



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

R35:1975

Injekteringsförband

**Bengt Bergvall och
Arne Johnson**

Byggforskningen

I efterhand ingjuten förankring är ett arbetsförfarande, som med hänsyn till byggnadsindustrins utveckling mot ett rationellare byggande är angeläget att undersöka. Syftet med undersökningen är att undersöka olika faktors inverkan på hållfastheten samt att uppställa rekommendationer för dylika arbetens utförande. Dessutom skall undersökningen kunna utgöra underlag för normer.

De drygt 200 utdragsprov som utförts visar att förbandets hållfasthet kan bli mycket god utan omständliga och kostnadskrävande åtgärder. Som exempel kan nämnas att ett förband enligt figur 1 uppvisar en nominell utdragshållfasthet av ca 13 Mp.

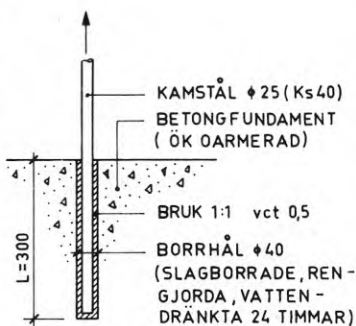
De faktorer som har den största inverkan på hållfastheten är ingjutningslängden, hålväggens nedsmutsning och i viss mån dess släthet (borrmetod). För förband enligt figur 1 med varierande ingjutningslängd L erhålls nominell utdragshållfasthet enligt figur 2. Nedsmutsade hål medför stor spridning av förbandets hållfasthet. Faktorer såsom håldiameter, brukskvalitet och brukskonsistens (vct) kan varieras inom vissa gränser utan att hållfastheten påtagligt försämras. Brukets vattencementtal kan exempelvis vara så högt att bruket kan hållas i borrhålen, vilket ger ett enkelt ingjutningsförfarande.

De studier som samtidigt utförts inom undersökningens ram, vad gäller arbetsmetodens ekonomiska konsekvenser samt inverkan på projektering och produktion, pekar på att metoden bör kunna få stor praktisk betydelse.

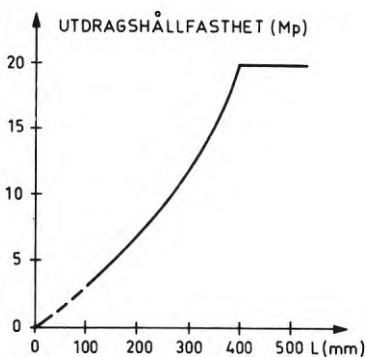
Teoretiska frågeställningar

Då ett injekteringsförband, i princip utfört enligt figur 1, belastas med en utdragskraft uppstår vidhäftningsspänningar mellan betong och injektering, samt mellan stång och injektering.

Beroende på stängens glidning i förbandet åstadkommes vidhäftningen på olika sätt i olika punkter längs stängen. Alltså kan vid ett utdragsprov en del av vidhäftningen i ett visst belastningsstadium ombesörjas genom adhesion (närmast den obelastade änden) och en del



FIGUR 1.



FIGUR 2.

genom friktion (närmast den belastade änden).

Ökas belastningen, börjar en viss kamverkan att göra sig gällande vid den belastade änden med tydföljande förändring av vidhäftningsfördelningen, som m.a.o. inte är en gång för alla bestämd, utan beror på lastens storlek. Vid uppnående av en viss storlek på lasten föreligger även risk för att en kon av betong frigörs under inverkan av drag- och skärkrafter.

Teorier har uppställts av ett antal forskare för att beräkna spänningsfördelningen och deformationen längs förbandet. Problemet med teorierna är att de blir mycket oöverskådliga om samtliga samband skall beaktas. Därför syftar utvärderingen till att helt utgå från de experimentella resultaten och därav dra eventuella slutsatser.

Parametrar av intresse är hur borrhålens diameter, borrhålens ytbeskaffen-

Nyckelord:

injekteringsförband, förankring, utdragshållfasthet

Rapport R35:1975 hänför sig till forskningsanslag C 981 från Statens råd för byggnadsforskning till Arne Johnson Ingenjörbyrå, Stockholm.

UDK 693.546.3
SfB A
ISBN 91-540-2455-2

Sammanfattning av:

Bergvall, B. & Johnson, A., 1975, *Injekteringsförband*. (Statens råd för byggnadsforskning) Stockholm. Rapport R35:1975, 132 s., ill. 23 kr + moms.

Rapporten är skriven på svenska med svensk och engelsk sammanfattning.

Distribution:

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

het, brukets egenskaper, inbördes hållavstånd mellan parallella stänger, avstånd från borrhål till kant, armeringsdiameter och arbetsutförande påverkar förbandet i kombination med varierande ingjutningslängder.

Andra faktorer vilka studerats i mindre grad är inverkan av pulserande last, långtidslast, injektering av horisontella hål, excentriska hållplacering samt dragning av två stänger samtidigt.

Provningsmaterialet är trots sitt omfång så splittrat, för att belysa olika faktorer, att en statistisk analys, för att erhålla spridningen inom varje grupp av försök som utförts med lika variabler, ej skulle ge en relevant tolkning av förekommande resultat.

Provningsmetodik och utförande

Inom ramen för denna undersökning har utförts dragprov på i efterhand ingjutna armeringsjärn. Provkropparna har byggts upp genom att med cementbruk utan tillsatser gjuta in armeringsjärn i hål borrarade i speciella betongfundament. När bruket härdat har förbandet utsatts för dragbelastning till brott. Under belastningen har förbandets deformation registrerats med hjälp av måtklockor.

Provningsresultat

Resultaten av provningarna beskrivs huvudsakligen genom att last-förskjutningskurvor redovisas.

De viktigaste slutsatserna är:

1. Vidhäftningshållfastheten mellan bruk och kamstål mellan bruk och betong är avgörande för förbandets hållfasthet.
2. Förbandets hållfasthet är i stort sett direkt proportionell mot ingjutningslängden.
3. Förband med bruk 1:1 och 3:1 är hållfasthetsmässigt ungefär lika bra med högsta provningsvärden för bruk 3:1. Bruk 1:3 gav däremot väsentligt sämre resultat jämfört med de båda andra brukskvaliteterna.
4. Slagborrade hål ger, beroende på hålväggens skrovlighet, något bättre hållfasthet åt förbanden än diamantborrade.
5. Torra dammiga ej fuktade borrhål ger avsevärt sämre hållfasthet för förbanden jämfört med de fuktade borrhålen.
6. Långtidseffekter ger en kvarstående deformation hos förbanden som närmare bör utforskas.

7. Pulserande lastförsök om 50 lastcykler med kontinuerlig varierande last mellan 5–10 ton – under ungefär en halv timme – visar att förbanden har bibehållen förankringsförmåga. Inga kvarstående deformationer observerades och ingen förhöjd glidning under hela provcykeln registrerades.

Experimentella försök visar att varierande resultat erhålles på antalet påverkbara faktorer. Klart är dock att ingjutningslängden är huvudvariabel och att övriga parametrar förstärker eller försvagar förbandshållfasthetskaraktistika. Förband med förankrade stänger via injekteringsbruk uppför sig statiskt som stänger direkt ingjutna i betongen.

Tillämpningsregler – rekommendationer

För att praktiskt kunna tillämpa de från provningarna framtagna resultaten måste förbandets brottlast väl definieras. Om förbanden skall funktionera måste också krav på förbandets deformation i bruksstadiet kunna läggas till grund för dimensionering.

Med utgångspunkt från av provningarna erhållna resultat definieras ett karakteristiskt brottvärde P_B för förbandet enligt:

1. Om sträckgränsen uppnås i stängen vid utdragning och förbandets maximala last P_{br} ligger minst 30 procent över stängens flytlast definieras brottlasten för förbandet som $P_B = A_a \cdot \tau_{su}$.
2. Uppnås sträckgränsen i stängen och förbandets maximala brottlast P_{br} inte ligger 30 procent över stängens flytlast definieras brottlasten för förbandet som $P_B = 0,7 \cdot P_{br}$.
3. Om sträckgränsen inte uppnås i stängen innan förbandets maximala lastupptagningskapacitet överskrids anges brottlasten för förbandet som $P_B = 0,7 \cdot P_{br}$.

För att det definierade karakteristiska brottvärdet skall kunna läggas till grund för dimensionering måste också krav ställas på förbandet vid bedömning av dess beteende vid långtidslast och pulserande last.

Med beaktande av att de förband som provats under långtidslast, visserligen vid höga påkänningar, visat tendens till kvarstående deformationer kan en säkerhetsfaktor omkring 3 synas befogad

när injekterings och betongens hållfasthet är avgörande. Däremot då armeringen är avgörande för brottet kan det anses befogat att tillämpa de efter svenska betongbestämmelserna föreslagna säkerheterna 2 för kamstål $\varnothing 25$ och 1,8 för kamstål $\varnothing 16$.

I rapporten redovisas dimensionsdiagram för tillåten utdragslast under vissa förutsättningar. Förutom material- och dimensionskrav anges även utförande- och kontrollkrav. De tillåtna lasterna baseras på resonemangen ovan.

Praktisk användning av injekteringsförband inom bygnadsverksamheten

Genom att använda metoden med injekteringsförankring kommer en rad arbetsmetoder att påverkas och förändras. Lika väl som håltagningsmetoder med diamantbormaskiner vunnit allt större användning eller tekniken att utföra infästningar för mätliga laster med expanderskruvar gjort stora framsteg så bör även injekteringsförankring av olika typer för förankring av stora krafter vara intressant.

Utsättning och kontrollinmätning är besvärligare och mer tidsödande än genomföra bland armeringsjärn och formar vilket man gör konventionellt. I injekteringsalternativet göres utsättningen på den färdiggjutna betongkonstruktionen varvid man har ett stadigt och jämt underlag som dessutom är lätt att göra markeringar på.

Toleransnoggrannheten blir avsevärt bättre med injekteringsförankringsmetoden.

Det är alltid besvärligt och kräver ofta specialarrangemang att *montera förankringsjärn tillräckligt stabilt* bland armering och betongformer före gjutningen vilket man måste göra när man tillämpar den konventionella metoden.

