *)
 Överförd max. kraft 67 kN
 Max. fjädring 4,0 mm



Alt. 4

2 × 4 st tallriksfjädrar *)
 Överförd max. kraft 97 kN
 Max. fjädring 3,0 mm



*) Tallriksfjädrar 71 × 4,0 SMS 2313

FIG. 35. Fjädermellanläggets konstruktion och sammansättning för att uppnå olika "hårdhet".

Plate spring cushions of different hardness.

maj 1969) arrangerades tallriksfjädrarna så att mellanlägget kunde överföra större krafter utan genomslag (dessa försök diskuteras närmare i avsnitt 3.5.2.1).

Som ytterligare ett alternativ provades som mellanlägg en 6 mm platta av naturgummi av den typ som används för att dämpa stöten av lyfthuvudet när detta faller ned på hejaren. Gummimellanlägget gav en stötvåg som inte uppvisade några hack till följd av reflexioner av den typ som förekommer i det odämpade fallet. I FIG. 36 visas exempel på stötvågor från försök utan dämpande mellanlägg, med aluminiummellanlägg och med 6 mm gummimellanlägg.

En sammanställning av samtliga stötvågsmätningar (16 serier) vid Ultuna återfinns i TAB. 3. För respektive serie har ett medelvärde på den maximala stötvågskraften P beräknats, liksom tillhörande standardavvikelse och relativ standardavvikelse.

Med ledning av resultaten från dessa inledande försök beslöts att ytterligare prova gummi som mellanlägg samt efter "förstärkning" av fjädermellanlägget undersöka även detta närmare.

3.5.2 Fortsatta försök med dämpande mellanlägg vid Albysjön, maj 1969

Stötvågsmätningarna vid Albysjön i maj 1969 utfördes på hejarsonderingsstänger vars totala längd i jord uppgick till ca 30 m. Jorden består huvudsakligen av sand (se jordlagerbeskrivning i avsnitt 2.2.2). Vid dessa mätningar provades som mellanlägg naturgummiplattor av olika tjocklek och "tallriksfjäderpaket" av olika "hårdhet".

3.5.2 Försök med fjädermellanlägg

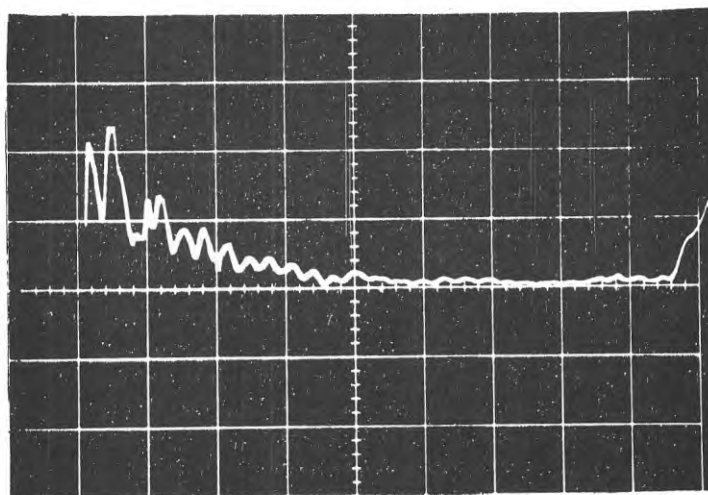
Fjädermellanläggets konstruktion framgår av FIG. 35 där de vid Albysjön använda mellanläggen har benämnts alt. 2, alt. 3 respektive alt. 4 (se även bild i FIG. 37). Mellanlägg enligt alt. 1 användes i de inledande försöken vid Ultuna i april 1969 (se 3.5.1) och visade sig som ovan nämnts vara för mjukt.

TAB. 3 Sammanställning av utförda försöksserier med stötvägs-mätning, Ultuna, april 1969.

Serie nr	Metod ^a	Fall-höjd mellanlägg	Avstånd dyna-mät punkt	Stång-längd ovanför dynan	Maximal stötvägs-kraft, P (medel-värde)	Standard-avvikelse	Relativ standard-avvikelse	Anmärkning
1	B	-	1,1	3,7	-	-	-	Ej fastslaget killås
2	B	-	1,1	3,7	67,9	1,8	3,1	Ca 60 slag efter flyttning av killås
3	B	-	1,1	3,7	-	-	-	Slag 1-10 efter flyttning av killås
4	A	Inget	0,6	3,75	68,9	3,1	4,5	
5	A	Inget	0,6	3,75	80,6	4,6	5,75	
6	A	Fjädrar, alt 1	0,6	3,75	46,5 (38,9)	4,4 (0,95)	9,5 (2,45)	Slag 1-5 (Slag 6-10)
7	A	Koppar, 10 mm	0,6	3,75	77,0	3,3	4,35	Slag 1-10
8	A	Koppar, 10 mm	0,6	3,75	92,0	8,5	9,3	Efter ytterligare 100 slag
9	A	Alumin., 10 mm	0,6	3,75	84,4	8,6	10,2	Slag 1-10
10	A	Alumin., 10 mm	0,6	3,75	84,8	7,0	8,3	Efter ytterligare 100 slag
11	A	Gummi, 6 mm	0,6	3,75	69,3	1,9	2,75	Gummi med vävinlägg. Slag 1-10
12	A	Gummi, 6 mm	0,6	3,75	70,2	2,7	3,8	Efter ytterligare 100 slag
13	A	Inget	0,6	3,75	84,5	5,2	6,15	Samma som serie 5
14	A	Inget	0,6	3,75	84,2	2,0	2,4	Samma som serie 5
15	A	Inget	0,6	3,75	94,0	4,1	4,35	
16	A	Inget	0,6	3,75	99,5	3,7	3,55	

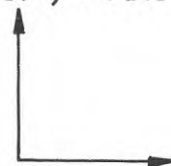
^aMetod A = Fritt fall, fast dyna

Metod B = Traditionell hejarsondering (killås och medlöpande wirar)



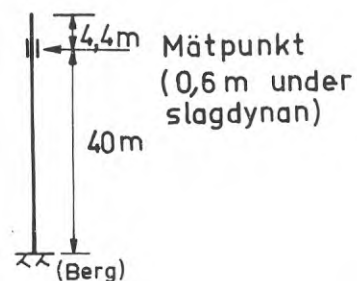
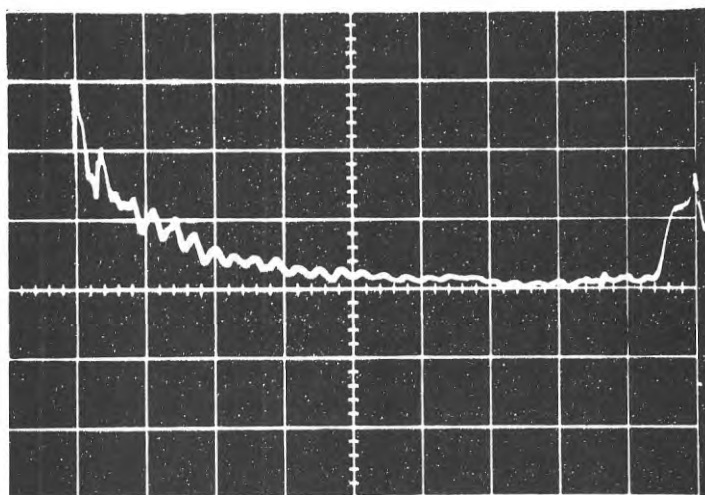
Tryckreflex från spetsen ↑

Kraft, 1 ruta = 34 kN



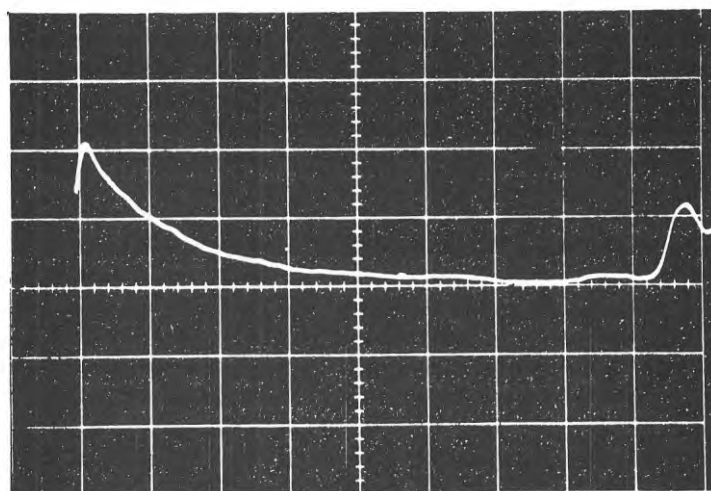
Tid, 1 ruta = 2 ms

a) Inget mellanlägg



b) Aluminiummellanlägg

Max. stötvågskraften större än enl. a)



c) 6 mm gummimellanlägg

Ger en "renare" stötvåg

FIG. 36. Exempel på stötvågor vid 54 cm fritt fall och fast dyna utan respektive med olika typer av mellanlägg. Försök i lera vid Ultuna, april 1969.

Measured shock waves at tests with 54 cm height of free fall and a fixed anvil with and without a cushion. Tests in clay at Ultuna, April 1969.

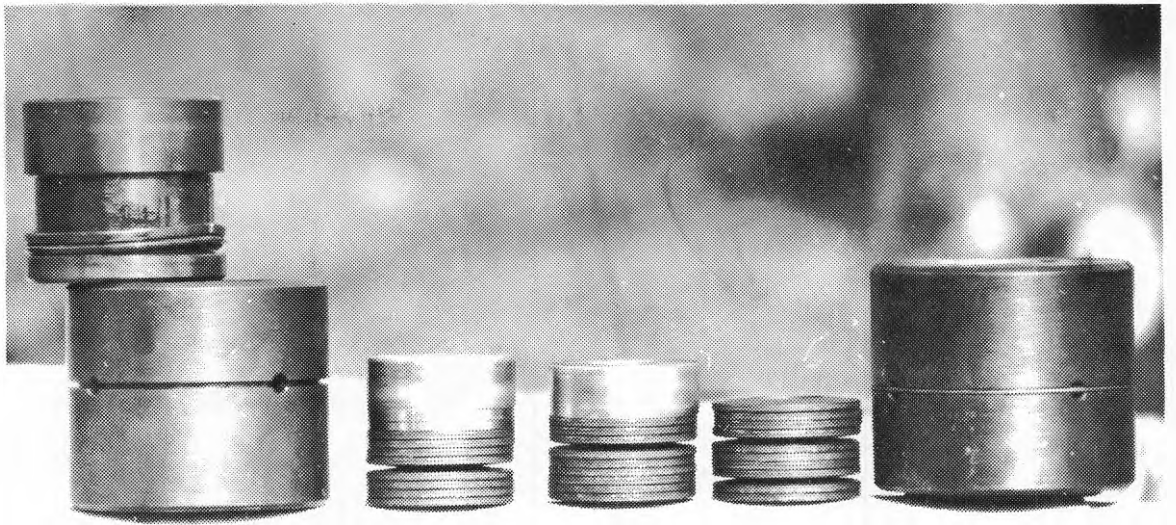


FIG. 37. Isärtaget fjädermellanlägg. Tallriksfjäderpaketen på bilden representerar från vänster alt 4, alt 3 och alt 2 med tillhörande distansringar.

Plate spring cushion dismantled. The three plate spring piles in the middle of the picture stand for (from the left) alt 4, alt 3 and alt 2, respectively.

Fjädringsegenskaperna hos fjädermellanläggen undersöktes genom statiska belastningsförsök i tryckpress där den påförda lasten registrerades med kraftgivare och deformationen avlästes på mätklockor vars noggrannhet uppgick till 1/100 mm. Resultaten från dessa belastningsförsök, vilka endast avser pålastningsgrenen, redovisas i FIG. 38.

I FIG. 35 anges för respektive alternativ vilka största statiska krafter som kan överföras utan genomslag och motsvarande största fjädring. Motsvarande dynamiska krafter kan dock vara större. Vid uppträdande större krafter överförs viss del odämpad.

En sammanställning av samtliga stötvågsmätningar vid Albysjön, däribland försöken med fjädermellanlägg återfinns i TAB. 4. Vid stötvågsmätningarna varierades fallhöjden. Varje serie omfattar 10 slag med hejaren. Serierna 23 t o m 30 (8 serier) utgör försök med fjädermellanlägg. Under varje serie mättes sondens sjunkning för 10 slag. Sonderingsmotståndet kan antas vara relativt konstant inom det begränsade djupintervall där mätningarna utfördes, varför sjunkningsbeloppen omräknade till sonderingsmotstånd har kunnat ställas i relation till uppkommande maximala stötvågskrafter (se avsnitt 3.5.4). För respektive serie har ett medelvärde på den maximala stötvågskraften P beräknats, liksom tillhörande standardavvikelse och relativ standardavvikelse.

Vid användning av fjädermellanlägg påverkas stötvågsformen av huruvida mellanlägget överför uppträdande stötvågskrafter med eller utan genomslag. Om mellanlägget är för mjukt med hänsyn till den aktuella kraftens storlek kommer maximikraften att överföras odämpad, vilket i stötvågen framträder i form av en brytpunkt strax före respektive strax efter den maximala stötvågskraften. Mellan brytpunkterna motsvarar stötvågens lutning den lutning som erhålls vid helt odämpat slag. I FIG. 39 har sammanställts stötvågsformer från serierna 23 t o m 30. Som framgår av försöken med 54 cm fallhöjd ger alt. 2, alt. 3 och alt. 4 i stort sett samma maximala stötvågskraft beroende på att stötvågen för både alt. 2 och alt. 3 uppvisar genomslag.

TAB. 4 Sammanställning av utförda försöksserier med stötvägs-mätning, Albysjön, maj 1969.

Serie nr	Metod ^a	Fallhöjd	Typ av mellanlägg	Sjunkning	Antal slag	Avstånd dyna-mät-punkt	Stång-längd ovanför dynan	Maximal stötvägs-kraft, P (medel-värde)	Stånd-avvikelse	Relativ stånd-avvik.	Anmärkning
		cm		mm		m	m	kN	kN	%	
1	A	54	Inget	26	10	0,6	3,75	74,5	2,3	3,0	10 slag utan vridning
2	A	54	Inget	66	12	0,6	3,75	78,0	3,2	4,15	12 slag, 30° vridning/slag
3	A	54	Inget	50	10	0,6	3,75	82,8	2,2	2,6	1 varvs vridning, därefter 10 slag utan vridning
4	A	54	Gummi, 6 mm	40	10	0,6	3,75	61,6	3,4	5,5	Ej vridning. Väl använt gummi.
5	A	41	Gummi, 6 mm	20	10	0,6	3,75	49,9	4,6	9,3	Ej vridning. Väl använt gummi.
6	A	42	Inget	30	10	0,6	3,75	75,3	5,9	7,85	Ej vridning
6a	A	42	Inget	30	10	0,6	3,75	76,6	2,7	3,5	Samma som serie 6
7	A	48	Inget	35	10	0,6	3,75	84,1	1,6	1,85	Ej vridning
8	A	48	Gummi, 6 mm	30	10	0,6	3,75	62,4	2,7	4,4	Ej vridning. Väl använt gummi.
9	A	62	Gummi, 6 mm	30	10	0,6	3,75	71,3	2,4	3,53	Ej vridning. Väl använt gummi.
10	A	62	Inget	30	10	0,6	3,75	93,6	1,8	1,95	Ej vridning
11	A	71	Inget	35	10	0,6	3,75	95,6	2,1	2,2	Ej vridning
12	A	70	Gummi, 6 mm	35	10	0,6	3,75	78,5	1,7	2,15	Ej vridning. Väl använt gummi.
13	B	60	-	10	10	1,1	3,7	-	-	-	Slag 1-10 efter flyttning av källas.

TAB. 4 Forts.

Serie nr	Metod ^a	Fall- höjd	Typ av mellanlägg	Sjunkning	Antal slag	Avstånd dyna- mätpunkt	Stång- längd ovanför dynan	Maximal stötvägs- kraft, P (medel- värde)	Stån- dard- avvi- kelse	Rela- tiv stån- dard- avvik.	Anmärknin- gar	
		cm		mm		m	m	kN	kN	%		
<u>Serie 13 slag för slag</u>												
											Slag nr	Glidning i killås mm
											1	8
											2	2
											3	1,5
											4	1
											5	0,8
											6	1
											7	1
											8	1
											9	1
											10	0,6
14	B	60	-	20	10	1,1	3,7	56,0	2,5	4,4	Slag 11-20 efter flyttning av kill- lås(1,5 mm glidning i killlåset per 10 slag)	
15	A	55	Inget	20	10	0,6	3,75	81,5	4,8	5,9	Serierna 15-30 utförda utan vridning i ett hål där ingen vridning av sondstången förekommit under sonde- ringen	
16	A	55	Inget	35	10	0,6	3,75	78,0	2,1	2,75	Slag 1-10 efter nattuppehål11	
17	A	55	Gummi, 4 mm	17	10	0,6	3,75	67,3	6,1	9,0	Slag 11-20 efter nattuppehål11	
18	A	50	Gummi, 9,5 mm	23	10	0,6	3,75	56,4	0,75	1,35	Nytt gummi	
19	A	50	Gummi, 18 mm	20	10	0,6	3,75	42,0	0,75	1,8	Gummi med vävinlägg	
											Nytt gummi	

TAB. 4 Forts.

Serie nr	Metod ^a	Fallhöjd	Typ av mellanlägg	Sjunkning	Antal slag	Avstånd dynamät punkt	Stånglängd ovanför dynan	Maximal stötvågs-kraft, P (medel-värde)	Standardavvikelse	Relativ standardavvik.	Anmärkningar
		cm		mm		m	m	kN	kN	%	
20	A	52	Gummi, 3 mm	20	10	0,6	3,75	62,0	1,5	2,45	Nytt gummi
21	A	52	Gummi, 6 mm	25	10	0,6	3,75	63,1	2,2	3,45	Nytt gummi
22	A	54	Inget	35	10	0,6	3,75	83,8	3,0	3,6	
23	A	54	Fjädrar, alt 4	27	10	0,6	3,75	59,3	0,75	1,25	
24	A	54	Fjädrar, alt 2	27	10	0,6	3,75	64,6	1,5	2,35	
25	A	41	Fjädrar, alt 2	24	10	0,6	3,75	49,0	1,9	3,8	
26	A	41	Fjädrar, alt 4	24	10	0,6	3,75	48,6	2,9	5,9	
27	A	63	Fjädrar, alt 4	37	10	0,6	3,75	66,9	0,75	1,25	
28	A	63	Fjädrar, alt 3	30	10	0,6	3,75	66,1	1,9	2,85	
29	A	54	Fjädrar, alt 3	30	10	0,6	3,75	58,4	1,2	2,05	
30	A	34	Fjädrar, alt 3	25	10	0,6	3,75	43,0	1,2	2,75	

^aMetod A = Fritt fall, fast dyna

Metod B = Traditionell hejarsondering (killas och medlöpande wirar)

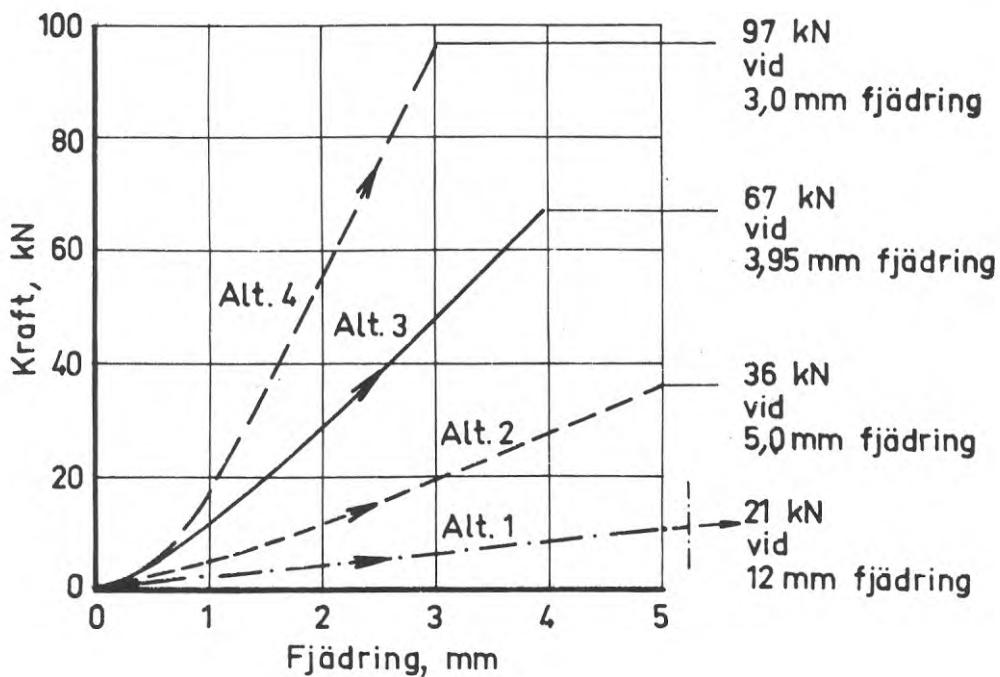
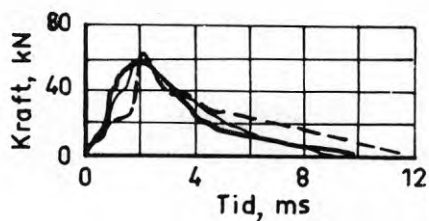


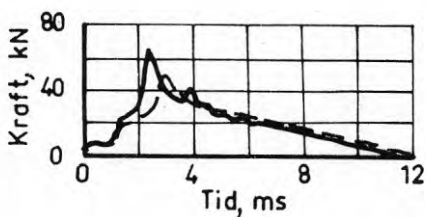
FIG. 38. Resultat från statiska belastningsförsök på de använda fjädermellanlägggen. Kurvorna avser endast pålastningsgrenen.

Results from static load tests on the plate spring combinations used in the tests. The curves refer only to the loading-branch.



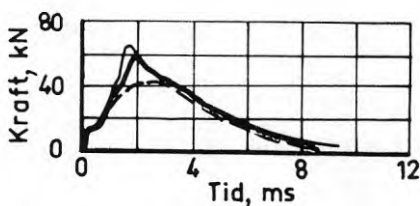
54 cm fallhöjd

--- Fjädermellanlägg, alt. 2 (serie 24)
 — " — , alt. 3 (serie 29)
 — " — , alt. 4 serie 23)



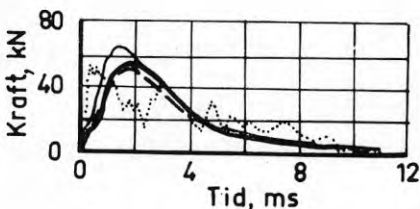
Fjädermellanlägg, alt. 2

--- 41 cm fallhöjd (serie 25)
 — 54 cm — (serie 24)



Fjädermellanlägg, alt. 3

--- 34 cm fallhöjd (serie 30)
 — 54 cm — (serie 29)
 — 63 cm — (serie 28)



Fjädermellanlägg, alt. 4

--- 41 cm fallhöjd (serie 26)
 — 54 cm — (serie 23)
 — 63 cm — (serie 27)
 Trad. hejarsondering (80cm fh),
 slag 16 efter flyttning av
 killås (serie 14)

FIG. 39. Stötvågsform vid slagning med fritt fallande hejare mot fast dyna försedd med olika fjädermellanlägg. Försök med olika fallhöjder och jämförelse med stötvågsform vid traditionell hejarsondering.