De ur den färdiggjutna betongkonstruktionen *uppstickande förankringarna utgör alltid ett hinder* för alla de arbeten som skall utföras fram till dess den anslutande konstruktionen skall formas eller monteras.

Uppstickande armering utgör alltid en risk för personskador och olycksfall.

Om metoden med injekteringsförankring har någon belastning så torde det vara att man *inför nya arbetsoperationer* som kräver en speciell maskinell utrustning.

Grouted joints

Bengt Bergvall & Arne Johnson

Swedish Building Research Summaries

R35:1975

Key words:

grouted joint, anchorage, pull-out strength

Grouting of anchorages in holes drilled after completion of the structure is a working operation which necessitates urgent study in view of the development of the building industry towards more rational construction methods. The object of this investigation was to elucidate the influence of various factors on the strength and to draw up recommendations for the construction of such anchorages. The investigation was also to provide basic data for a design code.

The pull-out tests which were performed, more than 200 in number, show that such anchorages are capable of developing very satisfactory strengths without any involved and expensive measures having to be taken. It may be mentioned as an example that an anchorage constructed as shown in FIG. 1 has a nominal pull-out strength of about 13 tons.

The factors which exert the greatest influence on the strength are embedment length, the cleanliness of the borehole and to some extent its smoothness (method of drilling). For anchorages according to FIG. 1, the relationship between pull-out strength and embedment length L is as shown in FIG. 2. Dirty holes give rise to a large scatter in strength values. Factors such as hole diameter, grout quality and consistence (w/c ratio) can be varied within certain limits without appreciable changes in strength. For instance, the w/c ratio of the grout can be so high that it can be poured into the hole, which simplifies grouting.

The studies carried out simultaneously within the framework of the investigation concerning the economic consequences of the method and its effects on design and production, indicate that the method should have considerable practical significance.

Theoretical considerations

When a grouted joint, in principle constructed in accordance with FIG. 1, is subjected to a load which tends to pull the bar out of the hole, bond stresses arise between the concrete and grout and between the bar and grout.

Depending on the movement of the bar in the joint, bond is produced in different ways at different points along the bar. For instance, at a certain loading stage during a pull-out test, some of the bond may be provided by adhesion

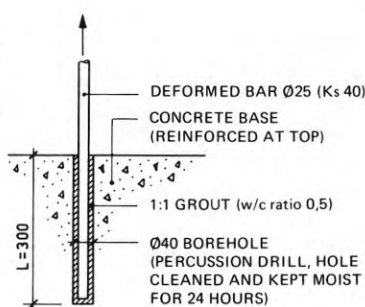


FIG. 1

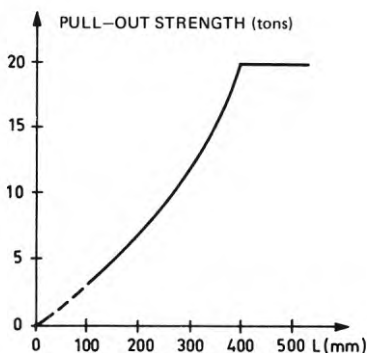


FIG. 2

(nearest the unloaded end) and some by friction (nearest the loaded end).

If the load is increased, a certain rib action may be exhibited at the loaded end, with consequent changes in the distribution of bond, which is not determined once and for all but is a function of the magnitude of the load. When the load attains a certain value, there is even a risk that a cone-shaped portion of concrete will become detached under the influence of tensile and shear forces.

Theories have been put forward by a number of researchers for the analysis of the stress distribution and deformation along the embedment length. The trouble with these theories is that they become very involved when all relationships are to be taken into consideration. It was therefore the intention that evaluation should be based entirely on experimental results, and conclusions should be drawn from these.

The parameters of interest were the diameter of the drill hole, the surface condition of the hole, the properties of the

Report R35:1975 refers to research grant C 981 from the Swedish Council for Building Research to Arne Johnson Ingenjörbyrå, Stockholm.

UDC 693.546.3

SfB A

ISBN 91-540-2455-2

Summary of:

Bergvall, B. & Johnson, A. 1975. *Injektionsförband*. Grouted joints. (Statens råd för byggnadsforskning) Stockholm. Report R35:1975, 132 p., ill. Kr. 23.

The report is in Swedish with Swedish and English summaries.

Distribution:

Svensk Byggtjänst
Box 1403, S-111 84 Stockholm
Sweden

grout, the spacing of parallel bars, the distance from the hole to the edge of the section, reinforcement diameter and workmanship. These were varied in combination with variations in the embedment length, and their effect on the strength of the anchorage was studied.

Other factors which were studied to a lesser extent were the effect of a pulsating load, long-term loading, grouting of horizontal holes, eccentric placing of holes and pull-out tests on two bars simultaneously.

In spite of its extent, the test material is so fragmented due to its endeavour to throw a light on different factors, that a statistical analysis performed to find the scatter in each group of tests carried out with equal variables would not produce a relevant interpretation of the results.

Test method

Within the framework of this investigation, tensile tests were performed on reinforcing bars grouted into holes drilled after completion of the structure. The test specimens were obtained by grouting reinforcing bars, using cement grout without additives, into holes drilled in special concrete foundation blocks. When the grout had hardened, the anchorage was subjected to a pullout test until failure occurred. While load was being applied, the deformation of the joint was recorded by dial gauges.

Test results

The test results are mainly described by the presentation of load-displacement curves.

The most important conclusions are:

1. The bond strength between the grout and the deformed bar, or between the grout and the concrete, is critical with regard to the strength of the joint.
2. The strength of the joint is largely directly proportional to the embedment length.
3. 1:1 and 3:1 grouts produce approximately the same strengths, the highest test values being provided by 3:1 grout. On the other hand, 1:3 grout yielded considerably worse results than the other two grades.
4. Owing to the roughness of the hole, holes drilled by percussion tools have a somewhat better strength than those produced by diamond drilling.
5. Dry and dusty holes which have not been kept moist produce considerably lower strengths than boreholes which have been kept moist.

6. Long-term effects produce a permanent deformation which merits further research.
7. Test employing pulsating loads over 50 loading cycles, with the load varying continuously between 5 and 10 tons over about half an hour, show that the joints have retained anchorage capacity. No permanent deformations were noted and no increase in slip was recorded during the whole of the loading cycle.

It is found that there are variations in the results depending on the number of variable factors involved. It is evident however that the embedment length is the principal variable and that the other parameters reinforce or weaken the characteristics of the joint. The structural behaviour of joints comprising grouted bars is the same as that of bars cast into the concrete directly.

Application rules — recommendations

In order that the results of the tests may be applied in practice, it is necessary for the ultimate load, of the joint to be defined. If these joints are to function, then the design must also be based on requirements concerning deformation of the joint in the working range.

On the basis of the results obtained from the tests, a characteristic ultimate load P_B for the joint is defined as follows.

1. If the yield stress is reached in the bar while this is being drawn outwards, and the maximum load P_{br} of the joint is at least 30 % above the yield load of the bar, then the ultimate load for the joint is defined as $P_B = A_a \cdot \tau_{su}$.
2. If the yield stress is reached in the bar but the maximum load P_{br} of the joint is not more than 30 % above the yield load of the bar, the ultimate load of the joint is defined as $P_B = 0.7 P_{br}$.
3. If the stress in the bar does not reach the yield stress before the maximum loadbearing capacity of the joint is exceeded, then the ultimate load of the joint is defined as $P_B = 0.7 P_{br}$.

In the above,
 A_a = area of reinforcing bar
 τ_{su} = lower yield stress.

In order that the characteristic ultimate load as defined above may be used as the basis of design, then the joint must also satisfy certain requirements when its behaviour during long-term and pulsating loading as assessed.

In view of the fact that the joints tested under long-term loading, albeit at

high stresses, exhibited a tendency towards permanent deformations, a factor of safety of about 3 can be considered warranted when it is the strength of the concrete and the grout that is critical. On the other hand, when it is the reinforcing bar that is critical with regard to failure, it can be considered that application of the factors of safety recommended in the Swedish Concrete Regulations, 2 for $\varnothing 25$ deformed bars and 1.8 for $\varnothing 16$ deformed bars, is justified.

The report presents design diagrams for permissible pull-out loads under certain conditions. Apart from material and dimension requirements, workmanship and control requirements are also specified. The permissible loads are based on the reasoning outlined above.

Practical application of grouted anchorages in building construction

Use of grouted anchorages will affect and change a number of working operations. In the same way as drilling of holes with diamond drills has gained increasing application, or the technique of providing anchorages for moderate loads by means of expanding bolts is being used more and more extensively, provision of anchorages for large forces by means of grouted anchorages should also attract considerable interest.

Setting-out and check measurements in the conventional method, among reinforcing bars and the formwork, are more difficult and take more time. When the bar is grouted in, setting out takes place on the completed concrete structure which provides a firm and even base on which marks can also be easily made.

Tolerances can be kept within closer limits when bars are grouted in.

Placing of anchorage bars with sufficient stability among reinforcement and formwork, which must be done prior to pouring of the concrete in the conventional method, is always difficult and often necessitates special arrangements.

The *projecting reinforcement* on the completed structure is an obstacle to all work that must be carried out until the formwork is erected for the structure to be anchored, or until this is mounted on the anchorage bars.

Projecting reinforcement at all times constitutes a risk of injuries and accidents.

If the method of grouted anchorages has a drawback, it is that *new working operations*, requiring special mechanical equipment, *must be introduced*.

Rapport R35:1975

INJEKTERINGSFÖRBAND

av Bengt Bergvall
och Arne Johnson

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag C 981 från Statens råd för byggnadsforskning till Arne Johnson Ingenjörbyrå, Stockholm.

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm
ISBN 91-540-2455-2

Liber Tryck Stockholm 1975

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

Sid.

FÖRORD	5
BETECKNINGAR	6
1. BAKGRUND, FRÅGESTÄLLNING OCH SYFTE	7
2. LITTERATURINVENTERING	8
3. TEORETISKA FRÅGESTÄLLNINGAR	13
3.1 Allmänt om vidhäftning	13
3.2 Allmänt om studerade faktorer	20
4. PROVNINGSTEKNIK OCH UTFÖRANDE	22
5. PROVNINGSRESULTAT	32
5.1 Ingjutningslängd	35
5.2 Brukssammansättning	44
5.3 Håldiameter	55
5.4 Diamant - resp. slagborrade hål	67
5.5 Arbetsmetodik	71
5.6 Avstånd till fri betongyta och avstånd mellan parallella stänger	81
5.7 Gjutning av horisontella hål	90
5.8 Långtidslast och pulserande last	90
5.9 Sammanfattning och slutsatser av försöksresultaten	93
6. TILLÄMPNINGSREGLER OCH REKOMMENDATIONER	95
6.1 Definition av förbandets brottlaster	95
6.2 Säkerhetsbedömning	106
6.3 Rekommendationer och anvisningar	108
7. PRAKTISK ANVÄNDNING AV INJEKTERINGSFÖRBAND INOM BYGGNADSVÄRKSAMHETEN	111
7.1 Allmänt om metodens möjligheter och en jämförelse med konventionella metoder	111
7.2 Utformning av injeteringsförband	113
7.3 Arbetsutförande av injeteringsförband	120
7.4 Kontroll av injeteringsförband	123

7.4	Kontroll av injekteringsförband	Sid. 123
7.5	Metodens inverkan på projektering	124
7.6	Möjliga användningsområden	125
8.	LITTERATUR	127

FÖRORD

Föreliggande undersökning syftar till att åstadkomma rationella metoder för att göra det möjligt att i efterhand hopfoga betongkonstruktioner både för nybyggnad och ombyggnad samt ge underlag för normer.

Arbetet har bekostats av Statens Råd för Byggnadsforskning.

Alla provningar har utförts av personal vid Institutionen för Konstruktionslära KTH i institutionens laboratorielokaler.

Systembetong AB i Stockholm har tillverkat betongfundament för provningarna.

Hagkonsult AB i Stockholm har utfört alla för provningarna erforderliga borrningsarbeten samt tillhandahållit viss provningsutrustning.

Litteratursökning har utförts av Institutet för Byggdokumentation.

Litteraturinventering, planering av provningar, utvärdering av provningsresultat samt teoretiska studier har utförts av personal vid Tekn. dr Arne Johnson Ingenjörbyrå AB, Stockholm.

Stockholm i december 1974

Bengt Bergvall/ Arne Johnson

BETECKNINGAR

A_a	stångarea	cm^2
D	borrhålsdiameter	mm
L	ingjutningslängd	mm
V	vct vattencementtal	
P	yttre dragkraft	Mp
P_{br}	förbandets lastupptagningsförmåga	Mp
P_B	definierad fiktiv brottlast	Mp
P_S	stångens gränslast	Mp
δ	förbandets deformation	mm
\emptyset	stångdiameter	mm
σ_{su}	stångens sträckgräns	kp/cm^2
σ_d	betongens draghållfasthet	kp/cm^2

1. BAKGRUND, FRÅGESTÄLLNING OCH SYFTE

Utvecklingen inom byggnadsindustrin går mot ett rationellare byggande vilket framtvingar nya arbetsmetoder. Kortare byggtider och kostnadsbesparingar är också faktorer som kräver en utveckling. I efterhand ingjuten förankring är ett arbetsförfarande som i dessa sammanhang är angeläget att undersöka.

Konstruktionsprincipen har inte vunnit stor spridning trots att ett stort intresse har visats. Anledningen är sannolikt osäkerheten på hur sådana förband fungerar och vilka faktorer som påverkar utdragshållfastheten.

Syftet med denna undersökning är att undersöka olika faktorer inverkan på hållfastheten samt att uppställa rekommendationer för dylika arbetens utförande. Dessutom skall undersökningen kunna utgöra underlag för normer.

2. LITTERATURINVENTERING

De äldsta notiser som påträffats vid litteraturinventeringen är daterade 1947. Detta år inkom till ACI en förfrågan om uppgifter på tillåtna belastningar för i efterhand ingjutna förankringar. I sitt svar nämner POST att han inte lyckats finna några omfattande provningsresultat för den aktuella konstruktionsprincipen, men ger ändå rekommendationer för förankringsmetodens användning. Bl.a. nämns följande rekommendationer:

1. Undvik denna förankringsmetod då vibrerande laster kan förekomma,
2. iakttag stor noggrannhet vid dimensioneringen vad gäller håldjup, förankringsbultens dimensioner samt ingjutningsbrukets typ och kvalitet och
3. kontrollera synnerligen noggrant arbetsutförandet. Se [1].

Ytterligare svar på förfrågan enligt ovan ges av RICHARD i [2], där försök utförda av Stanley River Works Board i Australien refereras. I de försök som utförts var den ingjutna förankringen en tums skruvar med skallen ingjuten. Hålen borrades vertikalt med en ungefärlig diameter av 64 mm i en fyra år gammal betong med $K_{28} \sim 200 \text{ kp/cm}^2$. Ingjutningsbruket var av kvalitet 2:1 (cement:sand) och alla prov (dragprov) utfördes sju dygn efter ingjutningen. Provningsanordningen var sådan att en kon med basen 60 cm kunde dras ur utan störningar. Vid provningarna framkom att en ingjutningslängd på ca 18 cm och däröver medförde brott i skruven under det att vid kortare ingjutningslängd den ingjutna cylindern plus delar av den omkringliggande betongen drogs loss. Skruvens brottlast var ca 20 Mp. Vid ingjutningslängderna 15 cm och 12,5 cm erhöles brottlasterna 13 Mp resp. 10,5 Mp. Två eller flera närbelägna samverkande förankringar krävde större ingjutningslängd för att kunna nyttjas fullt. Författaren nämner att för tre samverkande skruvar krävdes ca 33 cm ingjutningslängd för att få brott i skruvarna.

I [3] redogörs för hur några olika konstruktionsdelar förankrats med i

efterhand ingjutna förankringar. De bruk som använts i dessa fall har haft plasttillsatser. Författaren menar att förband av denna typ kan dimensioneras för tryck-, drag- och tvärbelastningar, samt att de har speciella möjligheter att motstå påverkan från atomexplosioner och vulkanutbrott.

Med avsikten att bestämma några lastkaraktistika för olika i efterhand ingjutna förankringar utfördes, vid Colorado State University, provningar vilka refereras i [4] av CONARD. Tre olika bruk och två olika förankringsbultar provades, dels genom utdragsprov, dels genom skjuvprov. (Skjuvproven berörs ej här). Samtliga prov utfördes i betongblock där betongen var av kvaliteten $\sim K 210$. Borrning och ingjutning skedde redan 28 dygn efter betongblockens gjutning. Hålen borrades med en diameter som var två gånger bultarnas nominella diameter. Alla hål gjordes grunda endast ca 7,6 cm djupa. De provade bultarna hade diametrarna 1/2" och 3/4". Bruken var av följande typer:

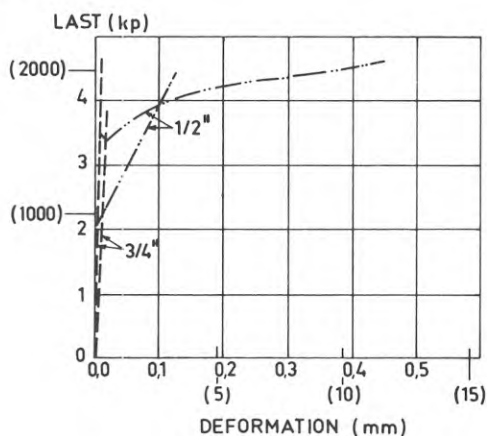
- I 1:3 utan tillsatsmedel, (cement:sand)
- II 1:3 + tillsatsmedel och
- III ett färdigblandat icke-krympande bruk.

Efter borrningen rensades hålen på lösa partiklar och hålväggarna fuktades. En viss vibrering av ingjutningsbruket utfördes. Provningarna ägde rum 8 - 12 dygn efter ingjutningen, och last-förskjutningskurvor registrerades med skrivare. Delar av provningsresultaten framgår av figur 1.

För bruk av typ I erhöles brott mellan ingjutning och betong i samtliga prov. Brottvärdena var dessutom mycket varierande. Även bruk II uppvisade stora variationer i utdragshållfastheten, dock erhöles högre värden. De bästa resultaten erhöles för bruk av typ III för vilket endast ett prov medförde vidhäftningsbrott. CONARD beskriver inte hur de övriga brotten ägt rum men nämner att flera prov resulterat i böjbrott.

Författaren definierar brottlasten vid dragbelastning som den kraft som ger en deformation av 1,27 mm, detta är inte alltid den maximala last för-

bandet kan uppta. Divideras denna brottlast med säkerhetsfaktorn 4 erhålls tillåten dragbelastning enligt CONARD. (Se tabell 1). Författaren anser att en större ingjutningslängd kommer att öka förankringens lastupptagande förmåga, men uttrycker samtidigt en viss oro för att med tiden vidhäftningen för bruk av typ I och II kommer att försämrans på grund av krympning. CONARD rekommenderar fortsatta undersökningar av dessa problem.