The shape of the shock wave at tests with a free-fall hammer and a fixed anvil with different types of plate spring cushions. Tests with different heights of free fall and a comparison with the shock wave obtained at traditional ram-sounding test.

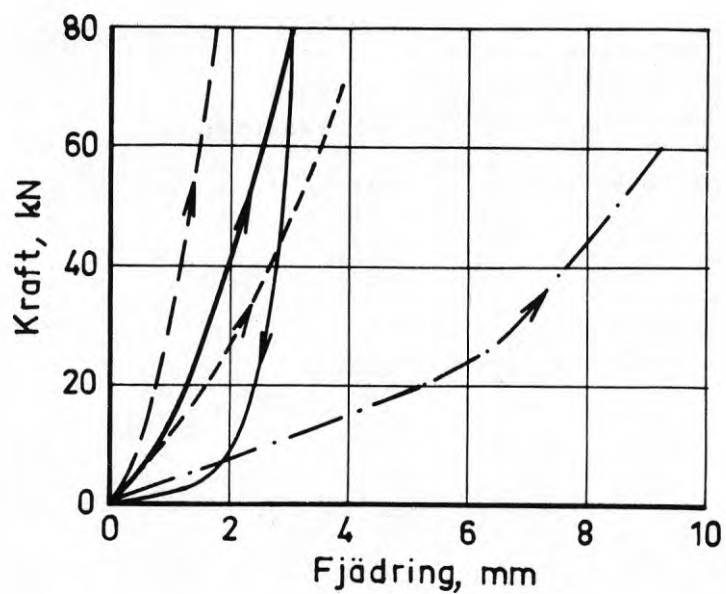
Vid alt. 2 märks genomslaget efter ca 1,8 ms tydligt, liksom den ökade varaktigheten av stöten till följd av den långsamma kraftöverföringen (lång fjädringsväg). Den maximala stötvågs-kraften uppnås för alla mellanlägg efter ca 2 ms.

Efterföljande tre diagram i FIG. 39 visar effekten av varierande fallhöjd på stötvågens förlopp. Samtliga dessa diagram visar, som man kan förvänta, att en ökning av fallhöjden medför att den maximala stötvågskraften blir större och att den uppnås tidigare. Stötvågorna för alt. 4 uppvisar inget tecken på genomslag ens vid 63 cm fallhöjd. Den maximala stötvågskraften vid 54 cm fallhöjd (59,3 kN) är av samma storlek som den som erhålls med ett någorlunda fastslaget killås (se nedersta diagrammet). I FIG. 42 diagram c visas 10 varandra överlagrande stötvågor från försök med fjädermellanlägg alt. 4. Reproducerbarheten är som synes mycket god. Den korta stötvågen härrör från den stöt som uppstår när lyfthuvudet faller ned på hejaren för att hämta upp denna.

3.5.2.2 Försök med naturgummimellanlägg

Som en fortsättning på det intressanta försöket vid Ultuna med gummimellanlägg provades vid Albysjön ett flertal gummitjocklekar (3, 4, 6, 9,5 och 18 mm). Det använda gummimaterialet var av typ naturgummi. I FIG. 40 visas resultat från statiska belastningsförsök i tryckpress på gummiplattor av olika tjocklek (4, 6, 9,5 och 18 mm). Kurvorna avser endast pålastningsgrenen utom för 6 mm gummi, där även avlastningsgrenen redovisas. Som framgår av den sistnämnda kurvan är hysteresiseffekten ganska stor.

I FIG. 41 visas erhållna stötvågsformer vid olika gummimellanlägg. Ett mellanlägg med 3 mm tjocklek är som framgår av det övre diagrammet inte tillräckligt för att dölja tryckreflexen från stångtoppen, men redan ett mellanlägg med 4 mm tjocklek ger en mycket "ren" stötvåg. Vid ökning av tjockleken förlängs stötvågen så att stötvågsmaximum förskjuts framåt i tiden, åt höger. I det undre diagrammet visas fallhöjdens inverkan på

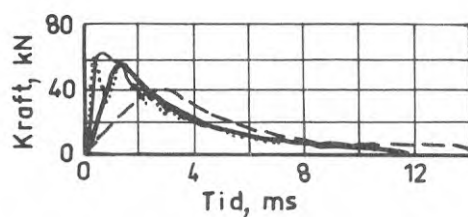


Beteckningar:

- — — — Gummi, 4 mm. (pålastning)
- Gummi, 6 mm (på-och avlastning)
- - - - Gummi, 9,5 mm (pålastning)
- · - · - Gummi, 18 mm (pålastning)

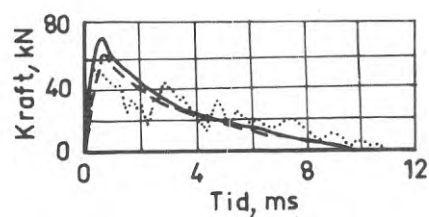
FIG. 40. Resultat från statiska belastningsförsök på några av de använda naturgummiplattorna.

Results from static load tests on some of the natural rubber plates used in the tests.



Naturgummi (svart), ca 50 cm fh

..... 3 mm tjocklek (serie 20)
 — 4 mm — (serie 17)
 — 9,5 mm — (serie 18)
 --- 18 mm — (serie 19)



6 mm naturgummi (svart)

--- 48 cm fallhöjd (serie 8)
 — 62 cm — (serie 9)
 Trad. hejarsondering (60 cm fh),
 slag 16 efter flyttning av
 killås (serie 14)

FIG. 41. Stötvågsform vid slagning med fritt fallande hejare mot fast dyna försedd med olika typer av naturgummimellanlägg. Försök med olika fallhöjder och jämförelse med stötvågsform vid traditionell hejarsondering.

The shape of the shock wave at tests with a free-fall hammer and a fixed anvil with different types of natural rubber cushions. Tests with different heights of free fall and a comparison with the shock wave obtained at a traditional ram-sounding test.

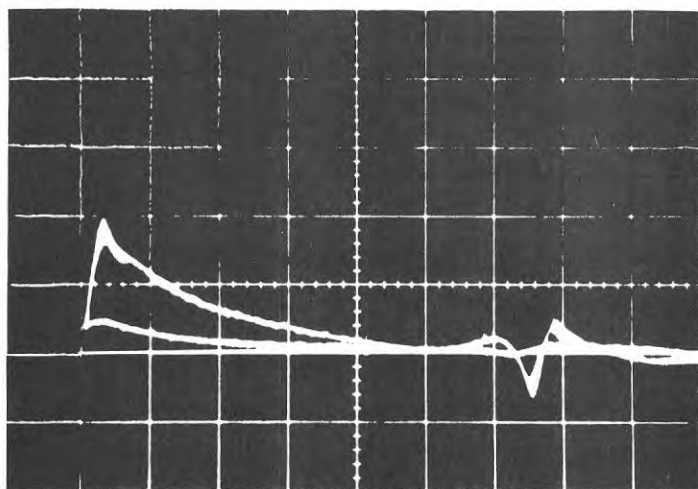
stötvågen vid 6 mm gummimellanlägg. För jämförelse har i detta diagram lagts in stötvågen för ett någorlunda fastslaget killås vid traditionell hejarsondering.

Även vid användning av gummimellanlägg erhålls en mycket jämn stötvågsform, vilket framgår av FIG. 42 (diagram a och b) där 10 stötvågor har överlagrats. Som redan har nämnts representerar den lägre stötvågen effekten av lyfthuvudets sammanstötning med hejaren.

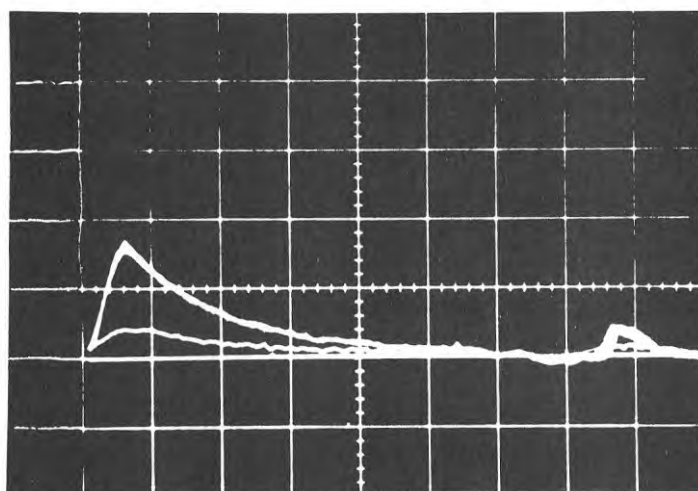
3.5.3 Egenskaper hos uretanggummi

Försöken vid Albysjön i maj 1969 med naturgummimellanlägg visade att man genom att ändra fallhöjden och/eller gummitjockleken kunde variera stötvågens form inom ganska vida gränser. Den med gummimellanlägg erhållna stötvågsformen är helt tillfredsställande. Gummi ger även en betydande minskning av ljudnivån, vilket är en fördel. En annan fördel är att gummimellanlägget kan göras billigt. En nackdel med naturgummiplattorna var emellertid att de gick sönder efter ett förhållandevis litet antal slag. Därför beslöts att undersöka vilka gummisorter som har den största slitstyrkan, när det gäller denna typ av dynamisk belastning. Kontakt togs med olika gummi-fabrikanter.

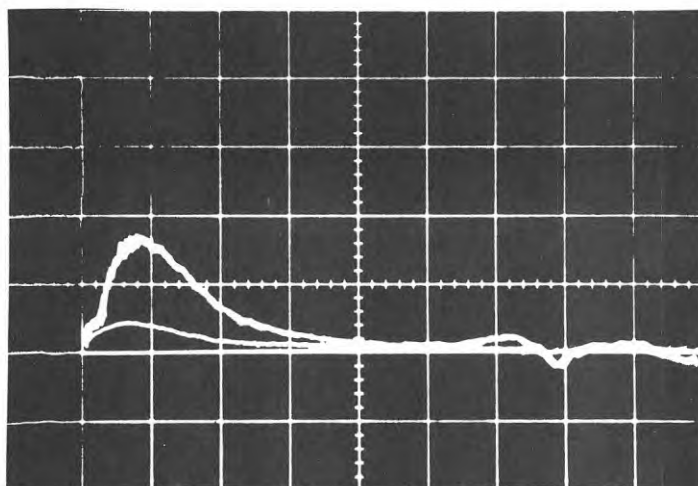
Den för detta ändamål lämpligaste gummisorten befanns vara uretanggummi, ett syntetiskt slitgummi av polyuretan med god drag- och tryckhållfasthet. Det är hårt men ändå elastiskt, är enligt uppgift fullständigt väderbeständigt (se dock nedan) och har god beständighet mot oljor och bränslen av kolväte-typ (bensin, fotogen, smörjolja, hydraulolja). Däremot tål uretanggummi ej kontakt med syror och baser, ej heller med vatten vid temperaturer över + 40°C. Priset för uretanggummiplattor är ca 3 - 5 gånger högre än för motsvarande naturgummi, vilket dock uppvägs av den betydligt bättre slitstyrkan hos uretanggummit. Sedan uretanggummimellanlägg efter standardisering av metod A 1971 började användas mera allmänt har det framkommit att slitstyrkan hos gummimaterialet är sämst vid fuktig väderlek (regn). Slitstyrkan hos en viss gummisort beror även av



a) 6 mm gummi-
mellanlägg (serie 8)



b) 9,5 mm gummi-
mellanlägg (serie 18)



c) Fjädermellanlägg,
alt. 4 (serie 23)

Dragreflex från spetsen ↑

FIG. 42. Samtliga stötvågor (10 st) i en serie ackumulerade på oscilloskopets bildskärm och därefter fotograferade. Serienumren hänför sig till TAB 4. Försök i sand vid Albysjön, maj 1969.

Ten shock waves in a test series accumulated on the screen of the oscilloscope and thereafter photographed. Concerning the numbers of the test series, see TAB. 4. Tests in sand at Albysjön, May 1969.

detaljens dimensioner. För det fall att gummi skall användas som slagdämpande platta ökas livslängden ju mindre förhållandet tjocklek/diameter görs. Det är således ur denna synpunkt lämpligare att bygga upp mellanlägget av t ex två 2 mm tjocka plattor än att använda endast en 4 mm platta. Detta har beaktats vid försöken med uretanggummimellanlägg (se 3.5.3.1).

Uretangummi tillverkas bl a av Trelleborgs Gummifabriks AB med beteckningen Trekollan. Av denna gummisort finns tre kvaliteter vilka skiljer sig från varandra med avseende på hårdheten (anges i $^{\circ}$ Shore), nämligen kval. 4013 (92 - 97 $^{\circ}$ Shore), kval. 4020 (87 - 93 $^{\circ}$ Shore) och kval. 4104 (70 - 78 $^{\circ}$ Shore). För försöken valdes kval. 4013, vilken dels är hårdast dels åldras minst av de nämnda kvaliteterna. Trekollan tillverkas i tjocklekar från 1 mm upp till 13 mm. Vid försöken användes plattor med tjocklekarna 2 mm (tolerans $\pm 0,3$ mm) och 8 mm (tolerans $\pm 0,4$ mm) samt diametern $D_y/D_i=120/35$ mm. I fortsättningen används begreppet uretangummi i stället för Trekollangummi.

3.5.3.1 Försök med uretanggummimellanlägg

Fjädringsegenskaperna hos uretangummi undersöktes genom utförande av statiska belastningsförsök i tryckpress. Härvid provades två eller fyra 2 mm plattor samt en enkel 8 mm platta (jfr FIG. 43). Största vertikallasten vid tryckförsöken uppgick till 100 kN (90 kN vid dubbla plattor), vilken medförde en fjädring av 0,8 \pm 0,9 mm (0,5 mm vid dubbla plattor). Hysteresiseffekten är, som framgår av FIG. 43, mindre för en enkel 8 mm platta än för 4 st 2 mm plattor. I diagram b i FIG. 43 visas resultat från tryckförsök på dubbla 2 mm uretanggummiplattor vilka tidigare hade mottagit ca 3500 hejarslag. En jämförelse med kurvan i diagram a, som avser helt nya och oanvända plattor, visar att slagningen inte har påverkat gummit nämnvärt, bortsett från att maximalfjädringen för de använda plattorna var 0,1 mm större än för de nya.

I samband med stötvågsmätningar vid SGI i september 1969 provades som mellanlägg en enkel 2 mm uretanggummiplatta, dubbla

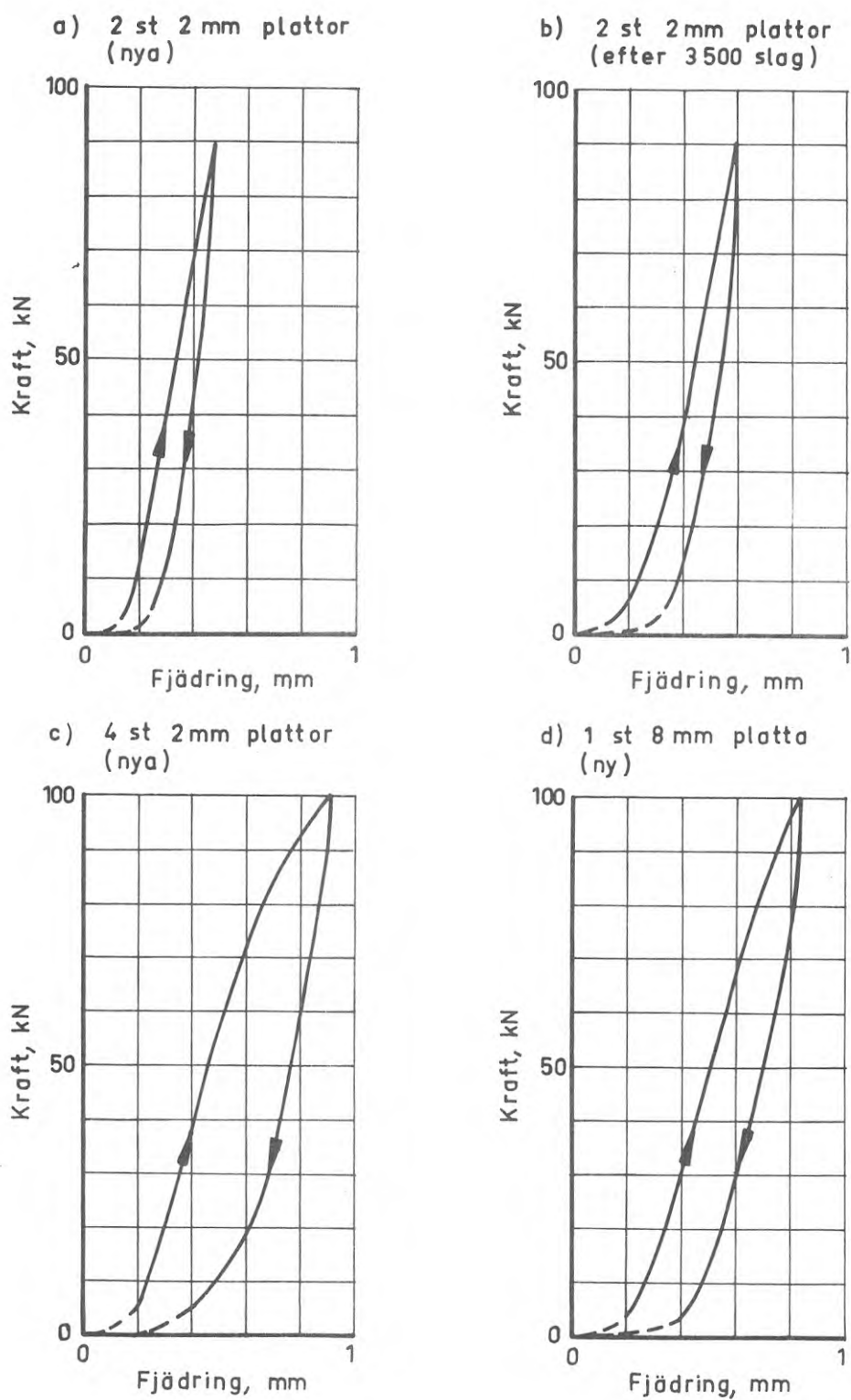


FIG. 43. Resultat från statiska belastningsförsök på olika mellanlägg av uretangummiplattor.

Results from static load tests on various cushions of uretan rubber.

2 mm plattor och fyra 2 mm plattor samt en enkel 8 mm platta. Dessutom användes olika fallhöjder, nämligen 46, 52 och 62 cm fritt fall för hejaren. Eftersom jorddjupet på försöksplatsen endast uppgick till ca 6 m hann initialvågen inte tona ut förrän tryckreflexen från sondspetsen anlände till mätpunkten och medförde störningar i den registrerade initialstötstågens förlopp. Därför har vid redovisningen av stötstågorna dessa avbrutits efter ca 3 ms, när tryckreflexen från spetsen når mätpunkten.

I FIG. 44 visas stötstågsformens beroende av fallhöjden vid uretanggummimellanlägg av olika tjocklek. Som framgår av kurvorna i diagram a är en enkel 2 mm platta inte tillräckligt dämpande för att åstadkomma samma reflexfria stötstågsform som återfinns i de övriga tre diagrammen. Ökningen i fallhöjd från 46 till 62 cm medför att den maximala stötstågskraften ökar ca 10 kN. Här måste dock framhållas att samtliga dessa mätningar är gjorda med gummiplattor som var helt oanvända. Det har visat sig, att den uppmätta maximala stötstågskraften blir 10 å 15% större efter ca 100 slag på mellanlägget.

I FIG. 45 redovisas uppmätta maximala stötstågskrafter för några av de första slagen mot ett nytt uretanggummimellanlägg vid olika fallhöjder. Samtliga dessa värden är lägre än de som erhöles vid slag mot ett väl använt uretanggummimellanlägg (slag 500 t o m 3500). I figuren visas även de maximala stötstågskrafter som uppmättes för fast dyna utan mellanlägg respektive med 6 mm naturgummimellanlägg.

Av FIG. 46 (diagram a, b och c) framgår hur gummimellanläggets tjocklek påverkar stötstågsformen vid var och en av de använda fallhöjderna. I likhet med tidigare mätningar (se FIG. 39 och FIG. 41) erhöles även i detta fall en förskjutning av stötstågsmaximum framåt längs tidsaxeln om dämpningen (gummitjockleken) ökades. Kurvans lutning i origo blir således flackare ju större dämpningen är. I FIG. 46 visas även att stötstågsformen avseende dubbla 2 mm uretanggummiplattor (diagram d) påverkas litet av slagning upp till, i detta fall, 3500 slag. Vid

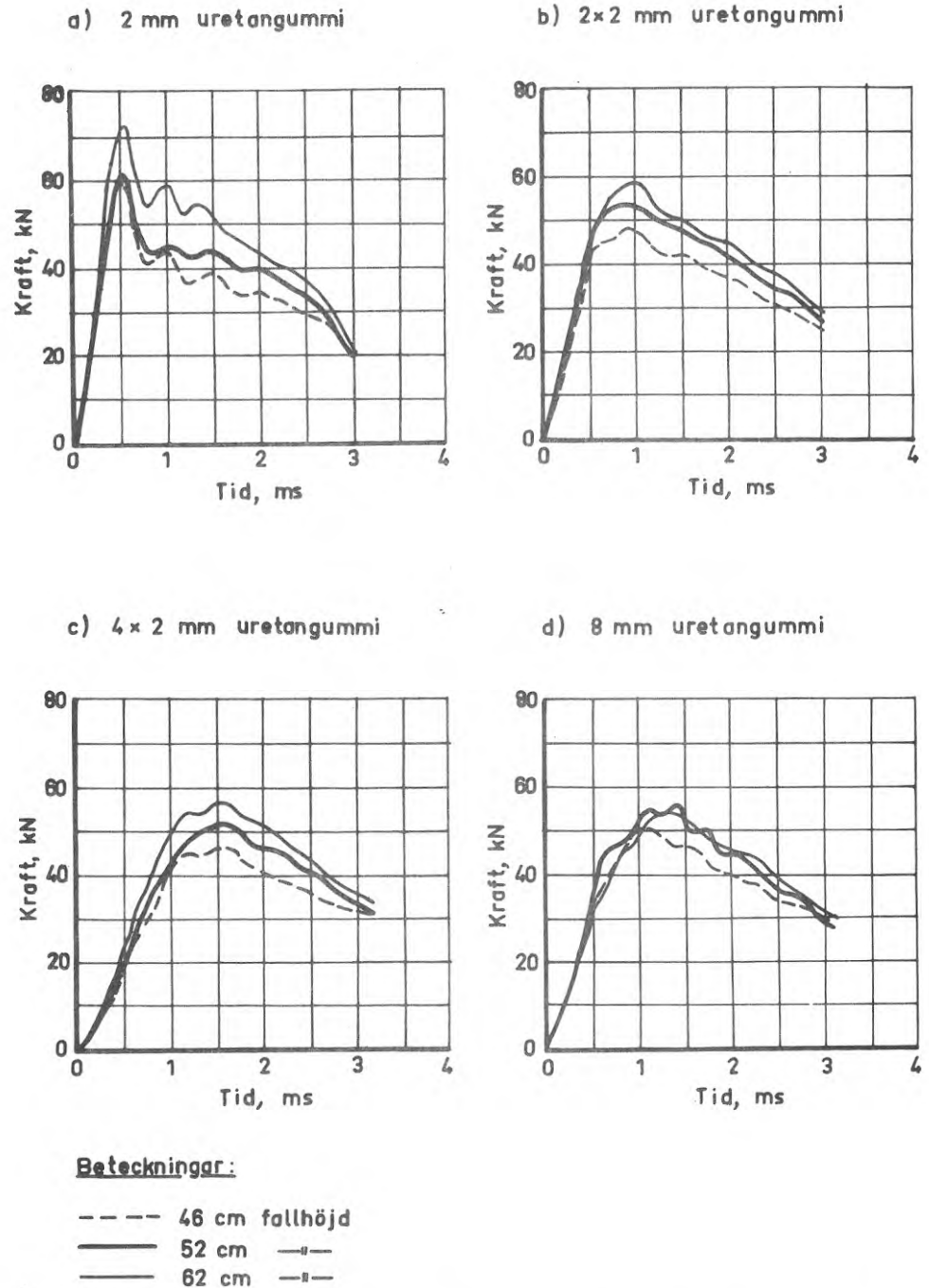


FIG. 44. Stötvågsformens beroende av fallhöjden vid slagning med fritt fallande hejare mot fast dyna försedd med olika typer av uretangummimellanlägg. Kurvorna har avbrutits efter ca 3 ms när tryckreflexen från spetsen når mätpunkten (stånglängden under mätpunkten = 6,5 m).

- The shape of the shock wave at tests with different heights of free fall and a fixed anvil with various cushions of uretan rubber.

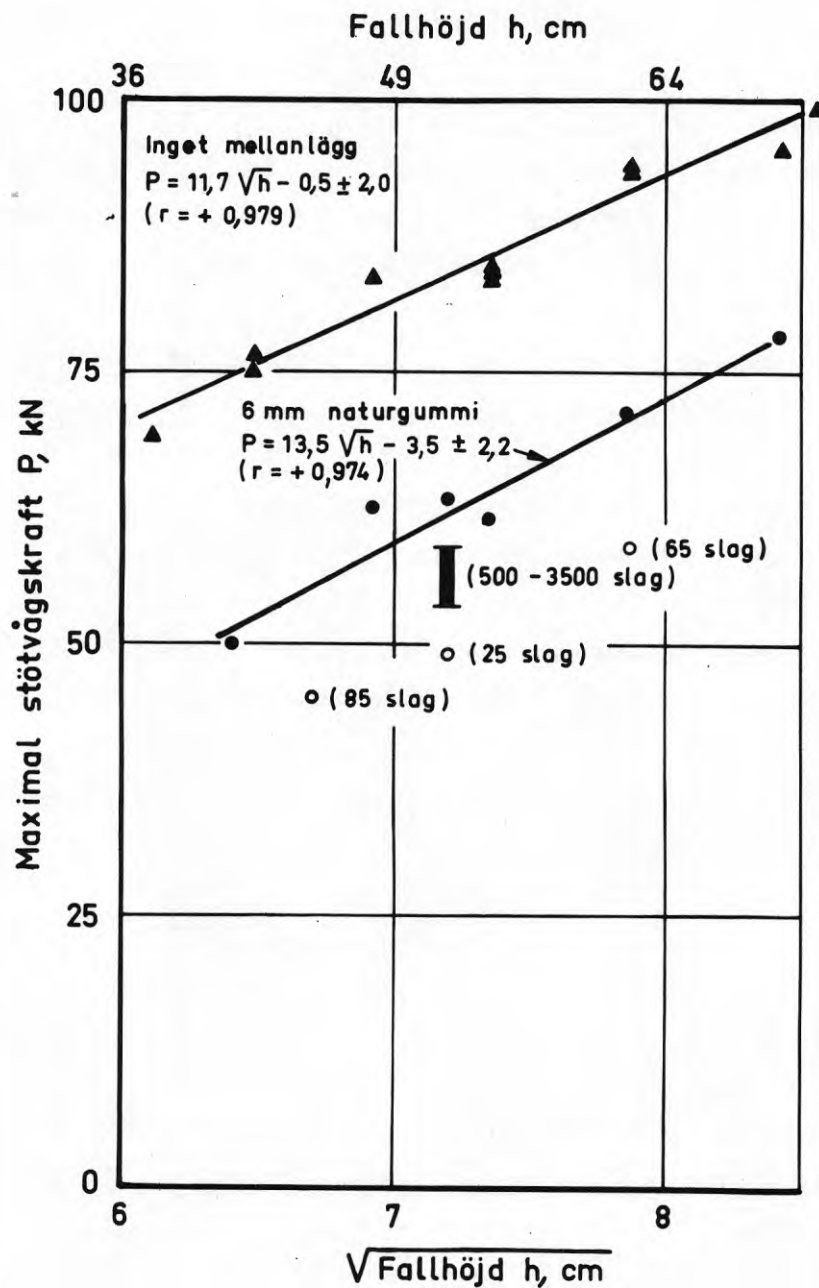


FIG. 45. Variation i uppmätt maximal stötvågskraft med fallhöjd (fritt fall) och inverkan av dämpande mellanlägg. ○ nytt (2 + 2) mm uretanggummimellanlägg, (85 slag) antal slag på mellanlägget, ■ variationsområdet under 3000 slag (jfr diagram d, FIG. 46).

The maximum intensity of the stress wave at tests with different heights of free fall and with different cushions on the fixed anvil. ○ new plates of uretan rubber, (85 slag) the number of blows at the cushion and ■ the range of variation during 3000 blows at a cushion (cp diagram d, FIG. 46).

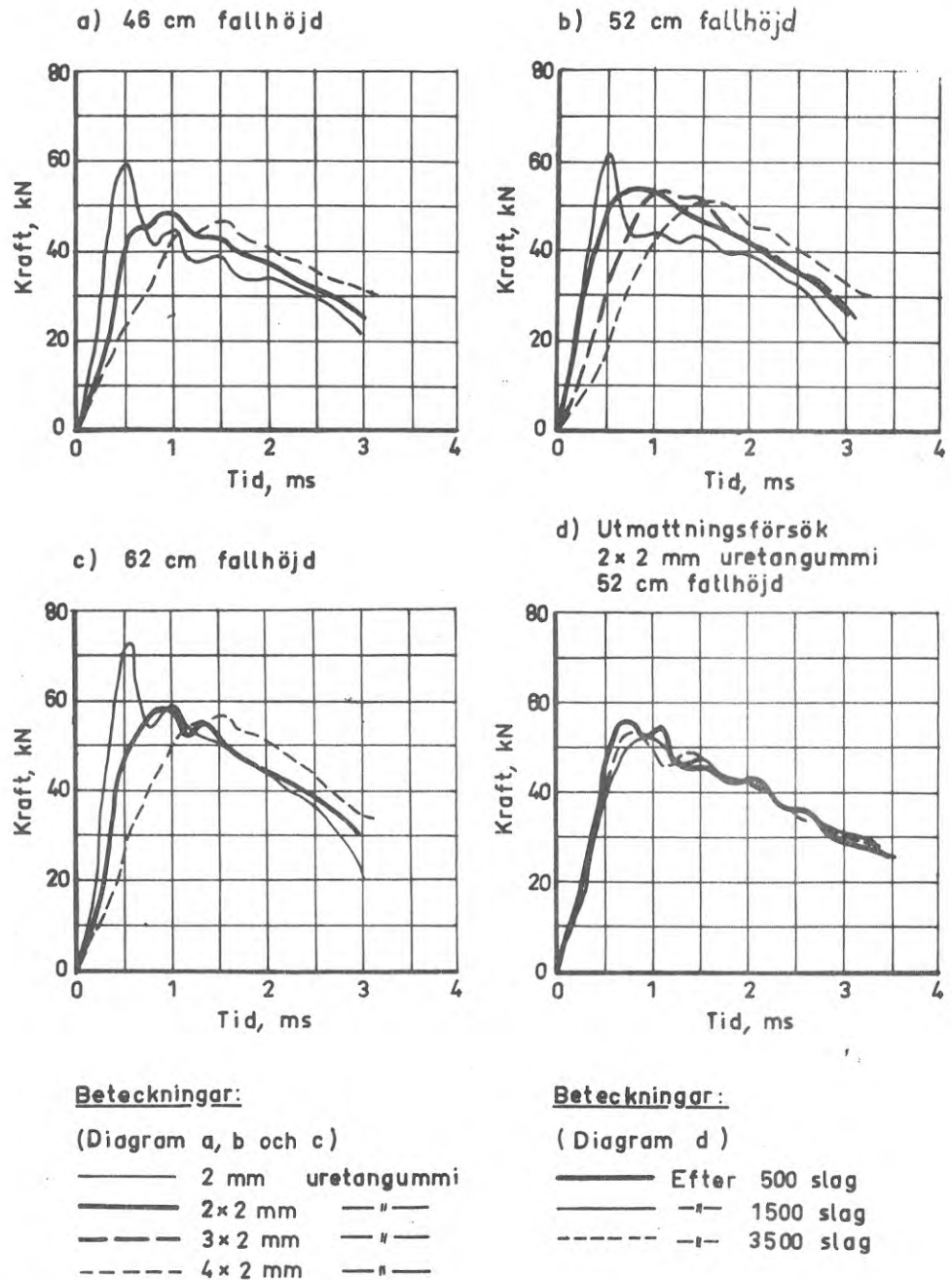


FIG. 46. Stötvågsform vid användning av olika uretångummi-mellanlägg på den fasta dynan och olika fallhöjder (diagram a, b och c) samt effekt på stötvågen av långvarig slagning på (2 + 2) mm uretångummimellanlägg (diagram d). Kurvorna avbrutna efter ca 3 ms, när tryckreflexen från spetsen når mätpunkten (stånglängden under mätpunkten = 6,5 m).

The shape of the stress wave at tests with different heights of free fall and a fixed anvil with various cushions of uretan rubber (diagram a, b and c). Diagram d shows the result of a wearing resistance test with a cushion of two 2 mm thick pads of uretan rubber.

användning av dubbla plattor av denna typ visade det sig att den undre närmast slagdynan placerade plattan går sönder före den övre.

Som en sammanfattning av stötvågsmätningarna vid försöken med fjädermellanlägg (alt. 1 t o m 4), uretangummi och killås (med wireupphängd hejare) redovisas i FIG. 47 de uppmätta maximala stötvågskrafterna.

3.5.4 Diskussion av försöksresultat från utprovning av dämpande mellanlägg

För att vid sondering med fritt fall och fast dyna utan mellanlägg erhålla maximala stötvågskrafter som motsvarar dem vid ett väl fastslaget killås (50 - 60 kN) skulle fallhöjden behöva reduceras från i detta fall 60 cm till 30 cm (jfr FIG. 32). Emellertid beror nedträngningen inte enbart av den maximala stötvågskraften utan påverkas även av kraftens impuls $d v s$ produkten av kraft och tid. Av speciellt intresse ur nedträngningssynpunkt är hur stor del av impulsen som överstiger neddrivningsmotståndet för sonden. Denna återstående, "effektiva," impulsdel kan mycket schematiskt åskådliggöras som yta A_1 respektive yta A_2 (se FIG. 48), vilka nedåt begränsas av spetsmotståndet, P_{brott} . Stötvåg 1 representerar förhållandet vid 30 cm fritt fall och fast dyna utan mellanlägg under det att stötvåg 2 representerar vågens utseende när fallhöjden är 50 cm och dämpande mellanlägg används. Båda stötvågorna har samma maximala stötvågskraft. Man kan något förenklat säga att den "effektiva" impulsen, $d v s$ yta A_1 respektive yta A_2 , är proportionell mot nedträngningens storlek i de båda exemplen. Stötvåg 2 är alltså ur nedträngningssynpunkt mera effektiv än stötvåg 1 trots att den maximala stötvågskraften är densamma i båda fallen.

Det finns två orsaker till att den maximala stötvågskraften vid traditionell hejarsondering bör bibehållas vid övergång till frifallshejare. För det första har stångmaterialet erfarenhetsmässigt visat sig hålla för dessa påfrestningar. För det andra

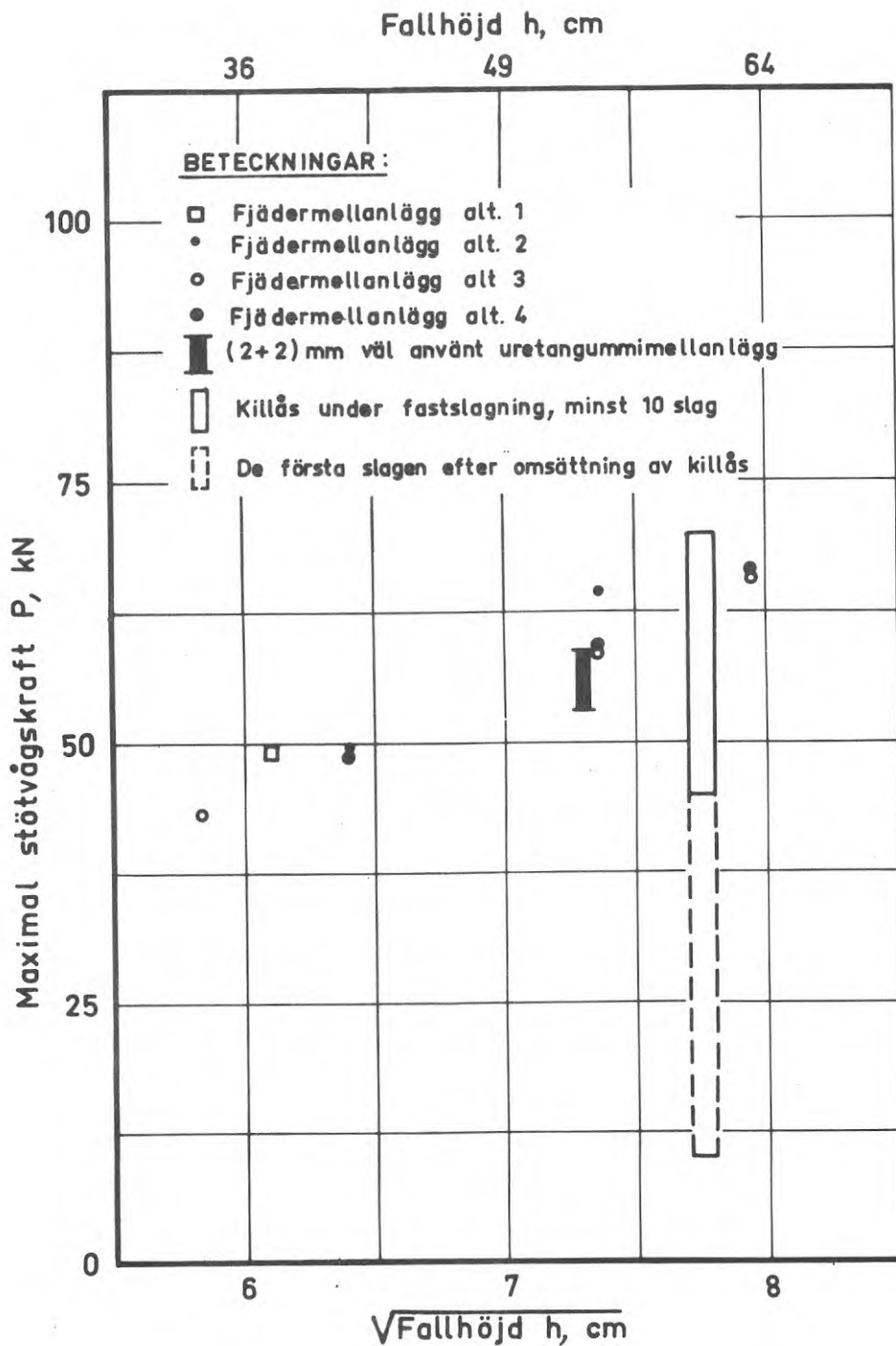


FIG. 47. Uppmätt maximal stötvågskraft vid olika dämpande mellanlägg.

Effect on the maximum intensity of the stress wave by a change of the cushion and the height of fall.

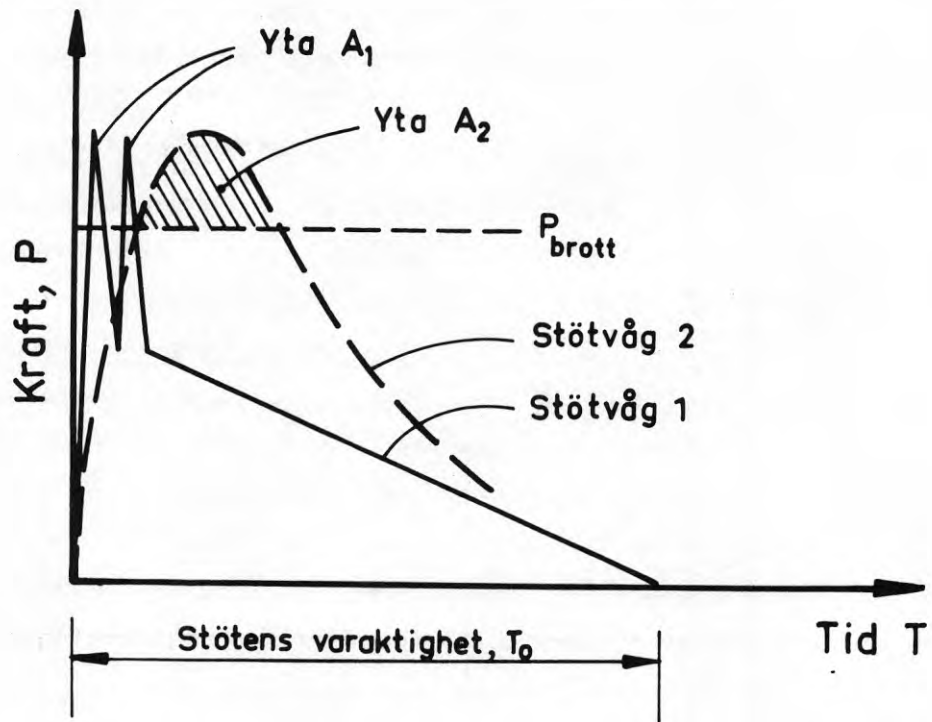


FIG. 48. Illustration av stötvågsformens och den "effektiva" impulsens (yta A_1 respektive yta A_2) beroende av fallhöjd, dämpning och spetsmotstånd (P_{brott}). Den maximala stötvågskraften är lika för stötvåg 1 (30 cm fritt fall, fast dyna utan mellanlägg) och stötvåg 2 (50 cm fritt fall, fast dyna med dämpande mellanlägg).

Sketch indicating how the measured penetration resistance depends on both the ultimate point resistance, P_{ult} , and the shape of the shock wave illustrated by the "effective" impulse (area A_1 and A_2 respectively). The two shock waves have the same maximum intensity, test 1 performed without a cushion and a 30 cm height of free fall, test 2 performed with a cushion and 50 cm height of free fall.

har man vid bedömning av fast botten för hejarsondering en inte obetydlig erfarenhet från traditionell hejarsondering.

Man kan med ledning av resultaten från stötvågsmätningarna beräkna den ungefärliga storleken av de maximala spänningar som uppträder i stängerna vid traditionell hejarsondering. Ett normalt värde på den maximala stötvågskraften är i detta fall 50 ä 60 kN. Om sondspetsen står på berg kan teoretiskt denna kraft fördubblas i stängerna närmast spetsen, eftersom reflexen i sin helhet utbildas som en tryckvåg. Vid 8 cm^2 stångtvärsnitt erhålls stångspänningar på mellan 125 och 150 MN/m^2 ($1250 - 1500 \text{ kp/cm}^2$). Ett mycket väl fastslaget killås kan överföra stötvågskrafter av storleken 70 kN, vilket under samma förutsättningar som ovan leder till stångspänningar av storleken 175 MN/m^2 (1750 kp/cm^2).

Föreliggande undersökningar har gjorts med förutsättningen att den fria fallhöjden skall vara 50 cm, varefter försöken med dämpande mellanlägg har inriktats på att finna ett slitstarkt och i övrigt lämpligt mellanlägg som ger önskad dämpning. Valet föll på uretangummimellanlägg av 4 mm tjocklek sammansatt av två 2 mm plattor. Men resultaten från stötvågsmätningarna med fjädermellanlägg, alt. 4 är minst lika fördelaktiga som dem som erhöles med uretangummimellanlägg. Varför uretangummimellanlägg föredrogs beror på att detta medför följande fördelar jämfört med fjädermellanlägg:

- 1 Billigt i inköp
- 2 Kräver ingen skötsel
- 3 Lätt att upptäcka när gummiplattorna går sönder (fjädermellanlägget måste tas isär för att kunna kontrolleras)
- 4 Gummiplattorna reducerar ljudnivån vid hejarens sammanstötning med slagdynan (tvärtom vid fjädermellanlägg)
- 5 Sänkningen av bullernivån medför att mellanlägg i praktiken kommer till användning (tvärtom vid fjädermellanlägg).

Vid de avslutade sonderingsförsöken vid Albysjön i oktober och Ultuna i november 1969 (se 3.5.5) provades som dämpande mellanlägg förutom (2 + 2) mm uretangummi även fjädermellanlägg alt. 4.

3.5.5 Sonderingsförsök med dämpande mellanlägg

Nedan lämnas en kort redogörelse för sonderingsförsök med olika typer av mellanlägg. Eftersom initialstötvågens form har betydelse för sondens nedträngning har för jämförelse de tidigare erhållna stötvågsformerna med och utan mellanlägg uppritats i ett och samma diagram (FIG. 50). Någon analys av sonderingsresultaten med hänsyn till stötvågsformen görs dock ej.

Vid de inledande försöken vid Ultuna i april 1969 provades ett 6 mm naturgummimellanlägg. Resultatet redovisas i form av en summakurva tillsammans med övriga resultat från Ultuna (bh 8 i FIG. 12). När ingen stångvridning förekom, erfordrades i stort sett lika många slag vid användning av gummimellanlägg som när mellanlägg saknades.