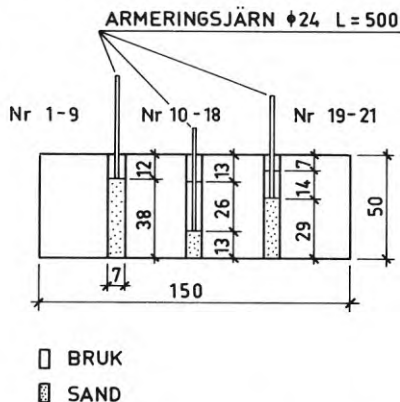


FIGUR 1. PROVNINGSRESULTAT FÖR BRUK TYP III SCHEMATISKT ENL. [4]

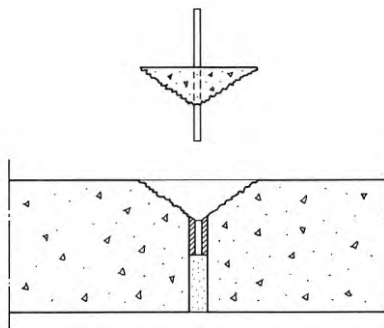
BRUK	SKRUV	DRAGKRAFT (kp)	
		MAXIMAL	TILLÅTEN
TYP I	1/2"	1460	110
	3/4"	375	88
TYP II	1/2"	2090	350
	3/4"	1160	260
TYP III	1/2"	2020	380
	3/4"	1930	480

TABELL 1. MAXIMALA OCH TILLÅTNA LASTER SCHEMATISKT ENLIGT [4]

Vid den statliga materialprovningsanstalten i Nordrhein-Westfalen utfördes vid årsskiftet 1969-70 provningar på kamstål ingjutna i betongblock. [5] utgör provningsrapporten. Provningarna omfattande variationer i ingjutningslängden 12, 14 och 24 cm samt i tiden mellan ingjutning och provning 1, 3 resp. 7 dygn. I de 50 cm höga betongblocken borrades genomgående hål samtliga med diametern 70 mm. Hålen, utom tre, rengjordes och fuktades. Med hjälp av sandfyllning till olika nivåer kunde ingjutningslängden variera. Se figur 2. De ingjutna kamstängerna var 24 mm grova. I tabell 2 framgår provningsresultaten och brottyperna. Provkropparnas kubhållfasthet varierade mellan 455 och 483 kp/cm². Anmärkningsvärt är att endast i ett fall, i ett icke rengjort hål, brott inträffade mellan bruk och betong. Brotten skedde i övriga fall i stängen eller mellan stång och bruk, i vissa fall drogs stängen på den nedre delen ur bruket och på den övre delen drogs en betongkon ur enligt figur 3.



FIGUR 2. PROVNINGSUTFÖRANDE ENL. [5]



FIGUR 3. EN BROTTYP ENL. [5]

Lfd. Nr.	Alter des Vergußmörtels am Prüftage in Tagen	Verguß-tiefe des Torstahles in cm	Berührungsfläche Torstahl-Vergußmörtel in cm ²	Max. Belastbarkeit des Torstahles in kp	Haftspannung		Bemerkung
					=	Spalte 5 / Spalte 4 in kp/cm ²	
1	2	3	4	5	6		
1	.	12	90	6180	69		Rippentorstahl
2	1	12	90	6400	71		aus dem
3		12	90	6780	75		Vergußmörtel gezogen
Mittelwerte		12	90	6453	72		
4		12	90	12000	133		ab halber Einbindetiefe
5	3	12	90	12200	136		pilzförmiger Betonausbruch;
6		12	90	12000	133		untere Hälfte aus dem Vergußmörtel gezogen
Mittelwerte		12	90	12067	134		
7		12	90	12600	140		wie oben
8	7	12	90	12160	135		
9		12	90	12240	136		
Mittelwerte		12	90	12333	137		
10		26,5	200	13700	65		Rippentorstahl aus dem
11	1	26,5	200	12200	61		Vergußmörtel gezogen
12		26,0	196	13000	66		
Mittelwerte		26,3	199	12967	65		
13		26	188	24500	130		Rippentorstahl abgerissen
14	3	28	211	22900	108		Rippentorstahl ausgezogen
15		27	204	24500	120		Rippentorstahl abgerissen
Mittelwerte		26,7	201	23957	119		
16		25,5	192	20600	107		Rippentorstahl ausgezogen
17	7	25,5	192	24500	128		Rippentorstahl abgerissen
18		26,0	196	22300	114		Rippentorstahl ausgezogen
Mittelwerte		25,7	193	22467	116		
19		14,0	108	16400	145		Rippentorstahl mit Vergußmörtel aus dem Loch gezogen
20	3	13,5	102	16000	147		Rippentorstahl aus dem Vergußmörtel gezogen
21		14,5	109	16900	146		Rippentorstahl aus dem Vergußmörtel gezogen
Mittelwerte		14,0	106	15433	146		

Bei Versuch Nr. 1 bis 18 wurden die Löcher mit einem Meißel aufgerauht.
Bei Versuch Nr. 19 bis 21 wurden die Löcher nicht aufgerauht.

TABELL 2. PROVINGSRESULTAT ENLIGT [5]

3. TEORETISKA FRÅGESTÄLLNINGAR

3.1 Allmänt om vidhäftning

Litteraturen som behandlar betongkonstruktioner skiljer ännu inte klart mellan termerna "fastsättning/fäste" och "förbindning/förband". På grund av likheten i funktionssättet i många fall, kan en klart avgränsad distinktion ej alltid vara möjlig.

Ett förband (eng. connector) konstrueras som en planerad kraftöverföring mellan bärande element, som är kapabla att motstå och överföra alla laster och moment åstadkomna av det konstruktiva utförandet.

Ett fäste (eng. fastener) är en kraftöverföring som är icke-konstruerad (i vanlig mening) och är begränsad till relativt små laster. Friktionskopplingar, epoxyadhesiver, inbäddade insättningar etc. må användas för att effektuera sådana kraftöverföringar.

Förankring av armering via injektering till betongkonstruktioner flyter mellan definitionerna av förband och fäste, men p.g.a. att man huvudsakligen anpassat utformningen till att bära relativt stora laster, bör man hänföra det under rubriken förband.

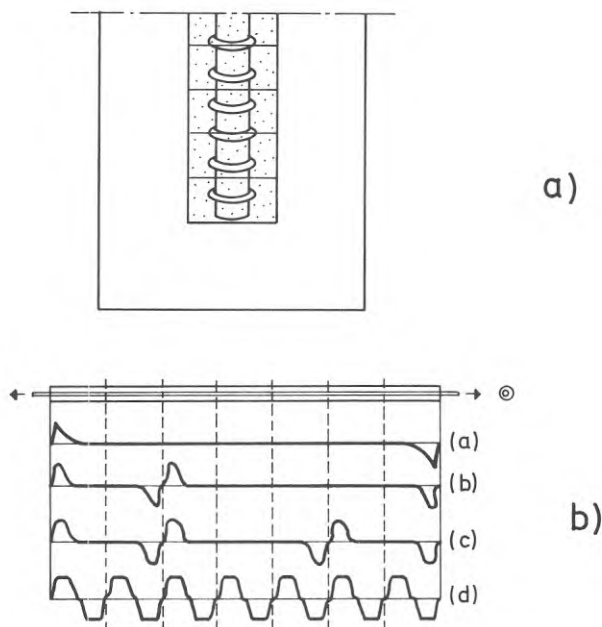
Injekteringsfrågan har två sidor, en materialteknisk och en statisk, och det är denna senare sida som huvudsakligen skall studeras i det följande. Injekteringsens statiska uppgift består i, att sörja för samverkan mellan stång och omgivande betong, vilket betyder att kraften i stången kan variera efter stången.

Vidhäftningsspänningar uppstår mellan betong och injektering, samt mellan stång och injektering. Vilken av dessa spänningar som avgör hållfastheten beror av ett flertal faktorer, varav följande torde vara de viktigaste

1. Brukskvalitet
2. Stångens ytbeskaffenhet

3. Betongens kvalitet
4. Provkroppens utformning
5. Borrhålets ytbeskaffenhet beroende på val av bormetod, (diamant resp. slagborrade hål).

Förutom dessa effekter tillkommer komplikationer, att injekteringsbruket efter hand som stålspänningen växer kommer att spricka vinkelrätt mot kamstålets längdriktning och därmed spaltas upp i korta cylindriska lameller. Detta inträffar redan vid jämförelsevis låg stålspänning långt innan vidhäftningsbrott, varför det i första hand blir dessa lameller som tilldelas rollen som vidhäftningsmedium mellan borrhålets och stängens ytor (se figur 4).



FIGUR 4 a) SCHEMATISK BILD AV INJEKTERINGSBRUKET UPPDELAT I LAMELLER.
 b) FÖRDELNING AV VIDHÄFTNINGSPÅKÄNNINGAR LÄNGS EN FÖRANKRAD STÅNG SOM ÄR AXIELLT BELASTAD.

- a) INNAN FÖRSTA SPRICKAN UPPTÄDER
- b) DÅ FÖRSTA SPRICKAN UPPTÄDER
- c) EFTER ANDRA SPRICKAN
- d) EFTER FRAMSKRIDEN UPPSPRICKNING

Vidhäftningen mellan stål och betong tillskrivs av olika forskare följande fenomen.

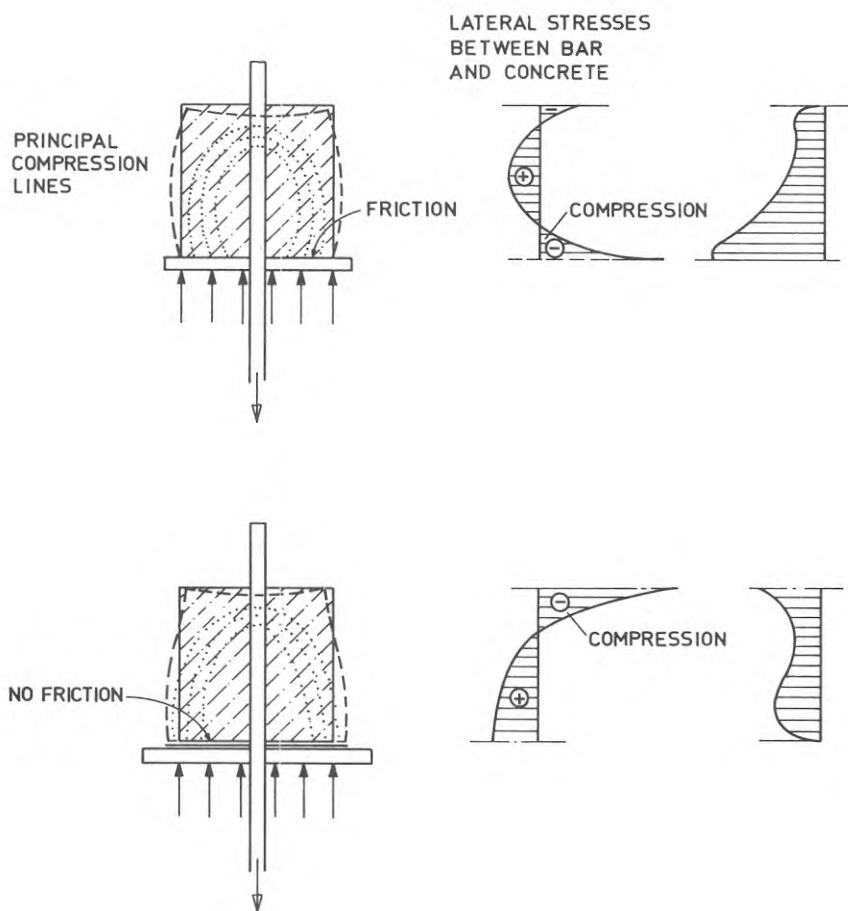
1. Friktion uppstår mellan stål och betong.
2. Upphöjningar i stålytan ger upphov till krafter i betongen som förhindrar glidning.
3. Betongens uttorkning ger upphov till kapillära krafter som gör att stålet häftar vid betongen.
4. Molekylerna i betong och stål är i så nära kontakt med varandra att de molekylära attraktionskrafterna är verksamma emellan dem.

Samma fenomen bör gälla för vidhäftningen mellan injekteringsbruk och stål resp. injekteringsbruk och betong om än med en viss gradskillnad.

Förutsättningen för de båda sistnämnda effekterna är, att ingen rörelse inträtt mellan stål och betong. Så snart stålet börjar röra sig relativt betongen upphör adhesionen att verka, varpå de båda förstnämnda fenomenen tager vid. Adhesionens tillväxt är vidare känslig för lagringsförhållanden påvisat genom försök av GLANVILLE.

För att friktion skall uppträda måste någon form av anliggningsstryck påverka järnet. Anliggningsstrycket kan uppkomma till följd av injekterings krympning samt av hur lasten påförs provkroppen och därav i provkroppen alstrad spänningsbild. (Enligt LEONHARDT figur 5).

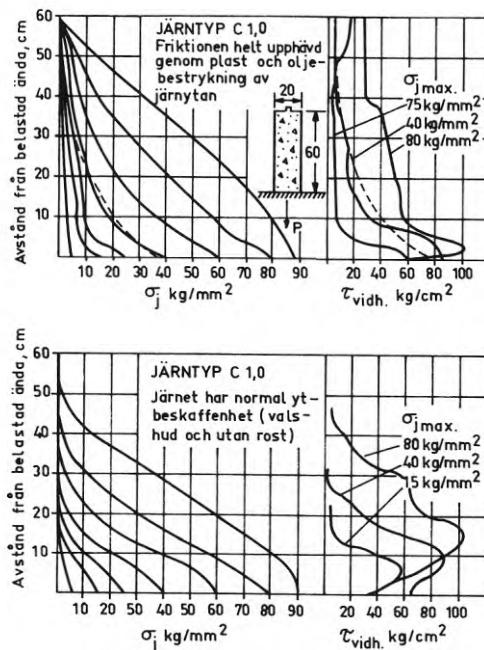
Krympningen har dock den nackdelen att den bryter vidhäftningen mellan betong och injektering.



FIGUR 5. BETYDELSEN AV FRIKTIONENS INVERKAN PÅ SPÄNNINGS-
BILDEN I PROVKROPPEN ENLIGT [6].

Ytbeskaffenheten har avgörande betydelse för vidhäftningsspänningarnas fördelning längs en i betong ingjuten armeringsstång. Provningsresultat från försök av BERNANDER (figur 6) visar att man väl har lyckats renodla kamverkan vid försök med inoljade stänger. Intressant är även att konstatera att den vid försöken uppmätta spänningsfördelningen någorlunda väl överensstämmer med en av GRANHOLM lanserad teori.

Förutom nämnda faktorer inverkar den hastighet, vamed belastningen påföres liksom om belastningen upprepas. Det framgår härav, att det ställer sig mycket svårt att uttala sig om vidhäftningsspänningarnas fördelning längs en armeringsstång.

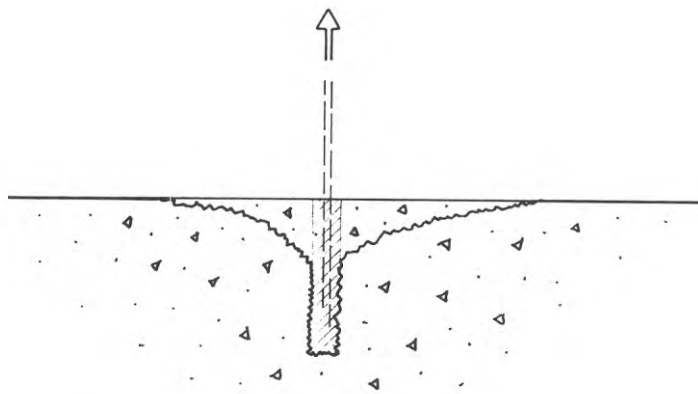


FIGUR 6. FÖRDELNING AV VIDHÄFTNINGSPÅKÄNING OCH DRAGKRAFT I FÖRANKRADE KAMSTÄNGER ENLIGT [8].

Beroende på om stängen glidit i förhållande till betongen åstadkommes vidhäftningen på olika sätt i olika punkter längs stängen. Alltså kan vid ett utdragsprov en del av vidhäftningen i ett visst belastningsstadium ombesörjas genom adhesion (närmast den obelastade änden) och en del genom friktion (närmast den belastade änden).

Ökas belastningen, börjar kanske en viss kamverkan att göra sig gällande vid den belastade änden med ty åtföljande förändring av vidhäftningsfördelningen som m.a.o. inte är en gång för alla bestämd, utan beror på lastens storlek. Vid uppnående av en viss storlek på lasten föreligger även risk för att en kon av betong frigörs från provblocket under inverkan av drag- och skärkrafter. (Se figur 7).

Teorier har uppställts av ett antal forskare för att beräkna spänningsfördelningen och deformationen längs förbandet. Problemet med teorierna är att de blir mycket överskådliga om samtliga samband skall beaktas, vilka tidigare omnämnts.



FIGUR 7. TYPISK BROTTYTA VID KONUTDRAGNING.

Med hänsyn till att vidhäftningen är beroende av förskjutningen mellan två skikt utgör GRANHOLM:s förskjutningsteori ett enkelt och överskådligt betraktelsesätt.

Enligt denna är glidningen mellan injektering och stål

$$\Delta l = \frac{P \cdot L (1 + n \cdot \mu)}{E_a \cdot A_a} \cdot \frac{1}{\delta l \cdot L \cdot \text{tgh } \delta l \cdot L}$$

där P = dragkraften

L = kamstålets injektionslängd

$n = \frac{E_a}{E_b}$ är förhållandet mellan stålets och omgivningens elasticitetsmoduler

μ = armeringsprocenten

A_a = stålarea

$$\delta l^2 = \frac{K \cdot o (1 + n \cdot \mu)}{E_a \cdot A_a}$$

o = kamstålets omkrets

K = förskjutningsmodulen $\frac{\tau_{ab}}{u}$ med τ_{ab} = vidhäftningspåkänningen i en viss punkt och u den relativa rörelsen i punkten.

Svårigheten med GRANHOLM:s teori är att bestämma förskjutningsmodulen mellan stål och injektering. Värdet av förskjutningsmodulen K , definierad som kvoten mellan den tänkta skjivspänningen τ i fogytan och den uppmätta förskjutningen ΔL , kan naturligtvis inte bestämmas enbart med ledning av utdragsförsök. Detta på grund av att K måste vara beroende inte bara av den omgivande injekterings kvalitet och mäktighet utan även av dess spänningstillstånd.

Förutom förskjutningen mellan stål och injektering tillkommer att man måste beakta förskjutningen mellan injektering och betong vilket ytterligare komplicerar förhållandena.

Naturligtvis kan denna teori endast betraktas som en rimlig uppskattning sedan adhesionen övervunnits och injekteringsbruket spruckit till lameller.

3.2 Allmänt om studerade faktorer

Injekteringsfrågan har en materialteknisk och en statisk sida varvid i det följande den senare frågan skall kontrolleras för förbandet. Eftersom det visat sig mycket komplicerat att teoretiskt nå fram till gångbara resultat syftar utvärderingen till att helt utgå från experimentella provningar och därav dra eventuella slutsatser.

Som tidigare omnämnts är ett flertal faktorer avgörande för förbandets hållfasthet, antingen som enstaka företeelse eller i kombination med varandra.

De experimentella försök som utförts granskar främst betydelsen av injutningslängdens storlek under olika betingelser vid lastpåverkan.

Vid vissa amerikanska försök där man gjort utdragsprov på stål injutna i betong befanns att utdragskraften P ej tilltar nämnvärt när injutningslängden ökar så länge injutningslängden är större än 25 à 30 ggr stångdiametern. Genom att injektera armeringsstål i betongkonstruktioner ökar antalet påverkbara faktorer varför ovan nämnda regel ej kan eller bör tillämpas.

Övriga parametrar av intresse är hur borrhålets diameter, borrhålets ytbeskaffenhet, brukets egenskaper, inbördes hålavstånd mellan parallella stänger, avstånd från borrhål till kant, armeringsdiameter och arbetsutförande påverkar förbandet.

I undersökningen har man speciellt ägnat tid åt just dessa faktorer i kombination med varierande injutningslängder.

Andra faktorer vilka studerats i mindre grad är inverkan av pulserande last, långtidslast, injektering av horisontella hål, excentrisk hålplacering samt dragning av två stänger samtidigt. Dessutom förekommer

faktorer vilka inte studerats som påverkar förbandets stabilitet. Det kan exempelvis vara betydelsen av hur provkroppen utförts, variation i betongens kvalitet samt hur provkroppen lagrats. Uppgiften att tolka de experimentella försöken blir att avgöra om mer än en faktor eller variabel påverkar de iakttagna värdena resp. i hur hög grad de påverkar provningsresultatet.

Det föreligger således att avgöra om dessa övriga faktorer har sådan betydelse, att hänsyn måste tas till dem eller om huvudfaktorn ingjutningslängden ensam kan anses ge ett tillräckligt betecknande uttryck åt det samband last-förskjutning man vill åskådliggöra. Man förfar enklast på så sätt om detta är möjligt att man studerar varje inverkan för sig och därunder håller de övriga konstanta. I tur och ordning erhålles då $\delta_1 = F_1(x)$, $\delta_2 = F_2(z)$, ... o.s.v. Sedan gäller det att avgöra om dessa delfunktioner skall summeras eller multipliceras med varandra alltså $\delta = F_1(x) + F_2(z)$... eller $\delta = F_1(x) \cdot F_2(z)$ Spridningsfältets utseende visar i allmänhet huruvida additivt eller multiplikativt samband föreligger, bandformig spridning anger additivt och trattformig multiplikativt.