I samband med försöken att bestämma erforderlig vridning vid Albysjön i maj 1969 provades som mellanlägg, dels ett 6 mm naturgummimellanlägg (bh 8), dels ett fjädermellanlägg, alt. 4 (bh 10). Båda dessa hål utfördes utan stångvridning, varför resultatet bör jämföras med vad som erhöles när ingen vridning utfördes och den fasta dynan saknade mellanlägg, dvs bh 2 och 9. Resultaten redovisas, dels i FIG. 15 i form av summakurvor, dels i FIG. 49 i form av traditionella sonderingsdiagram. I FIG. 49 har även medtagits resultatet från försöket med traditionell hejarsondering (bh 1), där sondstången har vridits ett varv efter ungefär varje 1,5 m nedträngning. Som synes har denna relativt glest förekommande vridning haft en stor effekt på sonderingsmotståndet, speciellt på större djup. Troligtvis förhindrar vridningen delvis att sondstången "spänns in" i jorden. Att bh 8 med naturgummimellanlägget från ca 15 m djup uppvisar lägre sonderingsmotstånd än försöket med fjädermellanlägg (bh 10) kan bero på att den maximala stötvågskraften är

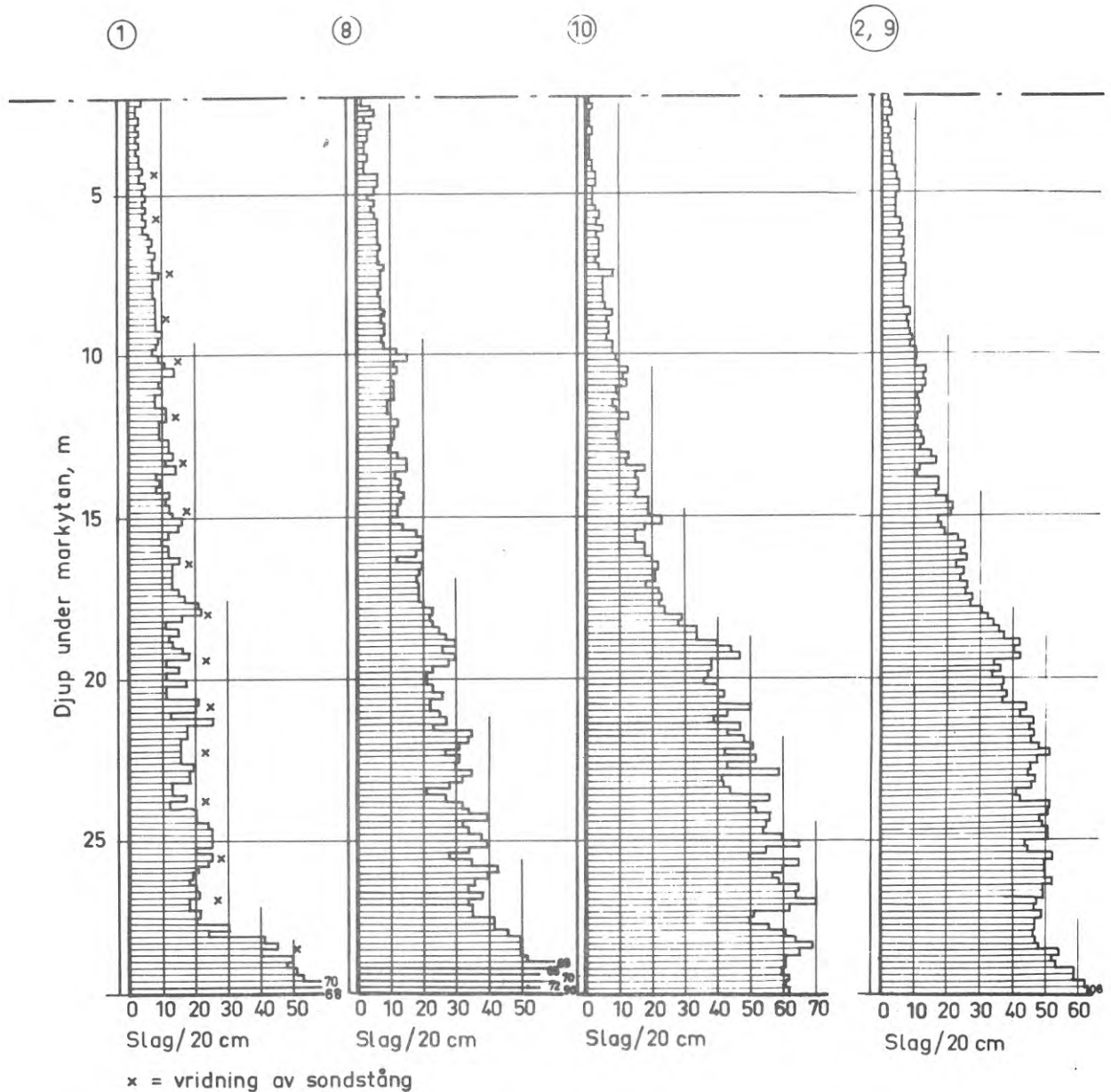
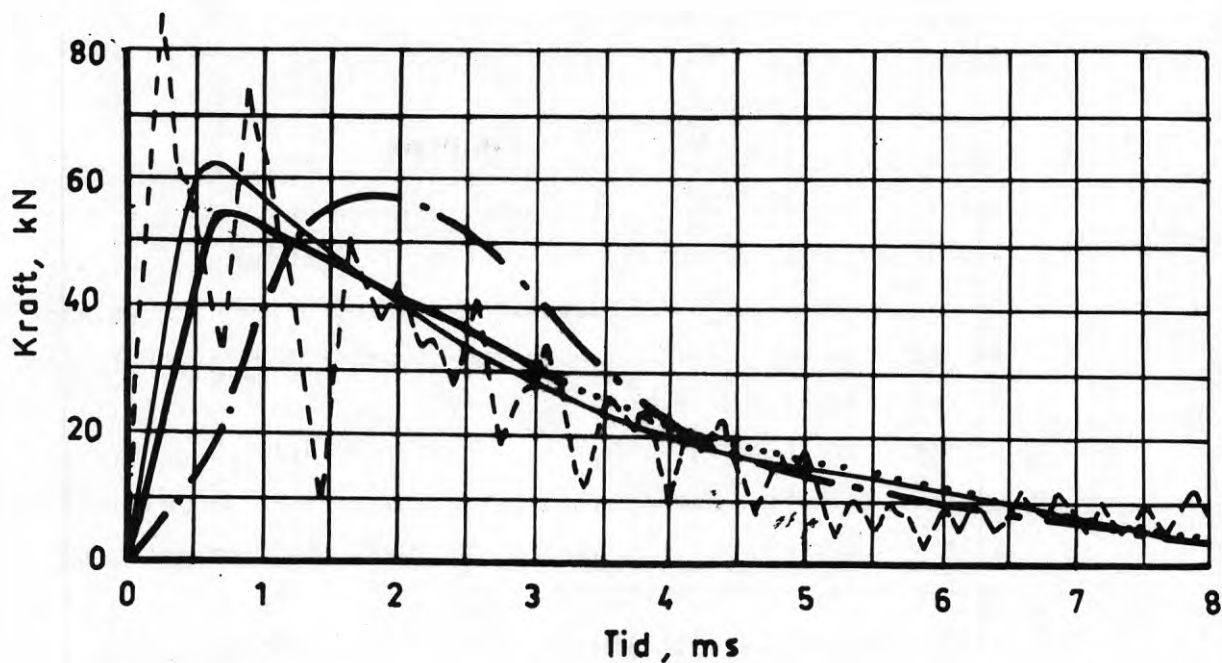


FIG. 49. Jämförelse mellan traditionell hejarsondering med stångvridning varje 1,5 m (bh 1) och sondering utan stångvridning med 50 cm fritt fall och fast dyna utan mellanlägg (bh 2 och 9) samt försedd med 6 mm naturgummi (bh 8) respektive fjädermellanlägg, alt 4 (bh 10). Rund spets \varnothing 45 mm med mantellängden 50 mm. Försök i sand vid Albysjön, maj 1969.

Comparison between the traditional method with rotation of the rod every 1.5 m (test 1) and the improved method with 50 cm height of free fall and a fixed anvil without a cushion (test 2 and 9), with a cushion of 6 mm natural rubber (test 8) and with a cushion of plate springs, alt. 4 (test 10). Cylindrical point (\varnothing 45 mm) of 50 mm length. Tests in sand at Albysjön, May 1969.



Beteckningar:

- Inget mellanlägg
- . - Fjädermellanlägg , alt. 4
- 6 mm naturgummimellanlägg
- (2+2) mm uretanggummimellanlägg ,
"väl" använt
- Extrapolering av kurva för
uretanggummimellanlägg

FIG. 50. Stötvågsform vid fast slagdyna med och utan dämpande mellanlägg vid 50 cm fritt fall.

The shape of the shock wave at tests with 50 cm height of free fall and a fixed anvil with and without a cushion.

något högre med gummimellanlägg (jfr FIG. 50), vilket ökar nedträngningen per slag på större djup.

Som ett resultat av vridningsförsöken vid Ultuna och Albysjön våren 1969 utfördes de avslutande försöken under hösten med kontinuerlig vridning 45° före varje slag (45° /slag). Vidare hade försöken med olika spetslängd visat (se 4.4) att en ändring av spetsens mantellängd i hög grad påverkar försöksresultaten. Av denna anledning hade inför höstens försök en ny spetstyp konstruerats (jfr FIG. 60, spets nr 3). Mantellängden var vid dessa försök lika med dubbla spetsdiametern (\emptyset 45 mm) och spetsvinkeln var 90° . En kvadratisk spets \emptyset 40 mm med samma mantellängd, 90 mm, användes också. Spetsen var dessutom lagrad i förhållande till stången, varför den inte följde med vid stångens rotation.

Försöken vid Albysjön i oktober 1969 omfattade sonderingar med (2 + 2) mm uretangummimellanlägg och med fjädermellanlägg alt. 4 samt för jämförelse sonderingar även utan mellanlägg. Spetsen var rund eller fyrkantig av den typ som beskrivs ovan. Samtliga försök utfördes med 45° vridning per slag.

Beträffande jordlagerförhållanden hänvisas till avsnitt 2.2.2 och FIG. 27. Undersökningsplanen visas i FIG. 51.

Vid bearbetning av resultaten visade det sig att de diametralt motsatt belägna och till utförandet identiska hålen 5 och 6 (med uretangummi och rund spets) respektive hålen 7 och 8 (med fjädermellanlägg och rund spets) gav i stort sett samma sonderingsresultat. För jämförelse med det centralt belägna hål 9 (utan mellanlägg) beräknades därför de genomsnittliga sonderingsmotstånden för försök 5 och 6 respektive 7 och 8 (jfr summakurvorna i FIG. 52). De varandra närbelägna hålen 1 och 3, vilka båda utförts med fyrkantspets, hål 1 utan mellanlägg och hål 3 med uretangummimellanlägg, redovisas också i samma figur.

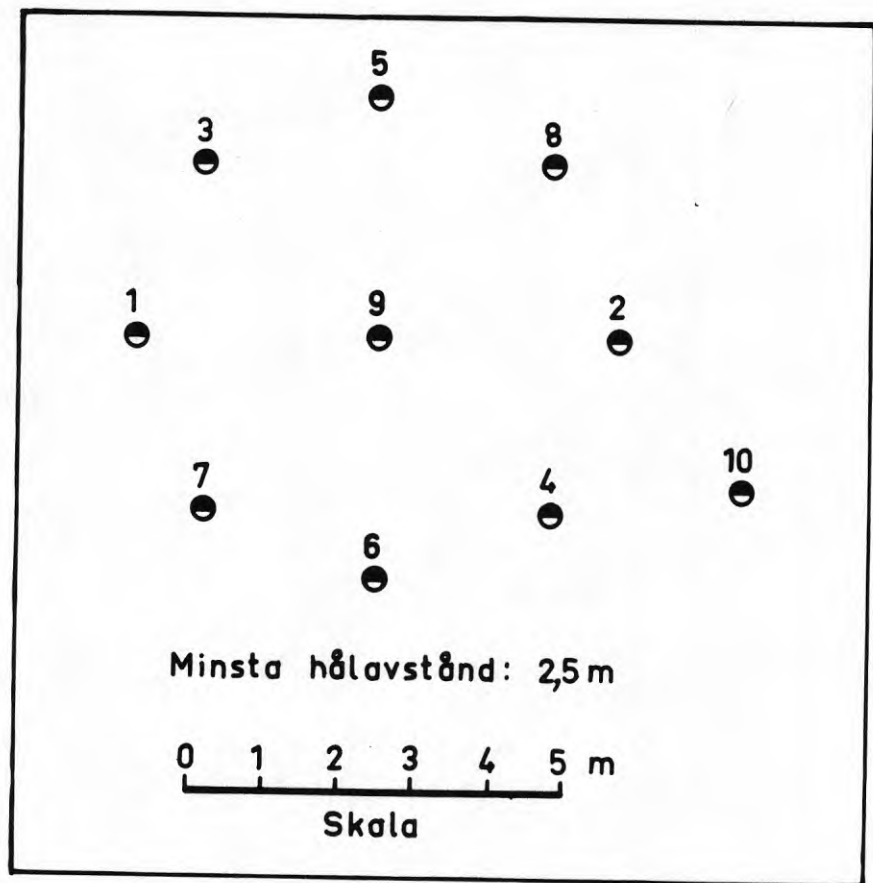


FIG. 51. Sondring med 50 cm fritt fall, fast dyna, 45° vridning/slag, samt lagrade spetsar med 90 mm mantellängd. Undersökningsplan. (Beteckningar se FIG. 52.) Försök i sand vid Albysjön, oktober 1969.

Tests with a free-fall hammer with and without a cushion using 50 cm height of fall, 45° turning/blow and a not rotating cylindrical or square point of 90 mm length. Plan of test area. (Legend in FIG. 52.) Tests in sand at Albysjön, October 1969.

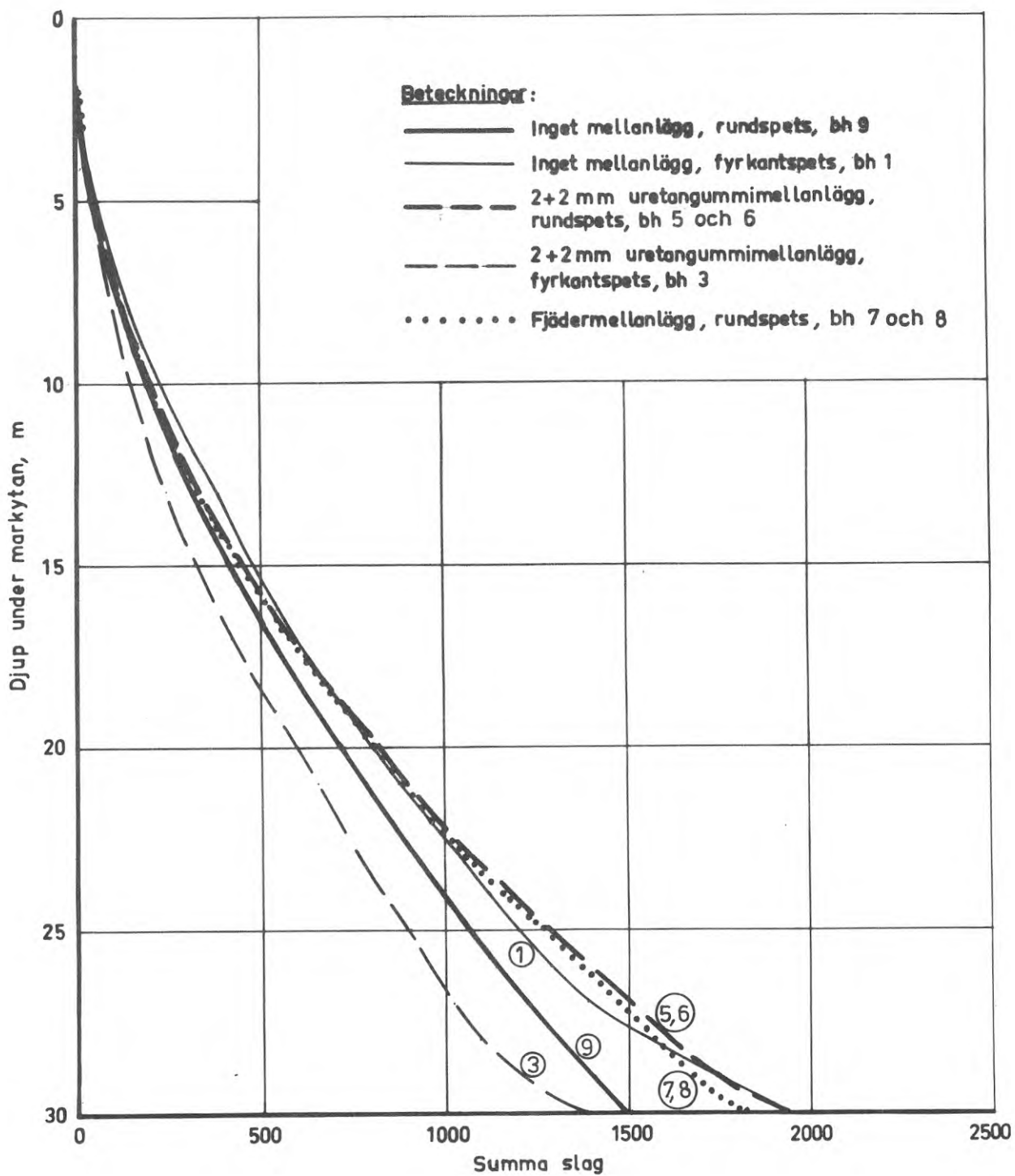


FIG. 52. Summakurvor. Försök i sand vid Albysjön, oktober 1969.

Accumulated penetration resistance as a function of depth. Tests in sand at Albysjön, October 1969.

Sonderingsresultaten från försöken vid Albysjön med fyrkantspets redovisas vidare i FIG. 53 och de med rund spets i FIG. 54. I den sistnämnda figuren redovisas för bh 7 och 8 även mantelfriktionens andel i sonderingsmotståndet sådant det bestämts ur uppmätta vridmoment (se mera därom i avsnitt 2.2.2).

Försöken med fyrkantspets och rundspets gav helt olika resultat med avseende på effekten av mellanlägg. Vid försöken med fyrkantspets medförde uretanguummimellanlägget att sonderingsmotståndet blev lägre än i fallet utan mellanlägg, under det att förhållandet var det motsatta när rundspets användes. En förklaring till detta kan vara att det hål som fyrkantspetsen lämnar i jorden genom sin form är mera känsligt för störningar och därigenom lättare faller ihop runt sondstången. Mantelmotståndets andel i totalmotståndet kan därför uppvisa stora variationer från hål till hål. I så fall bör man sätta ett frågetecken för bh 1 som ju uppvisar ett påfallande stort sonderingsmotstånd jämfört med övriga sonderingar, speciellt på små djup intill ca 13 m djup och från ca 27 m djup.

Försöken med rundspets (se FIG. 54) omfattar fyra hål med mellanlägg och samtliga försök har givit i stort sett samma sonderingsresultat, trots att mellanlägget i ena fallet består av uretanguumi och i andra fallet av fjäderbrickor.

Kvoten mellan sonderingsmotstånden med mellanlägg respektive utan mellanlägg växer med djupet, vilket tydligare framgår av FIG. 58. Detta diagram har erhållits genom beräkning av ett genomsnittligt sonderingsmotstånd för varje 2 m nedträngning avseende dels bh 5 och 6, dels bh 9, varefter kvoten mellan dessa medelmotstånd har beräknats. Som tidigare har påpekats kommer den större maximala stötvågskraften utan mellanlägg att ge en större nedträngning per slag speciellt på större djup där allt större kraft erfordras för att övervinna sonderingsmotståndet P_{brott} (jfr FIG. 48).

De avslutande försöken gjordes i lera vid Ultuna i november 1969 (jordlagerbeskrivning återfinns i 2.4.1). Här användes

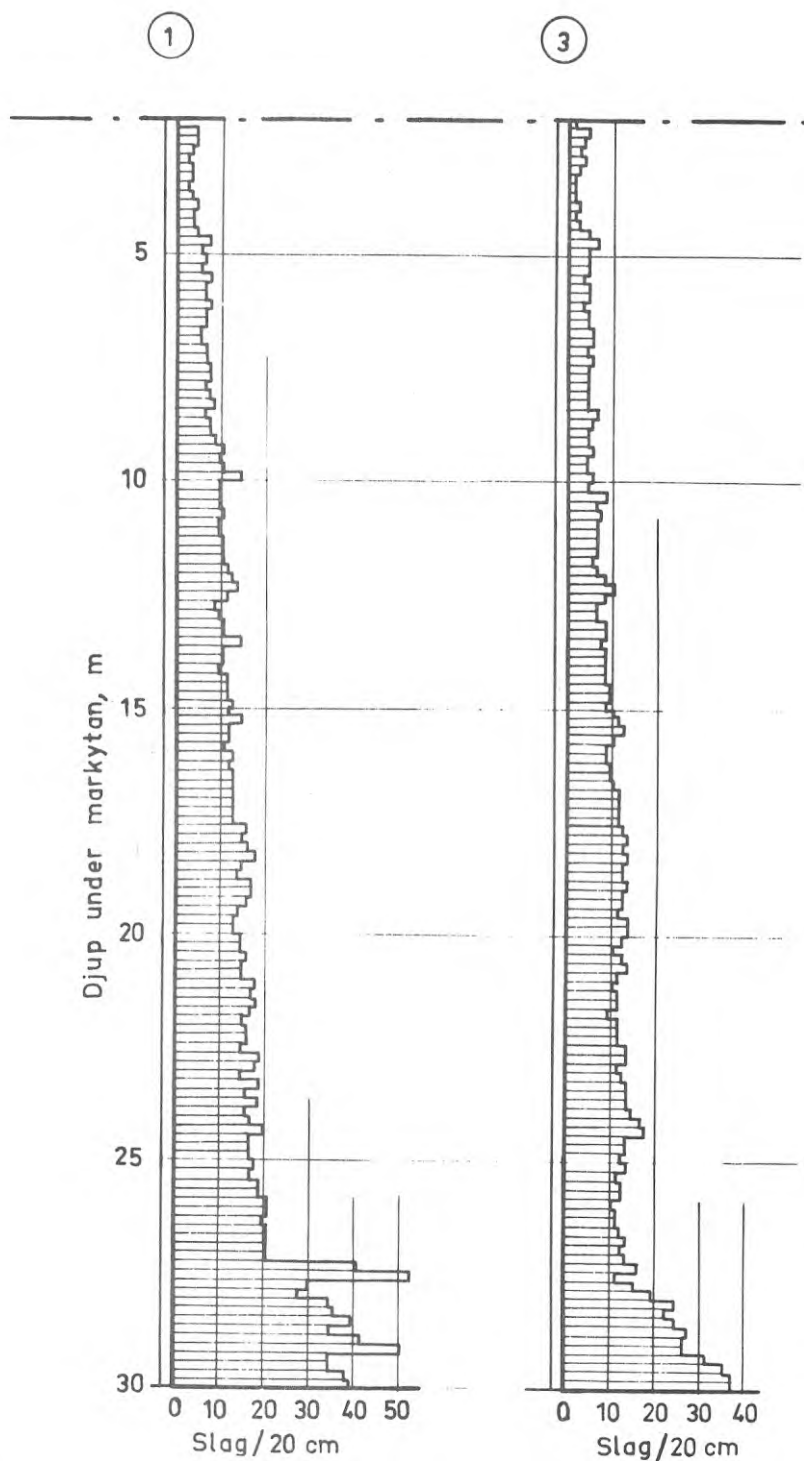


FIG. 53. Sondring utan mellanlägg (bh 1) respektive med (2 + 2) mm uretanguummimellanlägg (bh 3). 50 cm fritt fall, fast dyna, 45° vridning/slag och lagrad fyrkantspets \varnothing 40 mm med 90 mm mantellängd. Försök i sand vid Albysjön, oktober 1969.

Tests without a cushion (test 1) and with a (2 + 2) mm thick cushion of uretan rubber (test 3), both tests performed with a square point, \varnothing 40 mm. Tests in sand at Albysjön, October 1969.

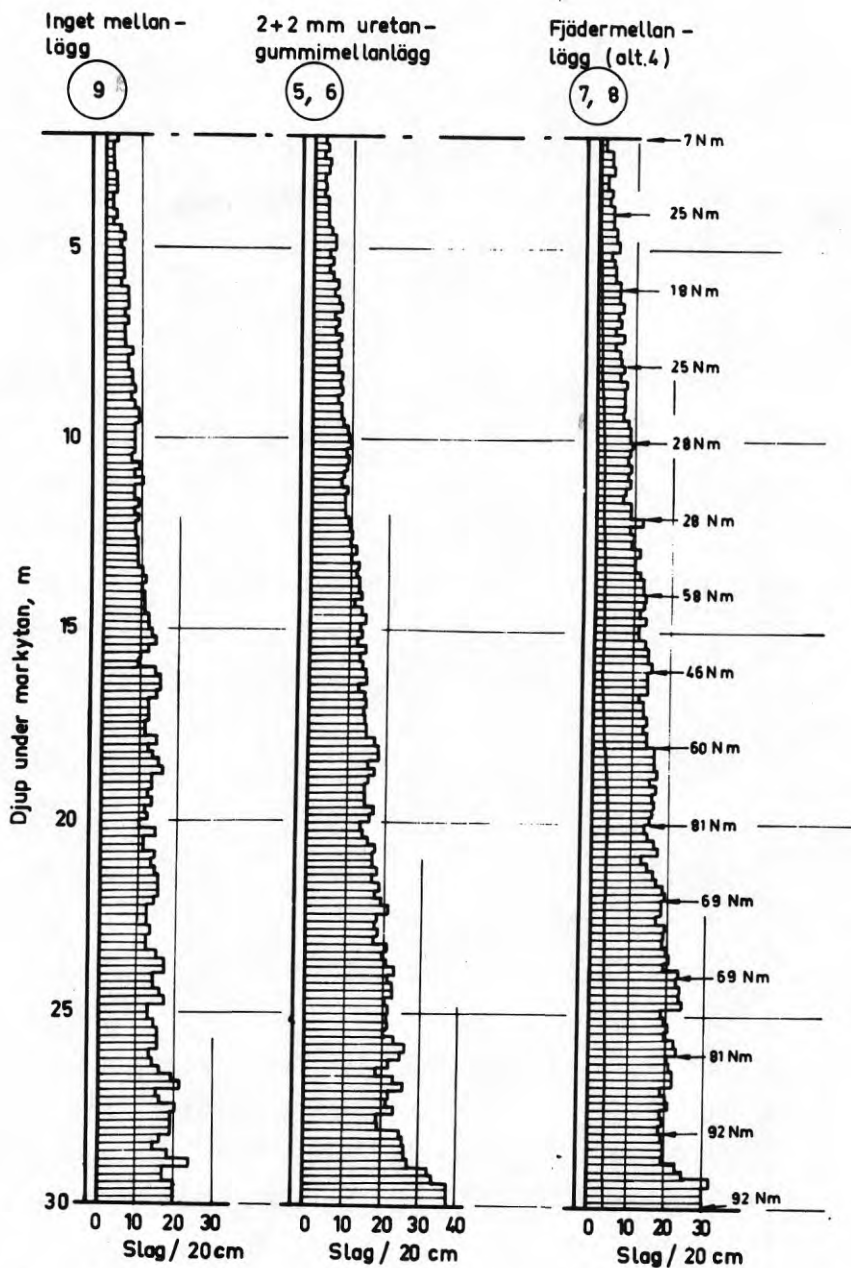


FIG. 54. Sondering med (2 + 2) mm uretangummimellanlägg (bh 5 och 6), fjädermellanlägg, alt 4 (bh 7 och 8) respektive utan mellanlägg (bh 9). 50 cm fritt fall, fast dyna, 45° vridning/slag och lagrad rundspets, \varnothing 45 mm med 90 mm mantellängd. Beträffande "nollinjen", i bh 7 och 8 se avsnitt 2.2.2. Försök i sand vid Albysjön, oktober 1969.

Tests with a (2 + 2) mm cushion of uretan rubber (test 5 and 6), with a cushion of plate springs, alt. 4 (test 7 and 8) and without a cushion (test 9), all tests performed with a cylindrical point (\varnothing 45 mm). Concerning the "zero-line" in test 7 and 8, see 2.2.2. Tests in sand at Albysjön, October 1969.

i alla sonderingshål utom 3 och 7 den runda spetsen (nr 3 i FIG. 60). I bh 3 och bh 7 användes motsvarande (lagrade) fyrkantspets. Försöksuppläggningsen, vilken påminner om den vid Albysjön i oktober 1969 framgår av undersökningsplanen i FIG. 55 och teckenförklaringen i FIG. 56. Med den runda spetsen gjordes försök, dels utan mellanlägg, dels med (2 + 2) mm uretangummimellanlägg respektive fjädermellanlägg alt. 4. Samtliga dessa hål dubblerades. Hålen 3 och 7 med fyrkantspets utfördes med (2 + 2) mm uretangummimellanlägg. I likhet med försöken vid Albysjön i oktober tillämpades även här kontinuerlig vridning med 45° /slag. Bh 9 avvek i detta avseende från de övriga i och med att den kontinuerliga vridningen gjordes intermittent, således vridning under 1,4 m nedträngning därefter uppehåll under 1,6 m nedträngning och sedan på nytt vridning. En sammanställning av resultaten visas i FIG. 56 i form av summakurvor, och i FIG. 57 i form av vanliga sonderingsdiagram (se vidare 3.5.5.1). Bh 7 skiljer sig vad resultatet beträffar så påtagligt från övriga hål att det inte har medtagits i denna sammanställning.

Vid detta försökstillfälle erhöles i stort sett lika resultat vid sondering med uretangummimellanlägg respektive utan mellanlägg, vilket bäst framgår av summakurvorna i FIG. 56. En närmare kontroll visar dock att sonderingsmotståndet växer fortare med djupet om mellanlägg används än om mellanlägg saknas (se FIG. 58), vilket överensstämmer med resultatet från Albysjön som visas i samma figur. Kvoten mellan sonderingsmotstånd med gummimellanlägg och utan växer vid sondering i lera från ca 0,8 vid 10 m djup till ca 1,2 vid ca 40 m djup.

Fjädermellanlägg gav större sonderingsmotstånd än uretangummimellanlägg ned till ett djup av ca 20 m. På större djup är summakurvorna i det närmaste parallella, vilket tyder på att sonderingsmotstånden där är lika stora. Jämfört med sondering utan mellanlägg har alltså fjädermellanlägget på djup större än 20 m samma effekt som uretangummimellanlägg.

Bh 3 (fyrkantspets) uppvisar ett påtagligt lägre sonderings-

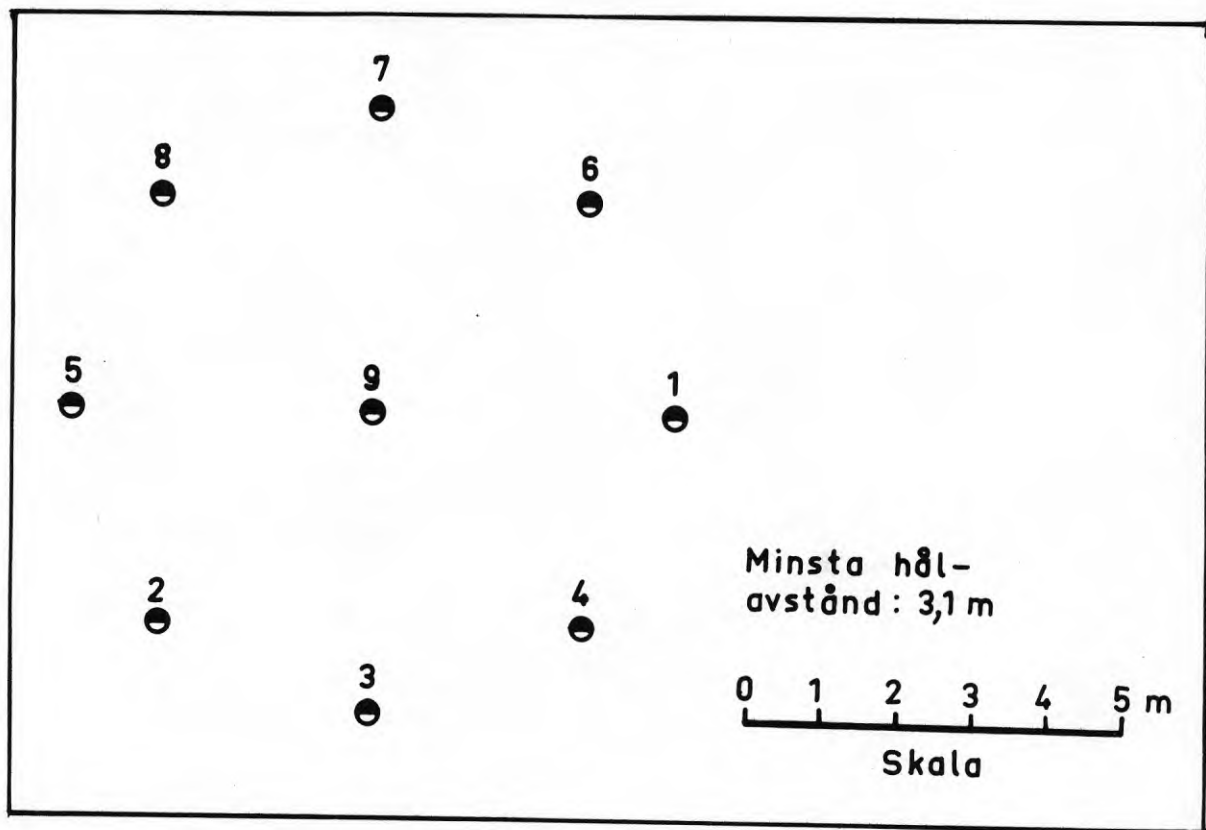


FIG. 55. Sondering med 50 cm fritt fall, fast dyna, 45° vridning/slag samt lagrade spetsar med 90 mm mantellängd. Undersökningsplan. (Beteckningar se FIG. 56.) Försök i lera vid Ultuna, november 1969.

Tests with the free-fall hammer with and without a cushion using 50 cm height of free fall, 45° turning/blow and a not rotating cylindrical or square point of 90 mm length. Plan of test area. (Legend in FIG. 56.) Tests in clay at Ultuna, November 1969.

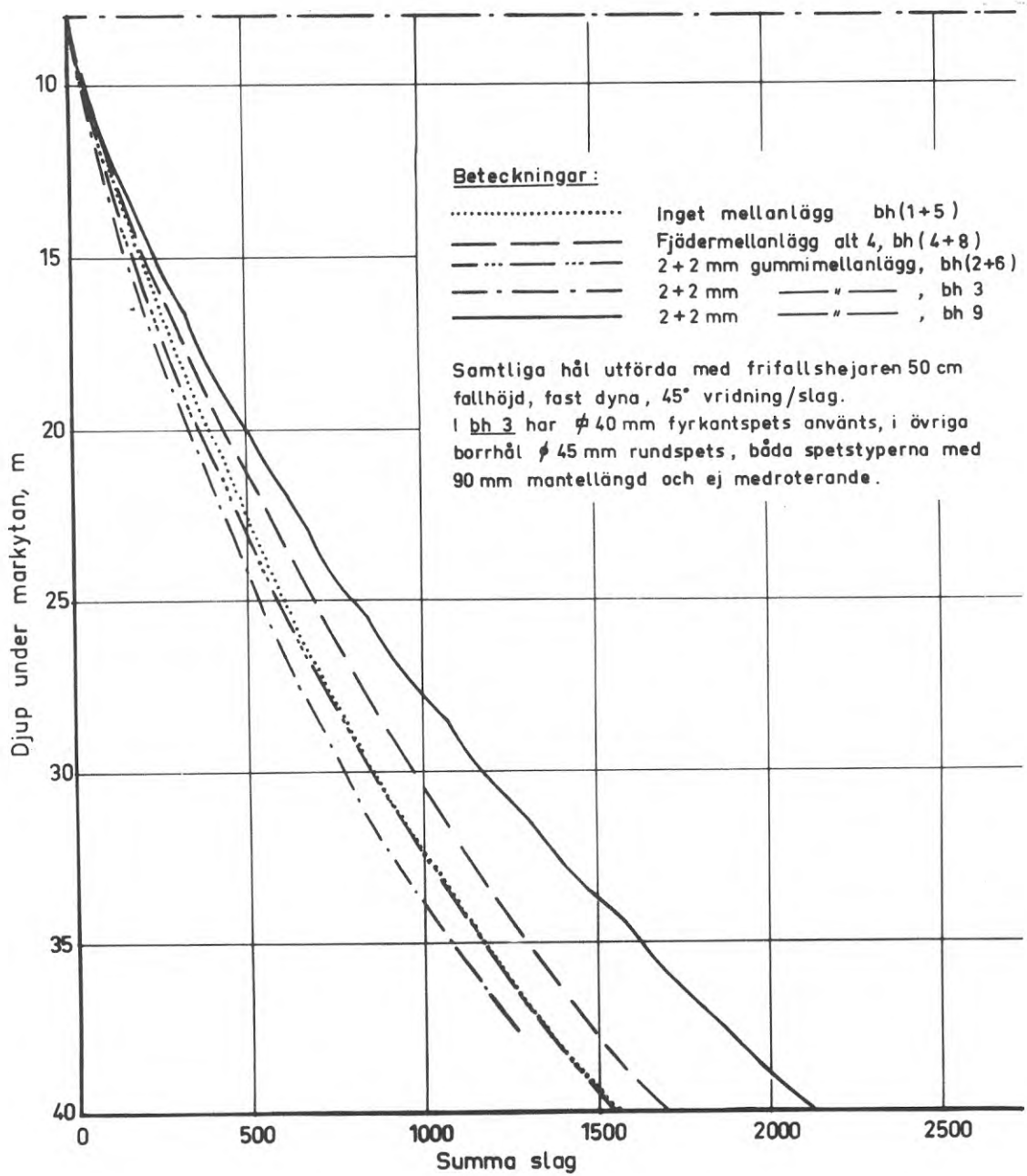


FIG. 56. Summakurvor. Försök i lera vid Ultuna, november 1969.

Accumulated penetration resistance as a function of depth. Tests in clay at Ultuna, November 1969.

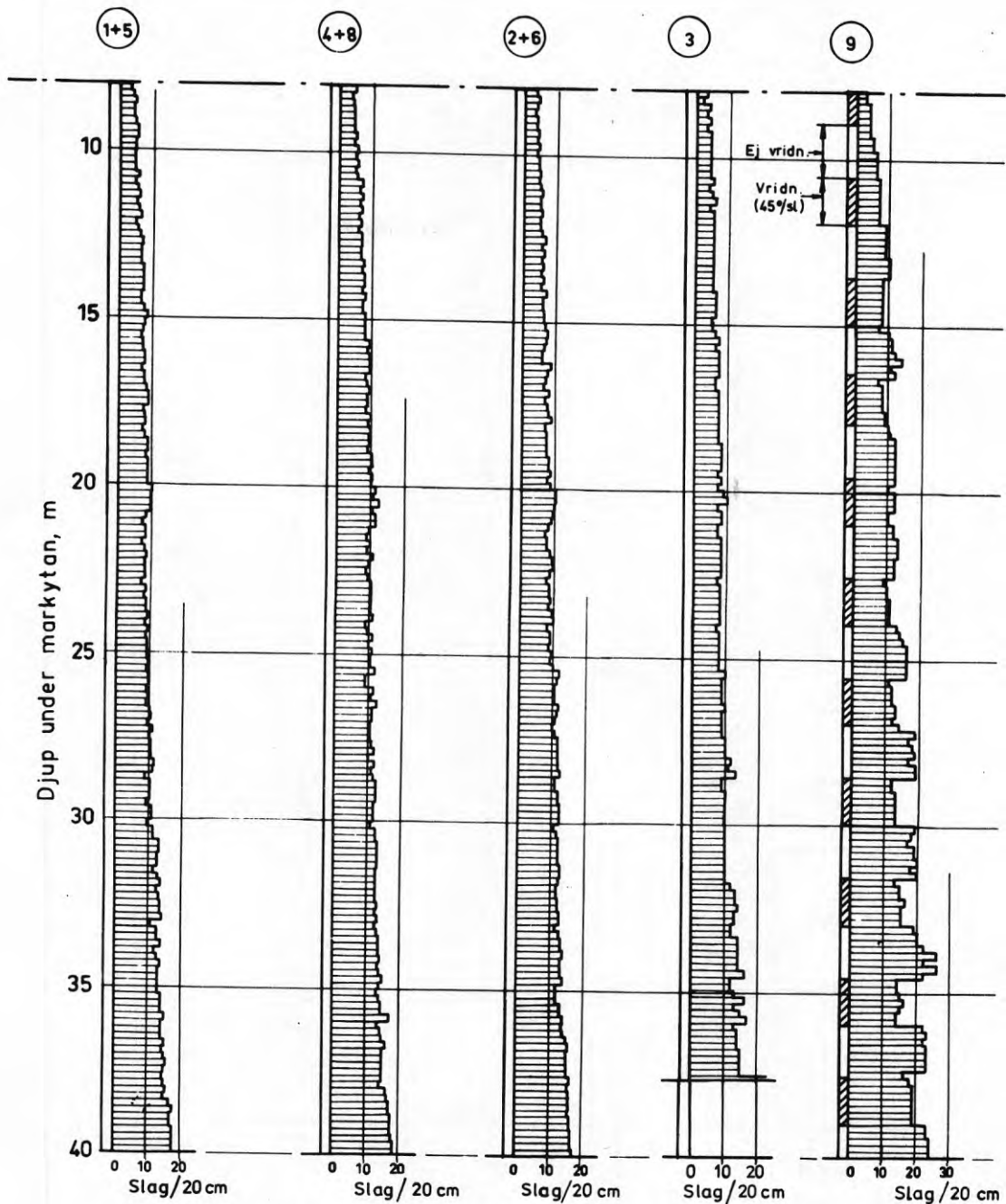


FIG. 57 . Sondring med fjädermellanlägg, alt 4 (bh 4 och 8), (2 + 2) mm uretanguummimellanlägg (bh 2 och 6, bh 3 och bh 9) respektive utan mellanlägg (bh 1 och 5), 50 cm fritt fall, fast dyna, 45° vridning/slag (i bh 9 omväxlande vridning och icke vridning) samt lagrad rundspets, \emptyset 45 mm, med 90 mm mantellängd (i bh 3 fyrkantspets, \emptyset 40 mm). Försök i lera vid Ultuna november 1969.

Tests without a cushion (test 1 and 5), with a cushion of plate springs, alt 4 (test 4 and 8) and with a (2 + 2) mm thick cushion of uretan rubber (test 2 and 6; test 3 and test 9, in test 9 the rod is alternately rotated and not rotated). A cylindrical point (\emptyset 45 mm) used throughout except in test 3 where a square point (\emptyset 40 mm) was used. Tests in clay at Ultuna, November 1969.

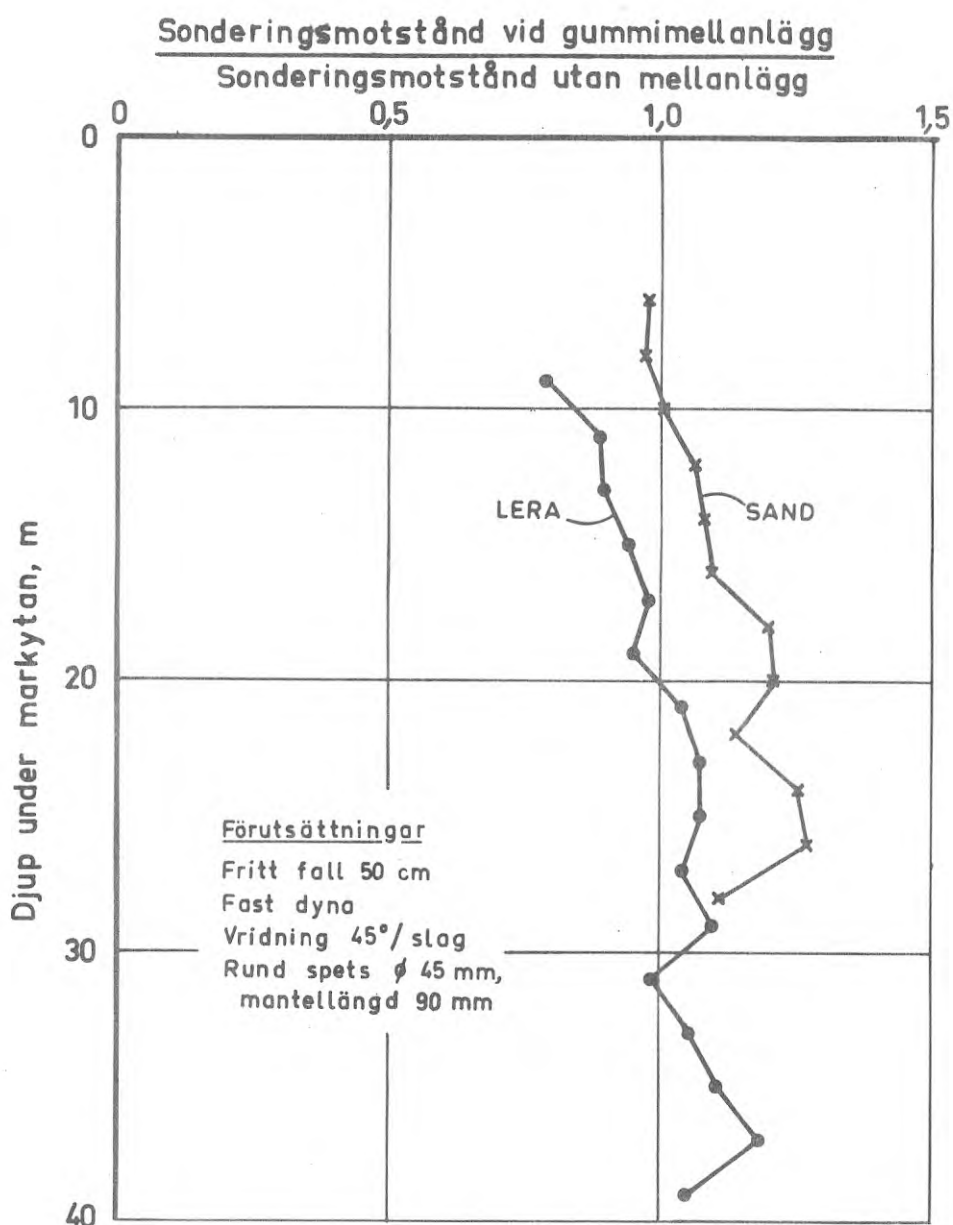


FIG. 58. Kvoten mellan sonderingsmotstånd med (2 + 2) mm uretångummimellanlägg och sonderingsmotstånd utan mellanlägg under i övrigt lika förutsättningar. Försök i sand vid Albysjön, oktober 1969 och i lera vid Ultuna, november 1969.

The ratio between the penetration resistance obtained with a (2 + 2) mm thick cushion of uretan rubber and that obtained without a cushion under equal ramming-conditions as a function of depth. Tests in sand at Albysjön, October 1969 and in clay at Ultuna, November 1969.

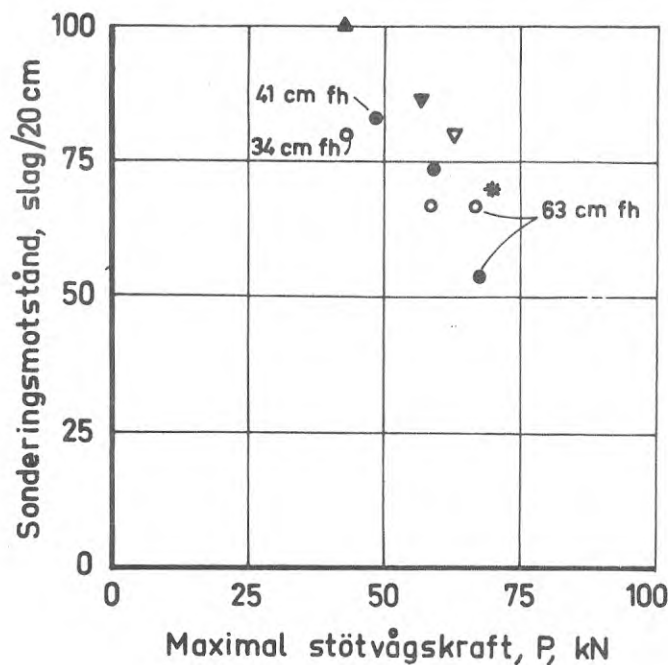
motstånd än samtliga andra sonderingshål (se vidare 4.4).