Provningsmaterialet är trots sitt omfång alltför splittrat för att en statistisk analys, för att erhålla spridningen inom varje grupp av försök som utförts med lika variabler, skulle ge en relevant tolkning av förekommande resultat.

För att belysa olika faktorerers inverkan har last-förskjutningskurvor upprättats på basis av utförda provningar vilka på ett överskådligt sätt belyser betydelsen av olika parametrar. Last-förskjutningskurvorna är medelvärdeskurvor av mellan 3-6 enskilda försök med samma uppsättning parametrar. Resultaten uppvisar, som ofta är fallet vid vidhäftningsförsök en kraftig spridning.

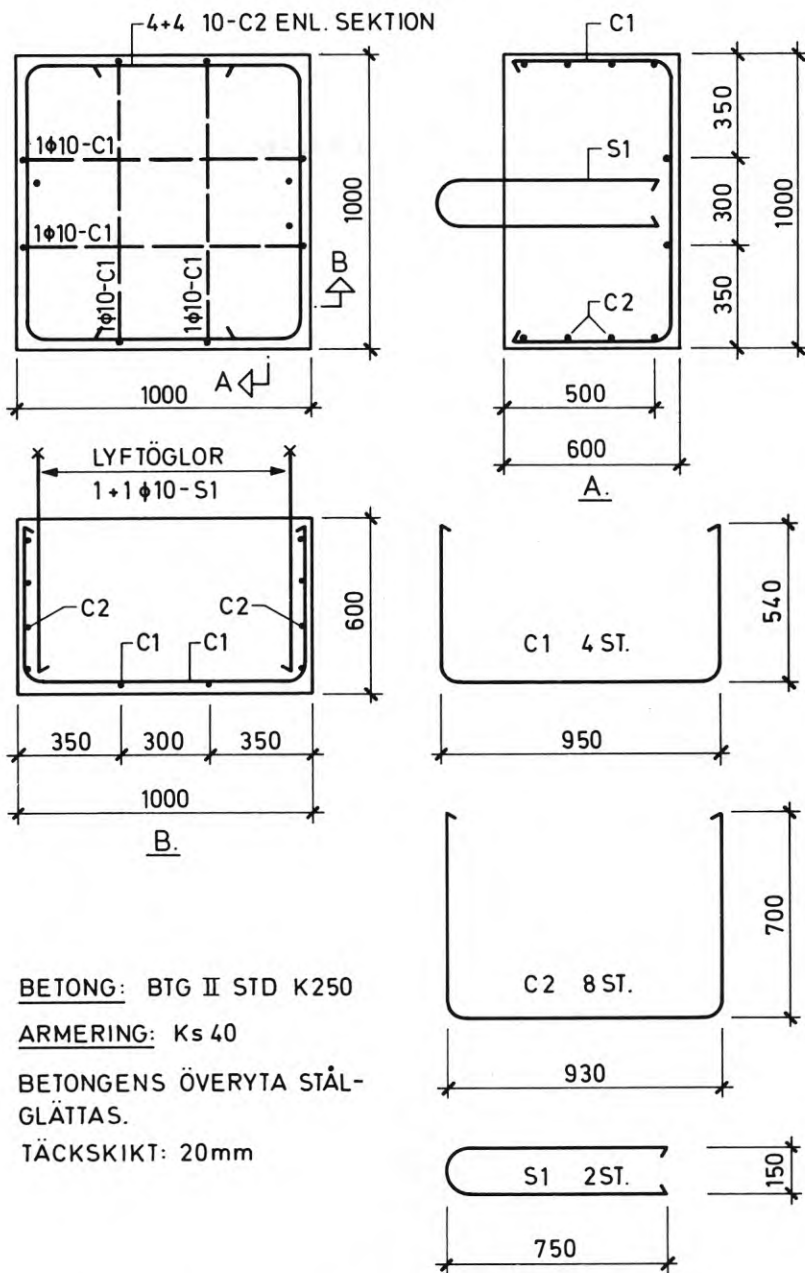
4. PROVNINGSMETODIK OCH UTFÖRANDE

Inom ramen för denna undersökning har utförts dragprov på i efterhand ingjutna armeringsjärn. Provkropparna har byggts upp genom att med cementbruk utan tillsatser gjuta in armeringsjärn i hål borrade i speciella betongfundament. När bruket härdat har förbandet utsatts för dragbelastning till brott. Under belastningen har förbandets deformation registrerats med hjälp av mätklockor.

Betongfundamenten har varit betongblock med mått och armering enligt figur 8. Blockens överytor har alltså varit oarmerade. För att utvärdera vilket avstånd mellan intilliggande prov som var lämpligast med hänsyn till antalet möjliga prov per betongblock och påverkan mellan proven utfördes en förprovning vilken visade att ca 20 cm mellan proven var lämpligt. Hålavstånden valdes därför i huvudsak enligt figur 9. Undantag från detta företogs då kantavstånd och avstånd mellan stänger undersöktes. För dessa prov valdes hålavstånd enligt figur 10. Totalt inklusive förprovning har 15 st betongblock använts.

Borrningsarbetet ägde rum då betongblocken var ca sex veckor gamla. Hål borrades dels med hammarborr, dels med diamantborr. De första ingjutningarna utfördes ca fyra veckor efter att borrningsarbetet avslutats. Strax innan ingjutningen ägde rum rensades hålen på smuts och hölls vattenfyllda minst ett dygn. Vissa hål rengjordes dock inte utan det naturliga damm som bildats vid borringen fick sitta kvar. Dessa hål hölls dessutom torra.

För att ge lika brukskvalitet åt alla prov med bruk inom samma kvalitetsgrupp blandades cement och sand i de önskade proportionerna 3:1, 1:1 och 1:3 (cement:sand) i förväg i tillräcklig mängd till alla prov. Vid ingjutningstillfället tillsattes alltså endast vatten till färdiga "torrbruk". Till bruksblandarna användes standardcement och sand med fukthalt $\sim 3,5\%$ och siktkurva enligt figur 11. Bruket blandades i en femkilos blandare i laboratoriet. Parallellt med ingjutningarna gjöts provkuber som vid provtryckning gav resultat enligt tabell 3.



BETONG: BTG II STD K250

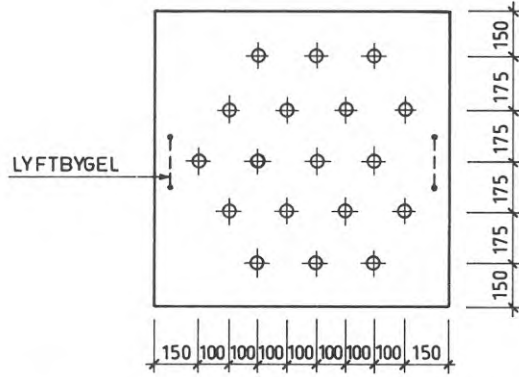
ARMERING: Ks 40

BETONGENS ÖVERYTA STÅL-
GLÄTTAS.

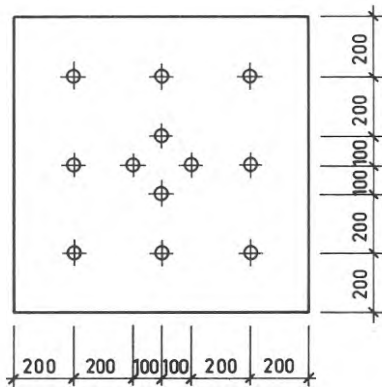
TÄCKSKIKT: 20mm

FIGUR 8. UTFÖRANDE BETONGBLOCK.

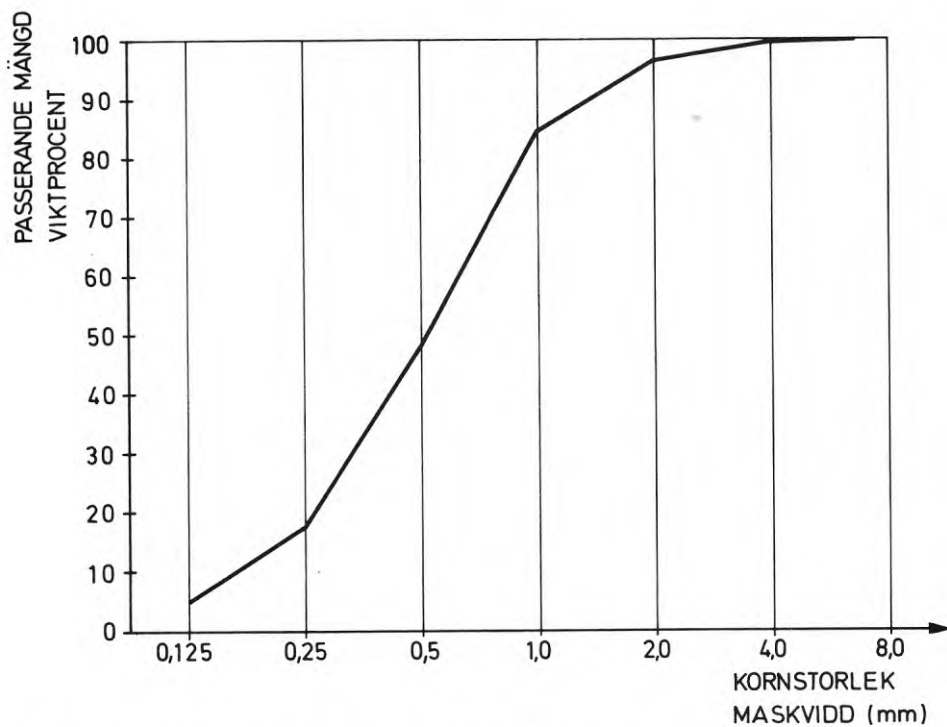
SKALA 1:20.



FIGUR 9. HUVUDSAKLIG PLACERING AV BORRHÅL.



FIGUR 10. ALTERNATIV PLACERING AV BORRHÅL.