Som framgått av ovanstående redogörelse över sonderingsförsöken med dämpande mellanlägg har inga direkta försök gjorts att utnyttja stötvågsformens variation för att analysera och jämföra de erhållna sonderingsresultaten. Detta beror på att de stötvågsmätningar som har gjorts inte är representativa för de djup från vilka de huvudsakliga sonderingsresultaten härstammar, eftersom mätningarna gjordes efter avslutad sondering. Mätningar liknande dem vid Albysjön i maj 1969 när sondspetsen "svävar" i sanden ger visserligen möjlighet att jämföra erhållna sjunkning med ur stötvågorna beräknad sjunkning. Detta förutsätter emellertid relativt omfattande mätningar på flera olika nivåer under sonderingens gång och helst även mätning på olika ställen på sondstängen. Det mycket begränsade material som föreligger från försöken vid Albysjön i maj 1969 har dock bearbetats och resultatet visas i FIG. 59. Vid detta tillfälle mättes inträffad sjunkning (mm/10 slag) under respektive serie (se TAB. 4). Dessa sjunkningsbelopp kan även uttryckas som antal slag/20 cm, dvs den vanliga enheten för hejarsonderingsmotstånd.

I FIG. 59 har sonderingsmotståndet ställts i relation till den maximala stötvågskraften P (kN) vid dels naturgummimellanlägg, dels fjädermellanlägg. För jämförelse har även motsvarande värden vid traditionell hejarsondering med ett mycket väl fastslaget killås lagts in. Sonderingsmotståndet har i detta fall erhållits från bh 1 vid Albysjön (FIG. 15) på 30 m djup.

Vid försöken med gummimellanlägg var fallhöjden konstant ca 50 cm medan gummiplattans tjocklek varierade (6, 9,5 och 18 mm). Vid försöken med fjädermellanlägg var fallhöjden 34, 54 respektive 63 cm (alt. 3) och 41, 54 respektive 63 cm (alt. 4). Som framgår av FIG. 59 minskar sonderingsmotståndet (dvs ökar nedträngningen) som väntat med ökande maximal stötvågskraft. Gummimellanläggen ger med detta betraktelsesätt genomgående större sonderingsmotstånd än fjädermellanläggen. Fjädermellanlägg alt. 4 kan ur nedträngningssynpunkt närmast jämföras med gummimellanlägg av 6 mm tjocklek.

För att erhålla en mera rättvisande bild av sambandet mellan stötvågsform och nedträngning bör en bearbetning liknande den, som Fjellknep (1971) har beskrivit, göras. Vid denna bearbetning är det stötvågens form på spetsnivån som sedan integreras och ger ett värde på sjunkningen, vilket sedan kan jämföras med den erhållna sjunkningen. En sådan bearbetning kan underlättas med datorberäkningar.



Beteckningar:

Hejarsondering med fritt fall och fast dyna

▽ 6 mm gummi mellanlägg, 52 cm fh

▼ 9,5 mm " " " " , 50 cm fh

▲ 18 mm " " " " , 50 cm fh

● Fjädermellanlägg, alt. 4, 41, 54 och 63 cm fh

○ " " " " alt. 3, 34 54 och 63 cm fh

Traditionell hejarsondering

* Mycket väl fastslaget killås, 60 cm fh

FIG. 59. Uppmätt sonderingsmotstånd som funktion av uppmätt maximal stötvågskraft. Försök i sand vid Albysjön, maj 1969.

Measured penetration resistance as a function of measured maximum intensity of the stress wave. Tests in sand at Albysjön, May 1969.

4 SPETSENS UTFORMNING

Enligt tidigare gällande hejarsonderingsstandard, vilken fastställdes den 23 april 1964 kunde både rund och kvadratisk spets med tvärsnittsytan 15 - 16 cm² och mantellängden 20 - 200 mm användas. Utförda försök visar dock klart att mantellängden bör ges ett bestämt värde. Dessutom bör spetsar av endast en form användas, t ex rund. Några av de spetsar som har använts vid här redovisade försök återfinns i FIG. 60 med åtföljande beskrivning. Spets nr 3 överensstämmer till formen med den spets som sedermera av geotekniska föreningen fastställts som standardspets för hejarsondering (jfr FIG. 61).

4.1 Kungl. väg- och vattenbyggnadsstyrelsens försök med olika spetsar

I en opublicerad rapport från dåvarande Väg- och vattenbyggnadsstyrelsen av A. Ekström redovisas försök med olika slag av spetsar.

Syftet med försöken var att klarlägga skillnader i nedträngning mellan olika spetsar. Undersökningen hade föranletts av önskvärheten att använda enkla löst påsatta engångsspetsar som lämnas i jorden. Detta medför en betydande förenkling vid uppdragningen.

Vid försöken användes, dels en fyrkantspets, ϕ 40 mm, med 200 mm mantellängd, dels en kort, rund spets, ϕ 45 mm, med endast 20 mm mantellängd (nr 6 i FIG. 60). Vidare provades den tyska standardspetsen enligt Vornorm DIN 4094, som också har cirkulärt tvärsnitt, ϕ 43,7 mm, men med en mantellängd som är lika med diametern, 43,7 mm (se FIG. 62).

Sammanlagt har man utfört jämförande sonderingar på sex olika platser. De genomsonderade jordlagren varierar från lera till sand. Det maximala djupet är 14 m.

Sonderingsförsöken är utförda med traditionell hejarsondering,

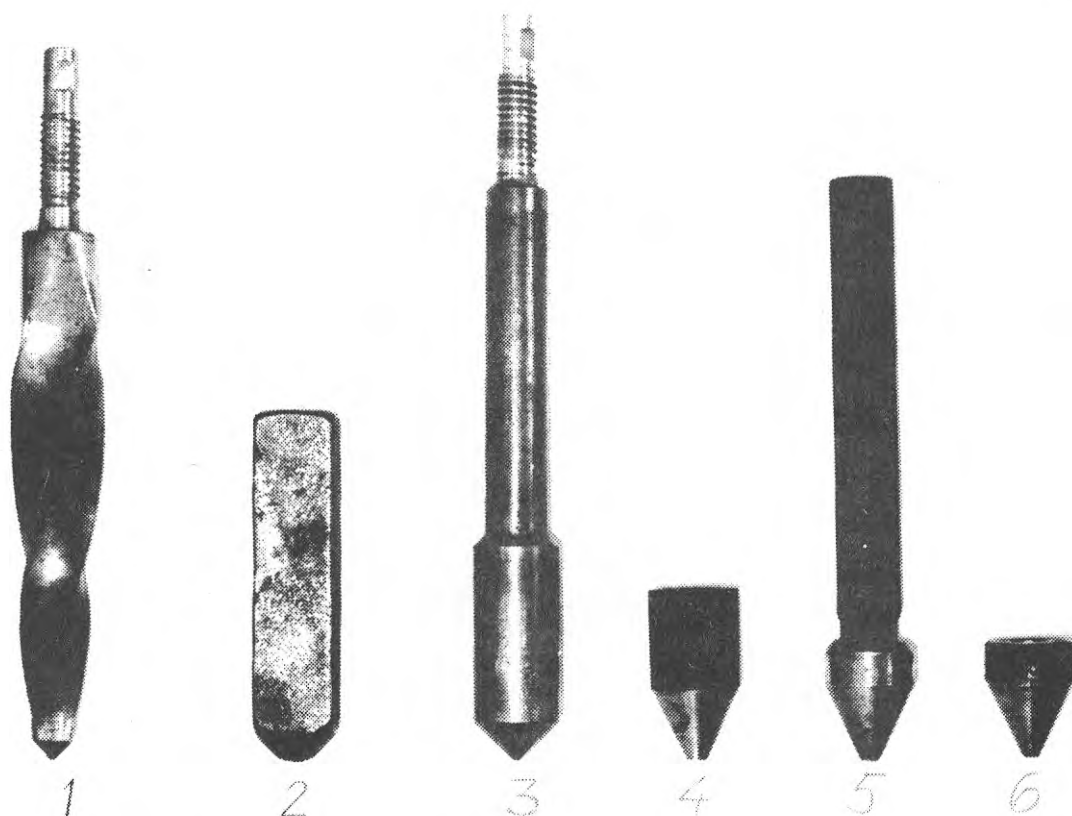


FIG. 60. Några av de vid försöken använda hejarsondspetsarna.

- (1) Vriden spets (se 2.3.1)
- (2) Lös fyrkantspets, ϕ 40 mm, med 160 mm mantellängd (se bl a 2.4)
- (3) Fast, lagrad, rundspets ϕ 45 mm, med 90 mm mantellängd och 90° spetsvinkel (se 3.5.4).
- (4) Lös rundspets, ϕ 45 mm, med 50 mm mantellängd och 60° spetsvinkel (se 2.4).
- (5) Fast, lagrad, rundspets, ϕ 45 mm, med 20 mm mantellängd och 60° spetsvinkel.
- (6) Lös rundspets, ϕ 45 mm, med 20 mm mantellängd och 60° spetsvinkel (användes vid flertalet försök före 1969).

Some of the points used in the different test series.

(1) Special screw point (see 2.3.1), (2) square point (ϕ 40 mm) of 160 mm length (see e.g. 2.4), (3) cylindrical point (ϕ 45 mm) of 90 mm length and an apex angle of 90° , which is not rotating when the rod is rotated (see 3.5.4), (4) cylindrical point (ϕ 45 mm) of 50 mm length and an apex angle of 60° (see 2.4), (5) cylindrical point (ϕ 45 mm) of 20 mm length and an apex angle of 60° , which is not rotating when the rod is rotated and (6) cylindrical point (ϕ 45 mm) of 20 mm length and an apex angle of 60° , which was used in most of the tests series before 1969.

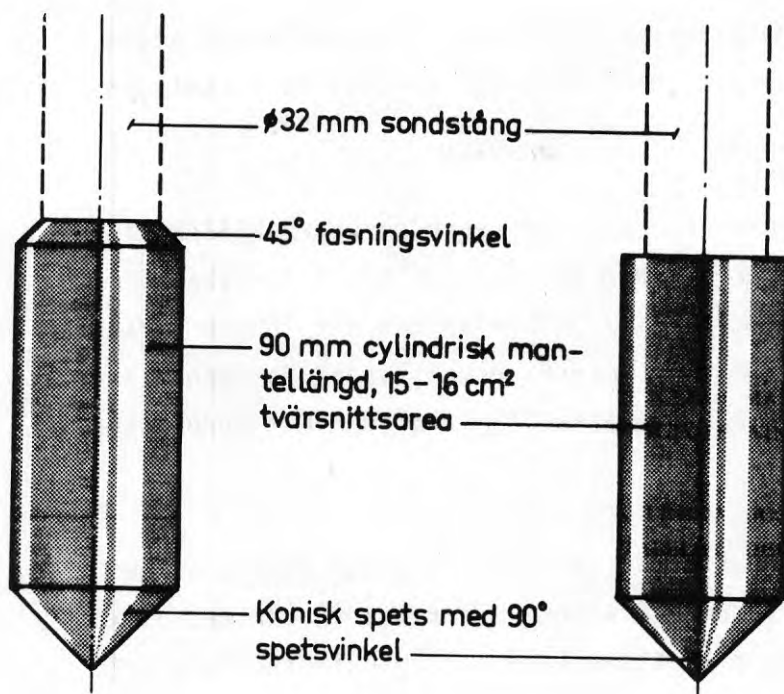


FIG. 61.

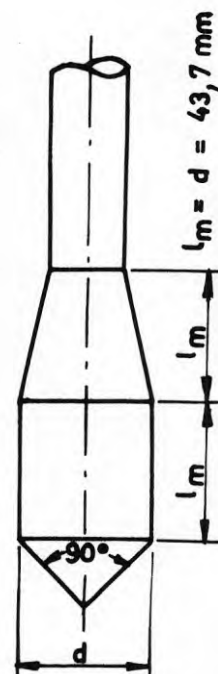


FIG. 62.

FIG. 61. Standardiserad tysk hejarsondspets enligt DIN 4094 (maj 1964).

Ram-sounding point according to German standard (DIN 4094, May 1964).

FIG. 62. SGF:s standardspets för metod A och metod B (jfr spets nr 3 i FIG. 60), 45°-fasningen ej obligatorisk. Får användas som lös eller fast spets. Källa: Handboken Bygg, del 1B (1972).

Ram-sounding point according to the SGF current standard (cp. point no 3 in FIG. 60), the 45° bevelling optional. A loose point may be used. Source: Handboken Bygg, del 1B (1972).

vilket förklarar de stora variationerna i sonderingsmotstånd som uppmätts, trots att jordlagren har bedömts vara tämligen homogena.

Av resultaten framgår att de ej är någon märkbar skillnad i sonderingsmotstånd mellan den korta cirkulärcylindriska spetsen och DIN-spetsen. Vid jämförelse med den längre fyrkant-spetsen har man funnit att sonderingsmotståndet för denna är något större än för de båda runda typerna inom det undersökta djupet.

Eftersom andra parametrar än spetsens form har större effekt på sonderingsmotståndet i jorden gjordes nya försök med olika spetsar först sedan frifallshejaren och vridningsförfarandet kommit till (se 4.4).

4.2 Försök vid Duvåker 1964

Vid Duvåkerförsöken 1964 användes för flertalet hejarsonderingshål lös, rund spets med kort mantelyta (nr 6 i FIG. 60). I ett borrhål (nr 3 i FIG. 22) användes dock enbart en tillspetsad stång \emptyset 32 mm (s k slät spets).

Om man jämför summakurvan för detta borrhål (FIG. 22) med den som gäller för den förtjockade spetsen finner man att motståndet varit ungefär detsamma ned till ca 20 m djup trots att hejarvikt och fallhöjd varit desamma. Mellan ca 20 och 26 m djup var motståndet mindre för den släta spetsen för att vid ca 26 m bli påtagligt större. Detta resultat kan tolkas så att man i den mjäliga jorden med den förtjockade spetsen erhåller en relativt stor uppluckring och därmed mindre mantelfriktion.

Vid jämförelse med det tidigare utförda hejarsonderingshålet (nr 5 i FIG. 22), som utförts med lång fyrkantspets, finner man att sonderingsmotståndet är mindre för den långa spetsen ner till ca 15 m djup liksom mellan 25 och 35 m djup. I det leriga materialet mellan 15 och 25 m djup är motståndet ungefär lika vid de båda sonderingarna.

Skillnaderna i sonderingsmotstånd beror sannolikt inte bara på de olika spetsarna utan även på att sonderingarna utförts på olika sätt med olika maskiner och av olika personer.

Om skillnaderna skall ses som en följd av olikheter i spetsens utformning kan detta antas bero på att man i mo- och mjälajord med den längre spetsen erhåller ett mer stabilt hål som håller sig bättre öppet. I lera däremot har denna skillnad inte så stor betydelse då leran ändå pressas mot stängen.

4.3 Finska försök

Väg- och vattenbyggnadsstyrelsen i Finland har genomfört en serie försök med olika spetsar, vilka redovisades av Hiltunen (1969) i samband med det nordiska sonderingsmötet i Stockholm 1967.

Vid försöken har man använt två spetsar med kvadratisk tvärsnitt (ϕ 40 mm) och mantellängderna 180 respektive 120 mm. Vidare har man använt två runda spetsar (ϕ 38 mm) med mantellängderna 75 och 50 mm. Den längre av de runda spetsarna är nedåt spolformad på en sträcka av 75 mm medan den kortare är konisk på en sträcka av 35 mm (spetsvinkel 47°).

Av resultatet framgår

- a att man med den längre fyrkantspetsen erhåller ett större sonderingsmotstånd än med den kortare spetsen.
- b att man vid jämförelse mellan resultat från sondering med de två runda spetsarna ej erhållit samma påtagliga skillnad.
- c att man vid jämförelsen mellan runda och fyrkantiga spetsar i medeltal erhållit 40 % högre värden i friktionsjordarter med den fyrkantiga spetsen.
- d att man i lera vid jämförelsen enligt c däremot fick lägre värden med fyrkantspetsen än med den runda spetsen.

Vid dessa jämförelser skall beaktas att tvärsnittsarean är 40% större för fyrkantspetsen jämfört med den runda spetsen.

4.4 Försök vid Ultuna och Albysjön 1969

Sonderingsmotståndet påverkas i hög grad av spetsens utformning, vilket framgår av de visade summakurvorna från försöken vid Albysjön i maj 1969 (FIG. 15). Vid sondering utan stångvridning kommer skillnaden i spetsarnas mantellängd att inverka mera på sonderingsmotståndet än olikheten i tvärsnittsform. Mantellängden för den runda spetsen var 50 mm och för den fyrkantiga spetsen 160 mm (spets nr 4 resp. 2 i FIG. 60). I slagögonblicket belastas jorden under spetsnivån varvid de härav orsakade tillskottsspänningarna ger ett ökat horisontaltryck mot spetsens mantelyta. Enligt bl a Menard (1965) är denna ökning i horisontaltryck fullt märkbar till en höjd av ca tre spetsdiametrar ovanför spetsnivån. Eftersom fyrkantspetsens mantellängd är fyra gånger spetsens bredd kommer detta horisontaltryck att ha mycket stor inverkan på storleken av mantelmotståndet längs spetsen och på mindre djup även på det totala mantelmotståndet. Den runda spetsens mantellängd är ungefär lika med spetsdiametern, varför mantelmotståndet längs spetsen i detta fall bara blir ca 25% av det som erhålls längs den långa fyrkantspetsen. Denna effekt blir naturligtvis mest märkbar på mindre djup där mantelmotståndet mot spetsen utgör en väsentlig del av totalmotståndet. Detta framgår även av summakurvorna för bh 2 och 9 samt bh 3 i FIG. 15. Intill ca 14 m uppvisar bh 3 (fyrkantspets) ett större sonderingsmotstånd än bh 2 och 9.

Eftersom sondstångens tvärsnittsarea bara är ca hälften av spetsens area kommer mantelmotståndet längs sondstången att bli litet eller försumbart - förutsatt att spetsen lämnar ett hål som inte faller ihop runt sondstången. I vilken utsträckning hålet faller samman ovanför spetsen beror, dels på jordlagerförhållandena (inklusive grundvattennivåns läge), dels på spetsens förmåga att öppna hålet. Fyrkantspetsens större mantellängd möjliggör en bättre packning av jorden i sidled, vilket i sin tur ger bättre stabilitet åt sondhålets väggar än vad fallet är vid sondering med den korta, runda spetsen. Detta torde vara förklaringen till det olika förloppet hos de båda ovan jämförda summakurvorna på djup större än 14 m, där bh 3

(fyrkantspetsen) uppvisar det lägsta sonderingsmotståndet.

Vid hejarsondering med lös, kort, rund spets, \varnothing 45 mm, med mantellängden 20 mm (nr 6 i FIG. 60) och med fast, lång fyrkantspets, \varnothing 40 mm, med mantellängden 160 mm (jfr nr 2 i FIG. 60) i lerigt moigt material på sträckan Åstorp - Tranarp längs väg E4 erhöles samma tendens som omtalats ovan (jfr summakurvorna i FIG. 63). På små djup uppvisar båda hålen i stort sett samma sonderingsmotstånd, men redan på ca 5 m djup börjar kurvorna divergera, vilket innebär att den långa fyrkantspetsen ger ett lägre sonderingsmotstånd än den korta, runda spetsen. Detta beror sannolikt på den bättre förmåga som fyrkantspetsen har att "öppna" hålet. Tyvärr erhöles ingen jämförelse i det fastare materialet under 20 m djup, eftersom sonderingen med den runda spetsen avbröts strax före 20 m djup.

Effekten av sondstångens vridning på sonderingsmotståndet påverkas likaså av spetsens utformning, i synnerhet om spetsen följer med vid rotationen. Den tidigare beskrivna lösa fyrkantspetsen (nr 2 i FIG. 60) var av den typ som vanligen används vid traditionell hejarsondering, dvs den var försedd med ett fyrkantigt hål i vilket sondstångens fyrkantiga nederdel införs. Spetsen kommer därför att följa med vid sondstångens rotation och intermittent "skrapa" upp ett hål vars diameter motsvarar spetsens diagonal dvs 56 mm. Härtill kommer en viss störningszon, inom vilken jorden blir omlagrad. Ovanför fyrkantspetsen torde i friktionsmaterial sondhålet inte kunna bibehålla den större diametern utan faller ihop helt runt sondstången varvid mantelmotståndet blir förhållandevis stort. Den runda spetsen river inte upp jorden på samma sätt som den fyrkantiga. Därför kan en relativt god packningseffekt erhållas i horisontalled även när sondstången vrids, varigenom mantelmotståndet längs sondstången i viss mån kan hållas nere. Detta skulle förklara varför fyrkantspetsen i friktionsmaterial både vid en vridning av 20° /slag och 120° /slag ger ett större sonderingsmotstånd än den runda spetsen. Beträffande spetsformens inverkan på sonderingsmotståndet kan en direkt jämförelse göras mellan fyrkantig \varnothing 40 mm-spets och rund \varnothing 45 mm-

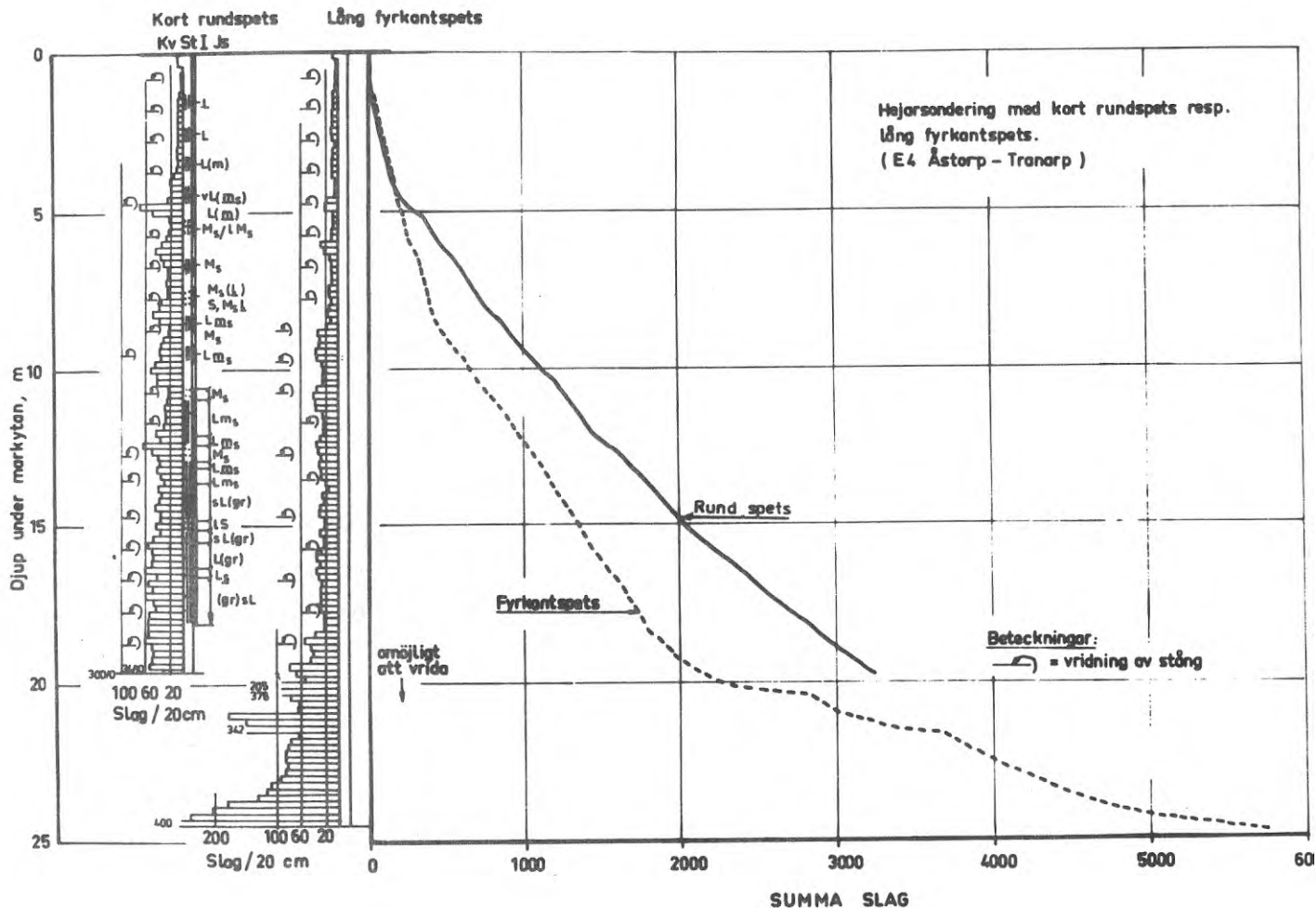


FIG. 63. Sondering med fast (medroterande) lång fyrkantspets (mantellängd 160 mm) och lös, kort rundspets (mantellängd 20 mm). 50 cm fritt fall och fast dyna utan mellanlägg med intermitterent vridning enligt figuren. Försök i mycket fast lera på väg E4, sträckan Åstorp-Tranarp i Skåne, oktober 1968.

Tests with a fixed, square point of 160 mm length and a loose, cylindrical point of 20 mm length at 50 cm height of free fall, a fixed anvil without a cushion and rotation of the rod intermitently. Tests in a very stiff clay at the part Åstorp - Tranarp of the high-way E4 in Skåne, October 1968.

spets med ledning av resultaten från Albysjön i oktober 1969 och från Ultuna i april 1969. Vid dessa tillfällen användes spetsar med 90 mm mantellängd, vilka var rörligt lagrade i förhållande till sondstången (se FIG. 60, spets nr 3). Genom att spetsen var lagrad följde den ej med vid stångens rotation. Eventuella skillnader i sonderingsmotstånd måste därför i detta fall bero på spetsformen. I FIG. 64 visas hur kvoten mellan sonderingsmotstånd med fyrkantspets och rundspets varierar med djupet under markytan vid sondering i lera och sand. Vid de försök som ligger till grund för jämförelsen har uretangummimellanlägg använts på den fasta dynan. Som framgår av diagrammet ger fyrkantspetsen i genomsnitt 25 å 30% lägre sonderingsmotstånd än den runda i sand och 15 å 20% lägre i lera. Diagrammet visar också att kvoten blir nära 1.0 då man når fastare jordlager där spetsmotståndet blir avgörande för totalmotståndet.

Dessa försök talar för nödvändigheten av att använda endast en spetstyp, nämligen den runda. Dessutom bör mantellängden fixeras.

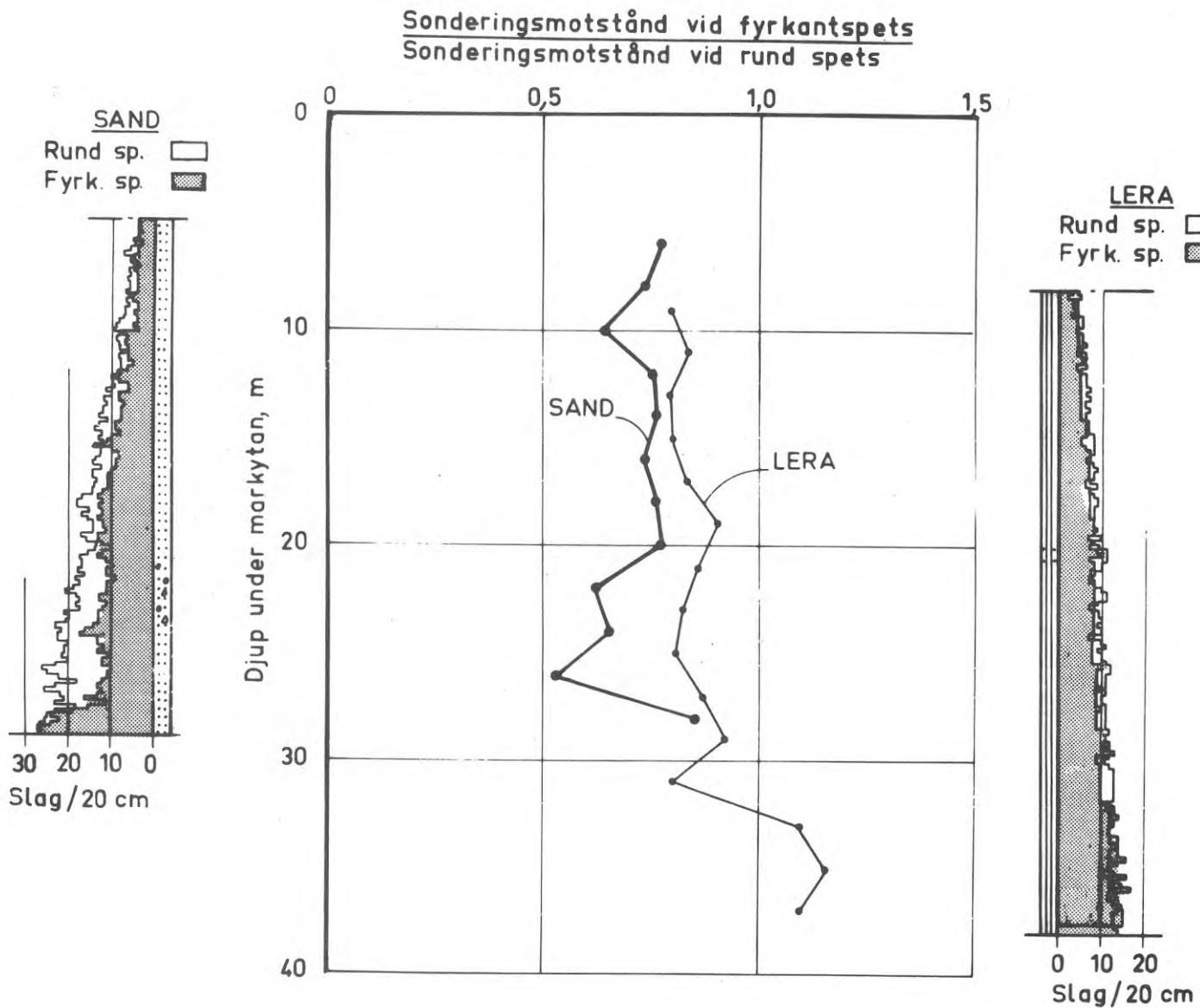


FIG. 64. Effekt i lera och sand av olika spetsform. Kvoten mellan sonderingsmotstånd vid fyrkantspets, \varnothing 40 mm och sonderingsmotstånd vid rundspets, \varnothing 45 mm, som funktion av djupet vid 50 cm fritt fall, fast dyna med (2 + 2) mm uretångummimellanlägg, 45° vridning/slag samt spetsar med 90 mm mantellängd. Försök i lera vid Ultuna, april 1969 och i sand vid Albysjön, maj 1969.

The ratio between the penetration resistance obtained with a square point (\varnothing 40 mm) and that obtained with a cylindrical point (\varnothing 45 mm) under equal ramming conditions as a function of depth. Tests in clay at Ultuna, April 1969 and in sand at Albysjön, May 1969.

5 TIDSSTUDIER VID SONDERINGSFÖRSÖK MED FRIFALLSHEJARE OCH KONTINUERLIG VRIDNING

I samband med en förändring av hejarsonderingsmetoden ser man inte bara på metoden och det resultat som kan erås med densamma utan man är också intresserad av vilka konsekvenser förändringarna får beträffande sonderingsekonomi. Framförallt vill man att sonderingsförfarandet efter företagna förändringar ej blir dyrare än det var tidigare. För att klarlägga om och hur tidsåtgången förändras vid ändringar i metoden har vid ett antal försök, tidsstudier gjorts över sonderingsförloppet. Härvid har man mätt den effektiva neddrivningstiden, dvs slagnings- och skarvningstid exklusive matraster och pauser i arbetet.

Redan vid de första försöken med frifallshejare (Duvåker 1967, FIG. 7) noterades tiden för neddrivningen. Härvid framkom att det med frifallshejare åtgick nära dubbelt så lång tid som vid traditionell hejarsondering. Detta berodde på att antalet stångskarvningar hade dubblats i samband med övergång till 1,5 m skarvlängd och vidare på att den prototyp till frifallshejaren, som då användes, ej var funktionssäker, bl a måste som ovan nämnts den koniska utlösninganordningen flyttas ofta.

Under undersökningsförsöken vid Albysjön i november 1967 mättes tiden för neddrivning av sonden till visst djup som framgår av summakurvor i FIG. 65. Av dessa framgår att det ned till ca 15 m djup åtgår samma tid vid traditionell sondering som vid sondering med frifallshejare. Dock tycks vridning till detta djup inte ha inneburit någon tidsvinst på grund av den extra tid som åtgår för detta arbetsmoment. Det är först på större djup som vridningen ger en sådan minskning i totalmotståndet, att det färre antalet slag uppväger effekten av det extra arbetsmomentet.

Under försöken med vridning av sondstängen vid Albysjön i mars 1968 (FIG. 9) noterades den totala neddrivningstiden, vilken befanns vara 3,4 timmar för borrhål 13 där vridning ej utförts och 2,0 timmar för borrhål 14 där kontinuerlig vridning hade

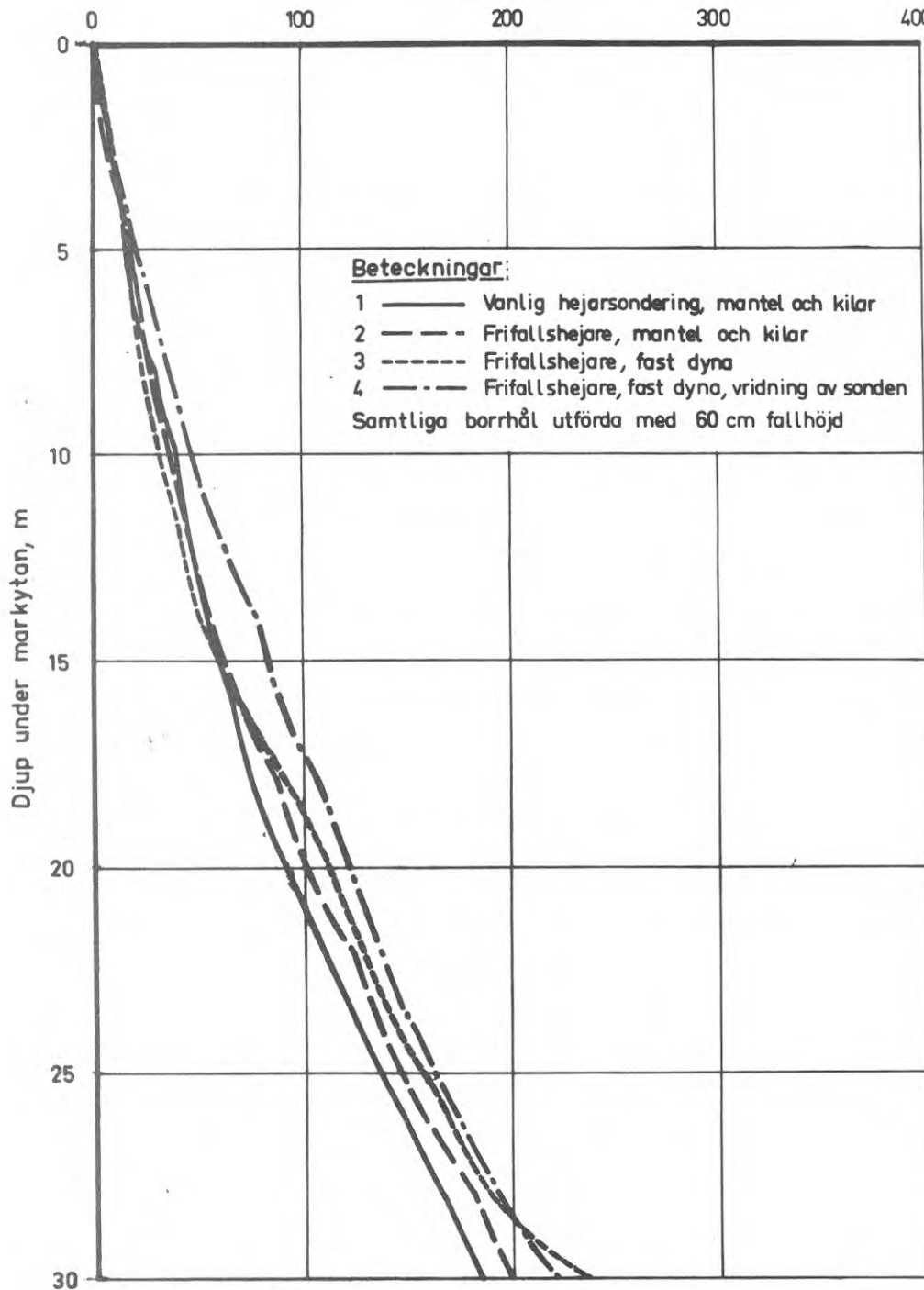


FIG. 65. Jämförelse mellan "effektiv" tidsåtgång vid traditionell hejarsondering och sondering med frifallshejare. Försök i sand vid Albysjön, november 1967.

Comparison between the "effective" driving time at traditional ram-sounding tests and at tests with the free-fall hammer. Tests in sand at Albysjön, November 1967.

utförts. Man finner således att den betydliga reduktion av slagantalet, som erhålls vid vridning också ger en tidsvinst vid sonderingen.

I FIG. 66 har sammanställts tidsobservationerna från försöken vid Ultuna 1969, varav framgår att det med avseende på neddrivningstiden ej är någon skillnad om vridning utförs eller ej. Däremot kan man observera att den effektiva neddrivningstiden för att nå 40 m djup är 300 min för traditionell hejarsondering jämfört med 150 - 200 min för frifallshejarsondering med eller utan vridning.

Även tidsobservationerna vid Albysjön i maj 1969 (FIG, 67) visar att det totalt ej åtgår längre tid om sonden vrids under neddrivningen. Vid dessa mätningar noterades också en tidsbesparing om frifallshejaren används istället för traditionell sondering.

De ovan redovisade tidsstudierna visar således, att man i såväl friktions- som kohesionsjord erhåller en viss tidsbesparing vid övergång till slagning med frifallshejare samt att det extra arbetsmomentet med vridning av sondstången ej medför någon förlängning av neddrivningstiden. Den föreslagna hejarsonderingsmetoden, metod A, medför därför lägre kostnader för sonderingens utförande jämfört med metod B (traditionell hejarsondering) förutom den kvalitativa förbättring av sonderingsresultaten som erhålls med metod A.

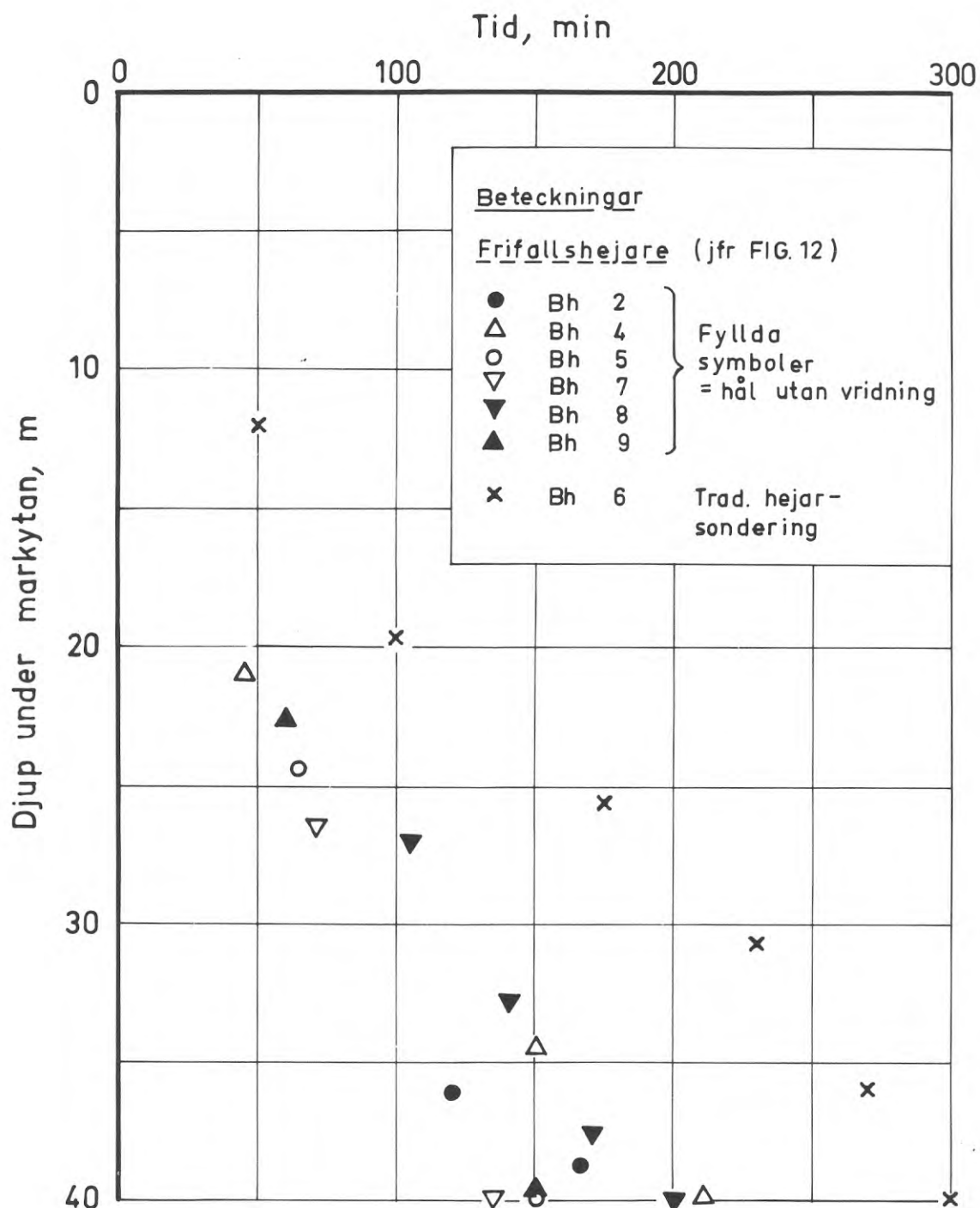


FIG. 66. Jämförelse mellan "effektiv" tidsåtgång vid traditionell hejarsondering och sondering med frifallshejare. Försök i lera vid Ultuna, april 1969.

Comparison between the "effective" driving time at traditional ram-sounding tests and at tests with the free-fall hammer. Tests in clay at Ultuna, April 1969.

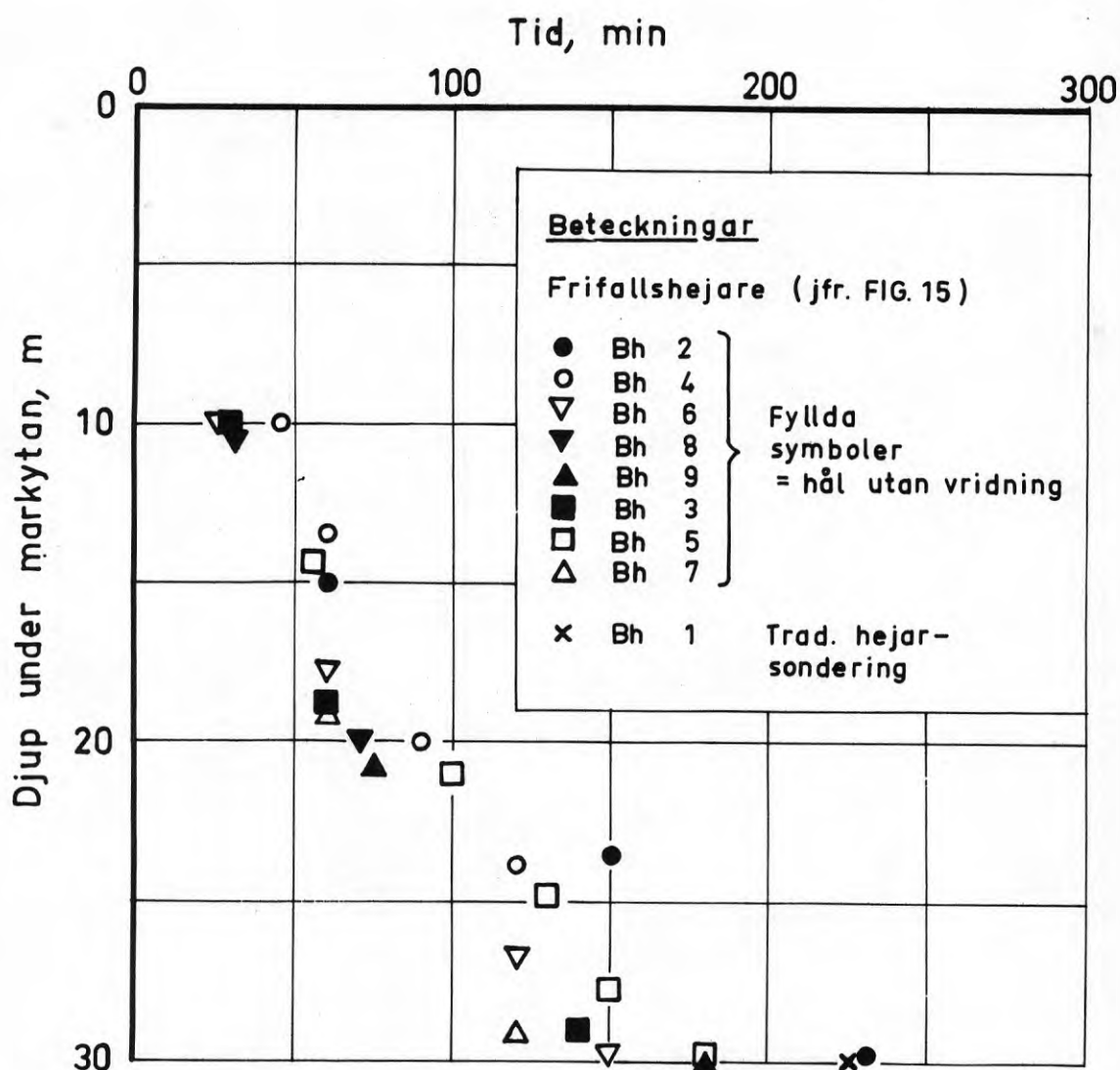


FIG. 67. Jämförelse mellan "effektiv" tidsåtgång vid traditionell hejarsondering och sondering med frifallshejare. Försök i sand vid Albysjön, maj 1969.