FIGUR 11. SIKTKURVA FÖR INGÅENDE SANDFRAKTIONER.

BRUK	vct	K_{28} (kp/cm ²)	MEDEL K_{28} (kp/cm ²)
3:1	0,33	645	707
		776	
		700	
1:1	0,35	640	637
		645	
		626	
1:1	0,50	458	445
		430	
		446	
1:3	0,70	283	291
		311	
		279	

TABELL 3. KUBHÅLLFASTHET BRUK

Vattenfyllda hål tömdes på allt vatten strax före ingjutningen. Därefter fylldes hålen med bruk varpå armeringsjärnet fördes ned med handkraft och centerades. Vid mycket lättflytande bruk fixerades stängen i läge med kilar. Samtliga provade bruk kunde hållas i hålen. Med hjälp av en bormaskin vibrerades bruket. Armeringsjärnen var av kvalitet Ks 40 med dimensionerna $\varnothing 16$ och $\varnothing 25$. Huvuddelen av proven drogs efter 28 dygn, undantagen framgår av tabell 4.

För att belastningsanordningens inverkan på utdrags hållfastheten skulle kunna försummas utformades denna i princip enligt figur 12. Av de fyra mätklockorna (1/100) som användes, nyttjades två till att mäta förbandets totala deformation via vingar som fästes på stängen och två till att mäta deformationen av betongytan nära ingjutningen. När en betongkon var på väg att dras ur kunde detta alltså observeras med utslag på mätklockorna. De påförda lasterna registrerades med 4 st lastgivare vilka var kopplade till en skrivare. Vid varje lastnivå avlästes mätklockorna en minut efter det att lasten påförts, samtidigt avlästes verklig last. Domkraftens kapacitet var på 50 Mp och mothållet var av klämtyp.

Vid förprovnings framkom, i de fall brottet innebar att en betongkon drogs ur, att betongblockets överyta förstördes inom en cirkel med en diameter upp till ca 60 cm, se figur 7. Detta medförde att betongblockets överyta redan efter några få provningar var söndertrasad och att praktiska svårigheter med att placera provningsutrustningen och utföra mätningar uppstod för de resterande proven i samma block. Provningsarna utfördes därför fortsättningsvis i två steg för de prov där en betongkon drogs ur. I steg 1 belastades varje prov till den nivå då betongkonen började lossna. Denna lastnivå bestämdes med hjälp av mätklockorna men även genom de sprickor som uppstod. Då samtliga prov i samma block belastats till denna nivå vidtog steg 2 som innebar att vissa utvalda förband drogs till brott utan mätklockor och lastgivare. Lasten avlästes i steg 2 med hjälp av domkraftens manometer som kalibrerades med jämna mellanrum. På detta sätt erhöles ett noggrant last-förskjutningssamband upp till en lastnivå relativt nära förbandets maximala. De prov som utvaldes att genomgå

TABELL 4:1 SAMMANDRAG AV PROVNINGSPROGRAM

Prov nr	Prov antal	Ingl. längd (mm)	Bruk Kval. vct	Diam. hål (mm)	Diam. stång (mm)	Borr typ	Ren-gjort hål	Fukt-tat hål	Anm.
1:1-3	3	100	1:1 0,50	40	25	Slag	Ja	Ja	
1:4-6	3	100	1:1 0,35	40	25	"-	"	"	
2:1-3	3	200	1:1 0,50	40	25	"-	"	"	
2:4-6	3	200	1:1 0,35	40	25	"-	"	"	
3:1-3	3	300	1:1 0,50	40	25	"-	"	"	
3:4-6	3	300	1:1 0,35	40	25	"-	"	"	
4:1-6	6	400	1:1 0,50	40	25	"-	"	"	4:2, 5 och 6 ej provade
5:1-6	6	200	1:1 0,50	50	25	"-	"	"	5:1, 3 och 5 ej provade
6:1-6	6	300	1:1 0,50	50	25	"-	"	"	6:1, 3 och 4 provade för långtidslast
7:1-6	6	400	1:1 0,50	50	25	"-	"	"	7:1, 3 och 5 provade 6 mån. efter ingjutning
8:1-6	6	200	1:1 0,50	60	25	"-	"	"	8:2, 3 och 5 provade 6 mån. efter ingjutning
9:1-6	6	300	1:1 0,50	60	25	"-	"	"	9:2, 4 och 5 provade 6 mån. efter ingjutning
10:1-6	6	400	1:1 0,50	60	25	"-	"	"	10:2, 3 och 5 provade med pulserande last
11:1-6	6	100	1:3 0,70	40	25	"-	"	"	11:2, 3 och 6 ej provade
12:1-6	6	200	1:3 0,70	40	25	"-	"	"	12:2, 3 och 6 ej provade

TABELL 4:2 SAMMANDRAG AV PROVNINGSPROGRAM

Prov nr	Prov antal	Ingj. längd (mm)	Bruk		Diam. hål (mm)	Diam. stång (mm)	Borr typ	Ren-gjort hål	Fukt-tat hål	Anm.
			Kval.	vct						
13:1-6	6	300	1:3	0,70	40	25	Slag	Ja	Ja	13:3, 4 och 5 ej provade
14:1-6	6	400	1:3	0,70	40	25	"-	"	"	14:1, 3 och 4 provade 11 mån. efter ingjutning
15:1-6	6	200	1:3	0,70	60	25	"-	"	"	15:1, 3 och 6 ej provade
16:1-6	6	300	1:3	0,70	60	25	"-	"	"	16:2, 3 och 4 ej provade
17:1-6	6	400	1:3	0,70	60	25	"-	"	"	17:1, 2 Och 5 provade 13 mån. efter ingjutning
18:1-6	6	100	3:1	0,40	40	25	"-	"	"	18:1, 4 och 6 provade med helt mothåll
19:1-6	6	200	3:1	0,40	40	25	"-	"	"	19:1 och 6 provade med helt mothåll
20:1-6	6	300	3:1	0,40	40	25	"-	"	"	19:4 provade 8 mån. efter ingjutning
21:1-6	6	400	3:1	0,40	40	25	"-	"	"	20:3, 4 och 6 ej provade
22:1-6	6	200	3:1	0,33-0,40	60	25	"-	"	"	21:2, 3 och 4 ej provade
23:1-6	6	300	3:1	0,33-0,40	60	25	"-	"	"	
24:1-6	6	400	3:1	0,33-0,40	60	25	"-	"	"	
25:1-3	3	200	1:1	0,50	45	25	Rot.	"	"	
25:4-6	3	200	1:1	0,50	61	25	"-	"	"	
26:1-2	2	300	1:3	0,70	45	25	"-	"	"	Ej avsett bruk

TABELL 4:3 SAMMANDRAG AV PROVNINGSPROGRAM

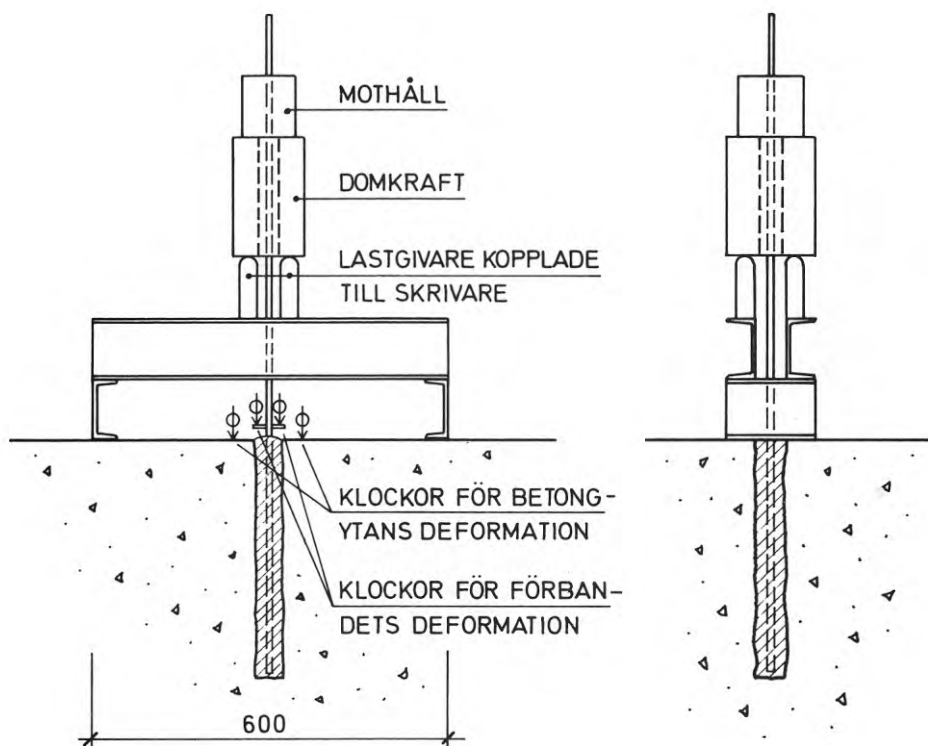
Prov nr	Prov antal	Ingj. längd (mm)	Bruk		Diam. hål (mm)	Diam. stång (mm)	Borr typ	Ren-gjort hål	Fukt-tat hål	Anm.
			Kval.	vct						
26:3	1	300	1:1	0,50	45	25	Rot.	Ja	Ja	
26:4-6	3	300	1:1	0,50	61	25	"-	"	"	
27:1-3	3	400	1:3	0,70	45	25	"-	"	"	Ej avsett bruk
27:4-6	3	400	1:1	0,50	61	25	"-	"	"	
28:1-3	3	200	1:1	0,50	40	25	Slag	Nej	Nej	
29:1-3	3	300	1:1	0,50	40	25	"-	"	"	
30:1-3	3	400	1:1	0,50	40	25	"-	"	"	
31:1-3	3	200	1:1	0,50	60	25	"-	"	"	
32:1-3	3	300	1:1	0,50	60	25	"-	"	"	
33:1-3	3	400	1:1	0,50	60	25	"-	"	"	
34:1-3	3	300	1:1		80	25	"-	Ja	Ja	Reserv
35:1-3	3	300			40		"-			
36:1-3,	3	200	1:1		40	25	"-	Ja	Ja	Parvis samverkan
37:1-3	3	300	1:1		40	25	"-	"	"	Excentrisk stångplacering
39:1-3	3	300	1:1		40	25	"-	"	"	Excentrisk stångplacering

TABELL 4:4 SAMMÄNDRAK AV PROVNINGSPROGRAM

Prov nr	Prov antal	Ingj. längd (mm)	Ingj. Kval.	Bruk vct	Diam. hål (mm)	Diam. stång (mm)	Borr typ	Ren-gjort hål	Fukt-tat hål	Anm.
40:1-3	3	100	1:1		27	16	Slag	Ja	Ja	
41:1-3	3	200	1:1		27	16	-"-	"	"	
42:1-3	3	300	1:1		27	16	-"-	"	"	
43:1-3	3	100	1:1		29	16	-"-	"	"	
44:1-3	3	200	1:1		29	16	-"-	"	"	
45:1-3	3	300	1:1		29	16	-"-	"	"	
46:1-12	12	300	1:1	0,50	40	25	-"-	"	"	Kant- och hålavstånd provade
47:1-9	9	300	1:1	0,50	40	25	-"-	Nej	Nej	Hålen ej tömda på vatten vid ingjutningen
48:1-3	3	500	1:1	0,50	40	25	-"-	Ja	Ja	Reserv
49:1-6	6	300			40		-"-			

steg 2 var de med de lägsta hållfasthetsvärdena inom varje grupp av förband med identiska försöksparametrar. De maximala laster som registrerades var alltså sannolikt under gruppens medelvärde.