Comparison between the "effective" driving time at traditional ram-sounding tests and at tests with the free-fall hammer. Tests in sand at Albysjön, May 1969.

6 STANDARD OCH REKOMMENDATIONER

6.1 Presentation av SGF:s nya standard för hejarsondering

I samband med utarbetandet av standard för det förbättrade förfarandet med fritt fall och fast dyna (metod A i standarden) gjordes en revidering av den standard som tidigare gällde för traditionell hejarsondering (metod B i standarden). Bl a gäller en och samma spetsstyp för båda metoderna. Vad metod B beträffar krävs också protokollföring och redovisning av spetsens nivå vid stångvridning och flyttning av killås.

SGF:S STANDARD FÖR HEJARSONDERING

Fastställd den 8 mars 1971. Tidigare fastställelse har gjorts den 23 april 1964 och 17 november 1965.

METOD A (Utförlig hejarsondering)

Utrustning

- Hejare 63,5 kg \pm 1,0 kg
- Stång slät \emptyset 32 mm, tolerans valsverksstandard
- Spets cirkulär tvärsnittsarea 15 - 16 cm², mantellängd 90 mm med bakkanten rak eller fasad högst 45^o samt spetsvinkel 90^o. Lös spets får användas
- Fallhöjd hejaren skall vara styrd och falla utan hinder mot slagdynan från 50 cm höjd (50 cm fritt fall).
Tolerans \pm 3 cm
- Slagdyna fast, skarvad direkt på stångänden samt försedd med dämpande mellanlägg, vilket med hejare och fallhöjd enligt ovan skall ge en maximal stötvågskraft på 50 - 60 kN (5 - 6 Mp).

Mellanlägget kan bestå av t ex dubbla 2 mm tjocka plattor av uretångummi (Trelleborgs kval. 4013) med diameter $D_y/D_i = 120/35$ mm, vilka byts samtidigt, när någon av dem är utsliten (söndersprucken).

Utförande och redovisning

Sonden neddrivs med slag mot slagdynan, varvid antal slag per 20 cm nedträngning protokollförs. Slagningshastigheten får ej överskrida 60 slag per minut. Under neddrivningen vrids sondstängen 2 varv före varje 20 cm nedträngning av sonden. Vid sonderingsmotstånd < 5 slag/20 cm behöver vridning ej utföras mer än i samband med stångskarvning. Vid större sonderingsmotstånd (> 50 slag/20cm) vrids stängen 2 varv före vart 50:e slag. (Den vridande kraften får ej belasta sondstängen i slagögonblicket.) Om sonden ej kan vridas eller om vridningen utförs på annat sätt än enligt ovan görs notering härom i protokollet samt vid uppritning. Redovisning skall ske enligt SGF:s beteckningsblad.

I övrigt noteras spetsens nivå vid eventuellt byte av dämpande mellanlägg, ävensom andra iakttagelser, som bedöms ha betydelse för sonderingsresultatet. Noteringarna skall införas i diagram vid uppritning.

Vid undersökningar där man önskar göra utvärderingar av jordens fasthet på större djup (> 10 m) under markytan i exempelvis sand- och grusavlagringar reduceras mantelfriktionen ytterligare genom ökad vridning av sondstängen. I dessa fall bör vridningen vara 45° före varje slag. Vid denna vridning erhålls rotation av sondstängen till djupet 30 m, varför man vid större djup på grund av stångtorsion, måste öka vridningen per slag. Denna ökade vridning bör även tillämpas om man önskar bedöma pållängd i fasta leror och mellanjordar, lämpligen såsom komplement till hål där vridning utförts endast i samband med skarvning av stänger.

METOD B (Enkel hejarsondering)

Utrustning

- Hejare 63,5 kg \pm 1,0 kg
- Stång slät \emptyset 32 mm, tolerans valsverksstandard
- Spets cirkulär tvärsnittsarea 15 - 16 cm², mantellängd 90 mm med bakkanten rak eller fasad högst 45⁰ samt spetsvinkel 90⁰. Lös spets får användas
- Fallhöjd vid wireupphängd hejare (medlöpande wirar) 60 cm (\pm 10 cm)
- Slagdyna killås, bestående av en med kilar mot sondstången fastslagen mantel, som flyttas intermittent.

Utförande och redovisning

Sonden neddrivs med slag mot slagdynan, varvid antal slag per 20 cm nedträngning protokollförs. Slagningshastigheten får ej överskrida 60 slag per minut. Vid skarvning av stänger och flyttning av killåset utförs vridning av sondstången för kontroll av stängernas raket och deras hoggängning. I protokollet noteras spetsens nivå vid vridning och flyttning av killås. Noteringarna skall införas i diagram vid uppritning. Redovisning skall ske enligt SGF:s beteckningsblad.

På grund av den reduktion i sonderingsmotståndet som normalt erhålls vid vridning av sondstången blir sonderingsdiagrammet ofta oregelbundet på ett sätt som ej motsvarar aktuella lagringsförhållanden i jorden. Till följd härav kan det vara lämpligt att även med denna metod utföra vridning enligt metod A.

Ovan anges också att spetsens nivå skall noteras vid flyttning av killås. Detta sammanhänger med att även denna förändring ofta medför oregelbundenheter i

sonderingsdiagrammet eftersom kraftöverföringen från slagdyna till stång förändras kraftigt vid flyttning.

6.2 Kommentarer till standarden samt rekommendationer

När skall man använda hejarsondering enligt metod A? Önskvärt är att en successiv övergång sker till denna metod, eftersom det erhållna resultatet ger en riktigare bild av jordlagerföljden och sonderingsresultaten kan direkt jämföras. Endast med metod A erhålls sådana resultat att en meningsfull utvärdering kan utföras. I några fall bedöms metod A som nödvändig, nämligen:

Vid sondering i friktionsmaterial där resultat skall användas för bestämning av materialets fasthet (lagringsförhållanden).

Vid bestämning av fast botten för stödpålar där djupet är större än ca 25 m.

Vid bestämning av fast botten för stödpålar där fastheten i överliggande jord är förhållandevis stor och en successiv övergång till allt fastare material sker.

Vid olika slags kontroller där reproducerbara resultat är nödvändiga.

I samband med sondering enligt metod A skall följande punkter iakttas utöver vad som anges i standarden.

- 1 Den exakta fallhöjden beror av hejarens lyfthastighet vid lösgörandet från lyfthuvudet. Denna lyfthastighet beror i sin tur på maskinens tillstånd och maskinskötarens anslag på reglaget. På grund härav bör fallhöjden kontrolleras under en serie slag t ex vid dagens början när maskinen blivit varm eller vid byte av maskinskötare.

- 2 Vid sondering i främst kohesionära jordarter "växer sondstången fast" om den får stå still under kortare eller längre tid. Denna "fastväxning" påverkar sonderingsmotståndet i hela den resterande delen av hålet. På grund härav skall alla uppehåll längre än 5 min protokollföras, samt sonderingen i sin helhet om möjligt förläggas mellan längre raster.
- 3 För att uppnå en "kontinuerlig" vridningseffekt genom hela sondhålet med så liten total vridning som möjligt erfordras att vridningen utförs oftare i kohesionära jordar än i friktionsjordar. Detta innebär att 2 varv efter varje 20 cm nedträngning i lera i vissa fall borde ersättas av t ex 1 varv efter varje 5 å 10 cm nedträngning eller om stort mantelmotstånd kan förväntas och stort djup eftersträvas 45° vridning före varje slag.

Beträffande avslutningskrav har SGF:s debiteringskommitté i samråd med SGF:s sonderingskommitté givit ut rekommendationer, för bl a hejarsondering, vilka har publicerats i skriften "Upphandling av geotekniska utredningar" (1971). Kvalitetskraven avseende avslutningsskedet vid hejarsondering återfinns i avsnitt 2.4.2 e) i rekommendationernas tredje kapitel. Sedan tillkomsten av dessa rekommendationer har metod A standardiserats och frågan uppstår då om särskilda regler bör gälla för metod A.

Först måste poängteras att några generellt giltiga regler för avslutning av sonderingshål aldrig kan uppställas, eftersom valet av sonderingsmetod och sonderingsförfarande alltid måste anpassas till aktuell problemställning, målsättning och jordlagerföljd.

Eftersom erfarenheterna av rutinarbete med metod A ännu är mycket begränsade kan några detaljerade anvisningar ännu inte lämnas för denna metod. Att döma av de försöksresultat som framkom i samband med utvecklingen av metod A, så innebär

emellertid den kontinuerliga vridningen av sondstången en avsevärd reduktion av sonderingsmotståndet jämfört med resultat från traditionell hejarsondering (metod B). Detta kan medföra att de för metod B uppställda avslutningskraven visar sig vara onödigt hårda, om de tillämpas vid metod A, speciellt vid sondering i friktionsjord, där vridningseffekten på sonderingsmotståndet är störst (jfr FIG. 18).

Tills vidare föreslås dock att debiteringskommitténs regler tillämpas för både metod A och metod B.

Slutligen anser författarna att vridningen vid metod A borde kompletteras med mätning av vridmomentets storlek efter t ex varje två meters nedträngning. Med ledning av det sålunda uppmätta vridmomentet kan en ungefärlig nollinje beräknas enligt ekv. (10) i 2.2.2.

SGF:s standard för hejarsondering

Fastställd den 8 mars 1971. Tidigare fastställelse har gjorts den 23 april 1964 och den 17 november 1965

Metod A (Utförlig hejarsondering)

Utrustning

Hejare

63,5 kg \pm 1,0 kg

Stång

slät \varnothing 32 mm, tolerans valsverksstandard

Spets

cirkulär tvärsnittsarea 15—16 cm², mantellängd 90 mm med bakkanten rak eller fasad högst 45° samt spetsvinkel 90°. Lös spets får användas

Fallanordning

hejaren skall vara styrd och skall falla utan hinder mot slagdynan från 50 cm höjd (50 cm fritt fall).

Tolerans \pm 3 cm

Slagdyna

fast, skarvad direkt på stångänden samt försedd med dämpande mellanlägg, vilket med hejare och fallhöjd enligt ovan skall ge en maximal stöt-vågs kraft på 50—60 kN (5—6 Mp).

Mellanlägget kan bestå av tex dubbla 2 mm tjocka plattor av uretångummi (Trelleborgs kval 4013) med diameter Dy/Di = 120/35 mm, vilka byts samtidigt, när någon av dem är utsliten (söndersprucken).

Utförande och redovisning

Sonden neddrivs med slag mot slagdynan, varvid antal slag per 20 cm nedträngning protokollförs. Slagningshastigheten får ej överskrida 60 slag per minut. Under neddrivningen vrids sondstängens 2 varv efter varje 20 cm nedträngning av sonden. Vid sonderingsmotstånd $<$ 5 slag/20 cm behöver vridning ej utföras mer än i samband med stångskarvning. Vid större sonderingsmotstånd ($>$ 50 slag/20 cm) vrids stängens 2 varv efter var 50:e slag. (Den vridande kraften får ej belasta sondstängens i slagögonblicket). Om sonden ej kan vridas eller om vridningen utförs på annat sätt än enligt ovan görs notering härom i protokollet samt vid uppritning. Redovisning skall ske enligt SGF:s beteckningsblad.

I övrigt noteras spetsens nivå vid eventuellt byte av dämpande mellanlägg, ävensom andra iakttagelser, som bedöms ha betydelse för sonderingsresultatet. Noteringarna skall införas i diagram vid uppritning.

Vid undersökningar där man önskar göra utvärderingar av jordens fasthet på större djup ($>$ 10 m) under markytan i exempelvis sand- och grusavlagringar reduceras mantelfriktionen ytterligare genom ökad vridning av

sondstängens. I dessa fall bör vridningen vara 45° före varje slag. Vid denna vridning erhålls rotation av sondstängens till djupet 30 m, varför man vid större djup, på grund av stångtorsion, måste öka vridningen per slag.

Denna ökade vridning bör även tillämpas om man önskar bedöma pålängd i fasta leror och mellanjordar, lämpligen såsom komplement till hål där vridning utförts endast i samband med skarvning av stänger.

Metod B (Enkel hejarsondering)

Utrustning

Hejare

63,5 kg \pm 1,0 kg

Stång

slät \varnothing 32 mm, tolerans valsverksstandard

Spets

cirkulär tvärsnittsarea 15—16 cm², mantellängd 90 mm med bakkanten rak eller fasad högst 45° samt spetsvinkel 90°. Lös spets får användas

Fallhöjd

vid wireupphängd hejare (medlöpande wirar) 60 cm (\pm 10 cm)

Slagdyna

killås, bestående av en med kilar mot sondstängens fastslagen mantel, som flyttas intermittent

Utförande och redovisning

Sonden neddrivs med slag mot slagdynan, varvid antal slag per 20 cm nedträngning protokollförs. Slagningshastigheten får ej överskrida 60 slag per minut. Vid skarvning av stänger och flyttning av killåset utförs vridning av sondstängens för kontroll av stängernas raket och deras hopgångning. I protokollet noteras spetsens nivå vid vridning och flyttning av killås. Noteringarna skall införas i diagram vid uppritning. Redovisning skall ske enligt SGF:s beteckningsblad.

På grund av den reduktion i sonderingsmotståndet som normalt erhålls vid vridning av sondstängens blir sonderingsdiagrammet ofta oregelbundet på ett sätt som ej motsvarar aktuella lagringsförhållanden i jorden. Till följd härav kan det vara lämpligt att även med denna metod utföra vridning enligt metod A.

Ovan anges också att spetsens nivå skall noteras vid flyttning av killås. Detta sammanhänger med att även denna förändring ofta medför oregelbundenheter i sonderingsdiagrammet eftersom kraftöverföringen från slagdyna till stång förändras kraftigt vid flyttning.

Kommentarer till standarden

När skall man använda hejarsondering enligt metod A? Önskvärt är att en successiv övergång sker till denna metod, eftersom det erhållna resultatet ger en riktigare bild av jordlagerföljden och resultaten kan jämföras. Endast med metod A erhålls sådana resultat att en meningsfull utvärdering kan utföras. I några fall bedöms metod A som absolut nödvändig, nämligen:

- Vid sondering i friktionsmaterial där resultatet skall användas för bestämning av materialets fasthet (lagringsförhållanden).
- Vid bestämning av fast botten för stödpålar där djupet är större än ca 25 m.
- Vid bestämning av fast botten för stödpålar där fastheten i överliggande jord är stor och en successiv övergång till allt fastare material sker.
- Vid kontroller av olika slag där reproducerbara resultat är nödvändiga.

I samband med sondering enligt metod A skall följande punkter iakttagas utöver vad som anges i standarden.

- Den exakta fallhöjden beror av hejarens lyfthastighet vid lösgörandet från lyfthuvudet. Denna lyfthastighet beror i sin tur på maskinens tillstånd och maskinskötarens anslag på reglaget. På grund härav bör fallhöjden kontrolleras under en serie slag vid tex dagens början när maskinen blivit varm eller vid byte av maskinskötare.
- Vid sondering i främst kohesionära jordarter "växer sondstängens fast" om den får stå still under kortare eller längre tid. Denna "fastväxning" påverkar sonderingsmotståndet i hela den resterande delen av hålet. På grund härav skall alla uppehåll längre än 5 min protokollföras, samt sonderingen i sin helhet om möjligt förläggas mellan längre raster.
- För att uppnå en "kontinuerlig" vridningseffekt genom hela sondhålet med så få vridningstillfällen som möjligt erfordras att vridningen utförs oftare i kohesionära jordar än i friktionsjordar. Detta innebär att 2 varv efter varje 20 cm nedträngning i lera i vissa fall borde ersättas av tex 1 varv efter varje 5 à 10 cm nedträngning.

7 FÖRSLAG TILL FORTSATTA UNDERSÖKNINGAR

Erfarenhetsunderlaget för den nya metoden A är ännu så länge mycket begränsat. Därför är det angeläget att de resultat som framkommer i samband med praktisk tillämpning av metoden så småningom insamlas och sammanställs. Därigenom kan bl a inverkan av jordlagerförhållandena ytterligare belysas. En sådan sammanställning kan mycket väl utföras i form av examensarbeten vid exempelvis Tekniska högskolan i Stockholm.

Vidare är det önskvärt att direkta jämförelser görs mellan hejarsonderingsresultat och resultat från andra sonderingsmetoder, t ex viktsondering, trycksondering och Standard Penetration Test (SPT).

Jämförelsen med SPT har ett speciellt intresse, enär svenska och nordiska sonderingsmetoder allt mer kommer till användning vid arbeten i utlandet. Insatsen av t ex hejarsondering försvåras emellertid ofta på grund av att den utländska beställaren eller entreprenören endast har erfarenhet av SPT. I många fall har det visat sig att svensk hejarsondering enligt metod A är vida överlägsen SPT bl a därigenom att man får en kontinuerlig bild av jordlagerföljden på platsen.

Som nämnts i kap 6 är det önskvärt att vridningen vid metod A i vissa fall kompletteras med momentmätning. En närmare undersökning av vridmomentets relation till mantelmotståndet vore av stort intresse. Om möjligt skulle en sådan undersökning kombineras med stötvågsmätning och stängerna därvid förses med trådtöjningsgivare på olika ställen, så att några mätpunkter erhålls under markytan, därav en nära spetsen. Problemet med stötvågsmätningen blir härvid bl a att förhindra att trådtöjningsgivarna under markytan skadas under nedslagningen.

Genom jämförelse mellan initialstötvågens form vid markytan och på olika djup under markytan skulle ett, låt oss kalla det, dynamiskt mantelmotstånd kunna beräknas. Detta dynamiska mantelmotstånd kan ställas i relation till det statiska mantelmotståndet som beräknas utifrån vridmomentets storlek.

Fjelkner (1971) har vid försök med stålplålar jämfört det statiska spetsmotståndet, bestämt genom provbelastning, och det dynamiska spetsmotståndet, bestämt genom stötvågsmätningar. Värdet av kvoten statistiskt/dynamiskt spetsmotstånd visade sig vara större ju mindre den uppmätta sjunkningen per slag var före provbelastningen.

Man kan förmoda att ett liknande förhållande gäller beträffande kvoten mellan det statiska och det dynamiska mantelmotståndet vid sondering. Med kännedom om värdet på denna kvot och kvotens variation med sonderingsmotståndet i olika jordar skulle det statistiskt bestämda vridmomentet och det därav beräknade statiska mantelmotståndet kunna översättas till dynamiskt mantelmotstånd. Skillnaden mellan totalmotståndet och dynamiskt mantelmotstånd ger slutligen det dynamiska spetsmotståndet, vilket kan ställas i relation till karakteristiska egenskaper hos genomsonderade jordlager.

Om momentmätningen visar sig tillföra metoden väsentliga fördelar bör man överväga att konstruera en mekanisk anordning för vridning av stängen, varvid vridningsvinkeln vid vridning mellan varje slag bör vara minst 45° /slag. Om tillverkningsmässiga eller andra skäl talar för att den mekaniska vridningsenheten bör utföras så att sondstängen vrids efter viss nedträngning bör vridningsvinkeln per gång vara större ju större nedträngning som tillåts mellan vridningstillfällena. Enligt nuvarande standard (metod A) krävs ca 2 varv/20 cm nedträngning. Erforderlig vridning vid mindre nedträngning än 20 cm kan överslagsmässigt erhållas genom rätlinjig interpolation mellan 2 varv vid 20 cm nedträngning och 45° vid 0 cm nedträngning.

Som ett alternativ till metod A bör den framtida forskningen inriktas på utveckling av en helt ny typ av hejarsond, kanske någonting som liknar den franska tryckluftdrivna hejarsonden (se 1.4). Möjligheten att öka hejarens vikt när kvoten hejarvikt/stångvikt blir alltför liten (t ex mindre än 0,5) är värt att undersöka närmare.

LITTERATUR

- DIN 4094, 1964, Deutsche Normen, Baugrund, Ramm- und Drucksondiergeräte. (Beuth-Vertrieb GmbH, Berlin 15 und Köln.) Blatt 1. Berlin.
- Ekström, A, 1963, Rapport över utförda undersökningar med lösa borrhspetsar vid hejarsondering (Preliminär rapport). (Statens vägverk.) Okt. Stockholm /Opublicerad stencil./
- Fischer, HC, 1961, Theory and application of longitudinal impact. Part I: Elastic longitudinal impact with some reference to rock drilling. (Atlas Copco.) Tryckluft, 1, årg. 16, p. 4-20. Stockholm.
- Fischer, HC, 1962, Theory and application of longitudinal impact. Part II: Piledriving and other cases of frictional resistance. (Atlas Copco.) Tryckluft, 2, årg. 17, p. 4-24. Stockholm.
- Fischer, HC & Hellman, L, 1963, Pålslagningen och stötvågsteorin (SVR:s förlag.) Väg- och vattenbyggaren, 9. Stockholm.
- Fjelkner, G, 1971, Stålpålars bärförmåga. Resultat av fältförsök med lätta slagdon. (Ingenjörsvetenskapsakademin, Pålkommissionen.) Meddelande nr 16. Stockholm.
- Fletcher, CFA, 1965, Standard Penetration Test: its uses and abuses. (American Society of Civil Engineers.) ASCE, Vol. 93, No. SM4, p. 67. New York.
- Forslag til retningslinjer for geotekniske undersøkelser, 1966. (Norsk Geoteknisk Forening.) 18 s. Oslo.
- Hellman, L, 1968, Stötvågsteori. (Sv. Teknologföreningen.) STF-TLI Kursverksamhet, kurs i pålning 13 - 14 maj. Stockholm.
- Hellman, L, 1969, Försök med hejar- och motorslagsondering. (Statens geotekniska institut.) Särtr. och prel. rapp. nr 31, p. 161-171. Stockholm.
- Hiltunen, R, Hejarsonden vid grundundersökningar. (Statens geotekniska institut.) Särtr. och prel. rapp. nr 31, p. 145-153. Stockholm.
- Ireland, HO, Moretto, O & Vargas, J, 1970, The dynamic penetration test: a standard that is not standardized. (Institution of Civil Engineers.) Geotechnique, Vol. 20, No. 2, p. 185. London.
- Menard, L, 1967, Regles d' utilisation des techniques pressiométriques et d'exploitation des résultats obtenus pour le calcul des fondations. (Centre d'Etude Geotechniques.) D/60/67, Oct. Paris.

Rehman, SE & Wennerstrand, J, 1965, Jämförelser mellan olika sonderingsmetoder. (Kungl. tekniska högskolan, institutionen för geoteknik.) Examensarbete i geoteknik. Stockholm.

Sermes, 1968, Dynamic penetration test equipment. (Société Sermes, 20, avenue Carnot 78 - Croissy-sur-Seine.)-Croissy-sur-Seine.

Terzaghi, K & Peck, RB, 1967, Soil Mechanics in Engineering Practice. (John Wiley & Sons.) New York.

R72: 1973

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag C 478 från Statens råd för byggnadsforskning till Statens geotekniska institut, Stockholm. Försäljningsintäkterna tillfaller fonden för byggnadsforskning.

**Distribution: Svensk Byggtjänst, Box 1403, 111 84 Stockholm
Grupp: konstruktion**

Pris: 26 kronor