I tabell 4 redovisades ett sammandrag av provningsprogrammet. Av sammandraget framgår provbeteckning, antal prov med identiska parametrar, olika varierande parametrar samt övrig väsentlig information såsom avvikelser i ingjutningsbrukets härdningstid, variationer i belastningen, arbetsutförande och liknande. Sammanlagt har utförts 207 prov (förprovning ej inkluderad).



FIGUR 12. PROVNINGSANORDNING SCHEMATISKT.

5. PROVNINGSRESULTAT

Resultaten av provningarna beskrivs huvudsakligen genom att last-förskjutningskurvor redovisas. För att förenkla redovisningen av ingående storheter har i det följande sambandet mellan last och förskjutning framställts som en matematisk funktion där de mest frekventa parametrarna ingår.

$$\delta = F(\varnothing, L, G, V, D, f, P)$$

där \varnothing = armeringsdiameter [mm]

L = injutningslängd [mm]

G = Brukets blandningsförhållande cement:sand

V = vattencementtal

D = borrhålsdiameter [mm]

f anger om borrhålet rengjorts och fuktats före injekteringen. Borrhålet skall ha varit vattenfyllt 1 dygn före injekteringen. Uppfylls inte något av dessa krav införs variabeln \varnothing

P = yttre dragkraft [Mp]

På varje figur i bilagedelen insätts de absolutvärden som gäller för just den provserien. Variabler som ej hålls konstanta under provningen markeras i funktionsuttrycket med samma beteckningar som föreslagits inledningsvis.

Förutom dessa parametrar tillkommer variabler vilka inte inverkar på varje provserie, utan speciellt studeras i kombination med ovan nämnda. Det är faktorer som hålväggens utseende, inbördes avstånd mellan parallella stänger, avstånd till borrhål från provkroppens kant, olika bormetoder, pulserande last, långtidslast, excentrisk placering av stänger i borrhålen samt betydelsen av injektering vid kall väderlek. Faktorer vilka ej varit möjliga att enskilt studera är hur gestaltning och uppbyggnad av provkropparna påverkar provningsresultaten. Samtliga provkroppar har utförts med samma betongkvalitet K 250 och armerats på lika sätt.

Uppenbarligen finns här möjligheter att betongkvalitet, lagringsförhållanden, och om man använt sig av ett oarmerat provblock kunnat förändra försöksresultaten i en eller annan riktning.

Förändringarna är antagligen mer en skillnad till graden än till arten. Provningsuppställningen och lastceller har inte medgett att hela lastförskjutningskurvan kunnat upprättas. Hela den plastiska fasen, när lasten är så stor att sträckgränsen uppnåtts i järnen, har inte kunnat uppmätas.

Trots detta är det ingen svårighet att rekonstruera den plastiska fasen som är väl belagd från tidigare provningar av armeringsstål.

Provningsutrustningen har inte möjliggjort en uppmätning av hela lastförskjutningskurvan, speciellt när den plastiska fasen inträder, på grund av att lastcellerna inte kan belastas över 20 ton. För att samtliga försök ur samma provklump skulle kunna utföras under ungefär likartade omständigheter drogs inte järnen tills den absoluta maxlasten P_{br} uppnåddes.

Efter det att samtliga prov i betongblocket utförts drogs några valda stänger tills brott inträffade för att erhålla ett mått på förbandens maximala lastupptagning. Lasten uppmättes med hjälp av en till domkraften ansluten manometer vilken tillät en mätnoggrannhet på $\pm 5\%$. De maximala brottlasterna för förband med varierande förutsättningar finns tabellerade i tabell 5.

Ingjutningsl.	Bråk	Diameter	vct	Brottlast
100	1:1	D40	0,35	5,5
200	"	"	0,50	13,5
300	"	"	0,50	18,0
400	"	"	0,50	25,0
200	"	D50	0,50	12,0
300	"	"	0,50	19,0
400	"	"	0,50	32,0
200	"	D60	0,50	12,0
300	"	"	0,50	16,0
400	"	"	0,50	36,0
100	3:1	D40	0,70	3,5
200	"	"	0,40	14,5
300	"	"	0,40	24,5
400	"	"	0,40	31,0
200	"	D60	0,36	24
300	"	"	0,76	22
400	"	"	0,36	32

TABELL 5 SAMMANSTÄLLNING AV MAXIMALA BROTTLASTER

5.1 Injutfningslängd

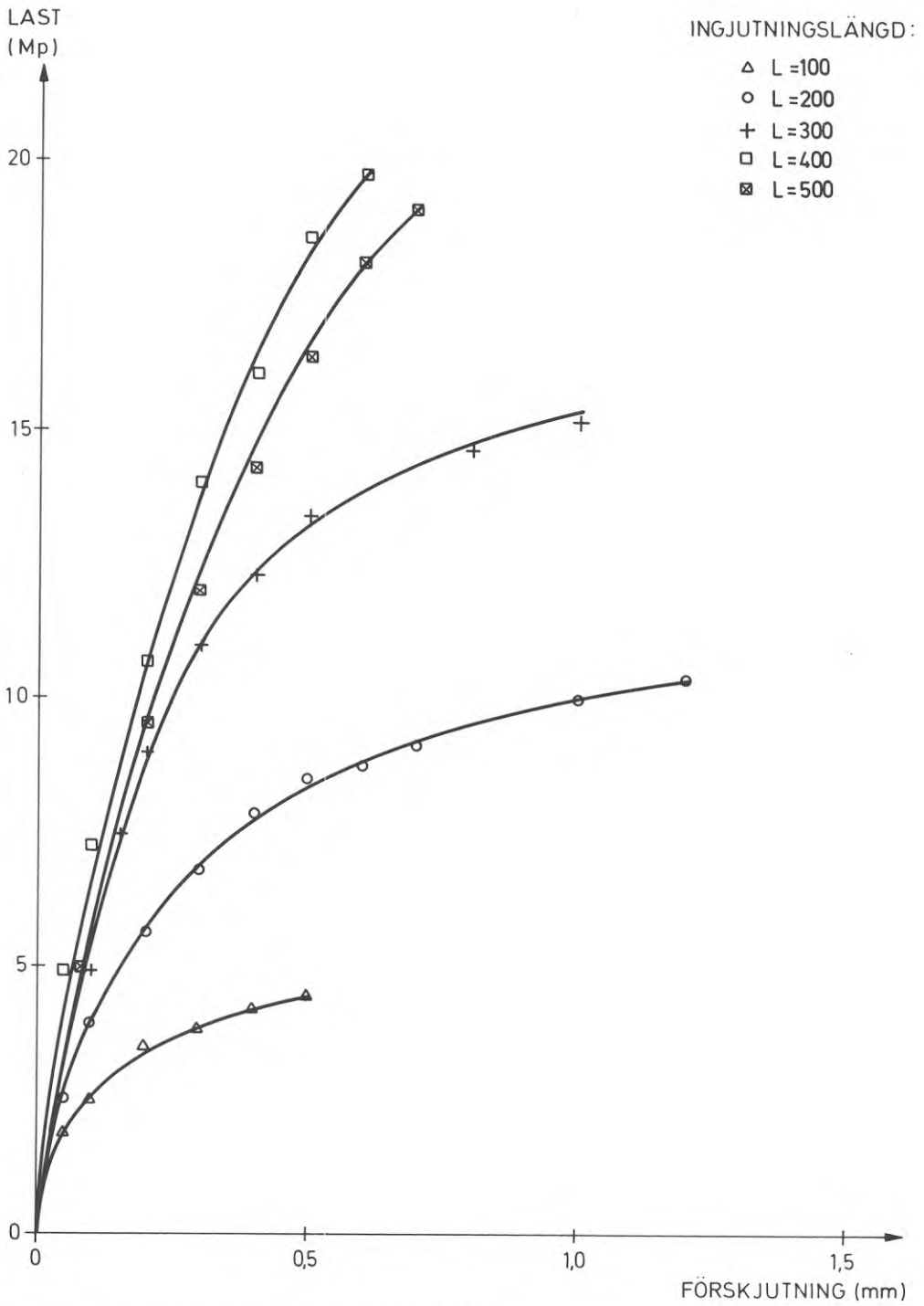
För att kunna bedöma ett injekteringsförbands hållfasthet vid givna betingelser erfordras, att man har klart för sig hur dess lastupptagande förmåga ändras vid variationer av injutfningslängden. Figurerna 13, 14 och 15 visar injutfningslängdens betydelse vid lastpåverkan på förband med kamstål \varnothing 25, kvalitet Ks 40, borrhål diameter D40, slagborrade väl fuktade och rengjorda hål.

Last-förskjutfningskurvor har uppritats för tre stycken brukssammansättningar 1:1, 3:1 och 1:3 med mindre variationer i vct.

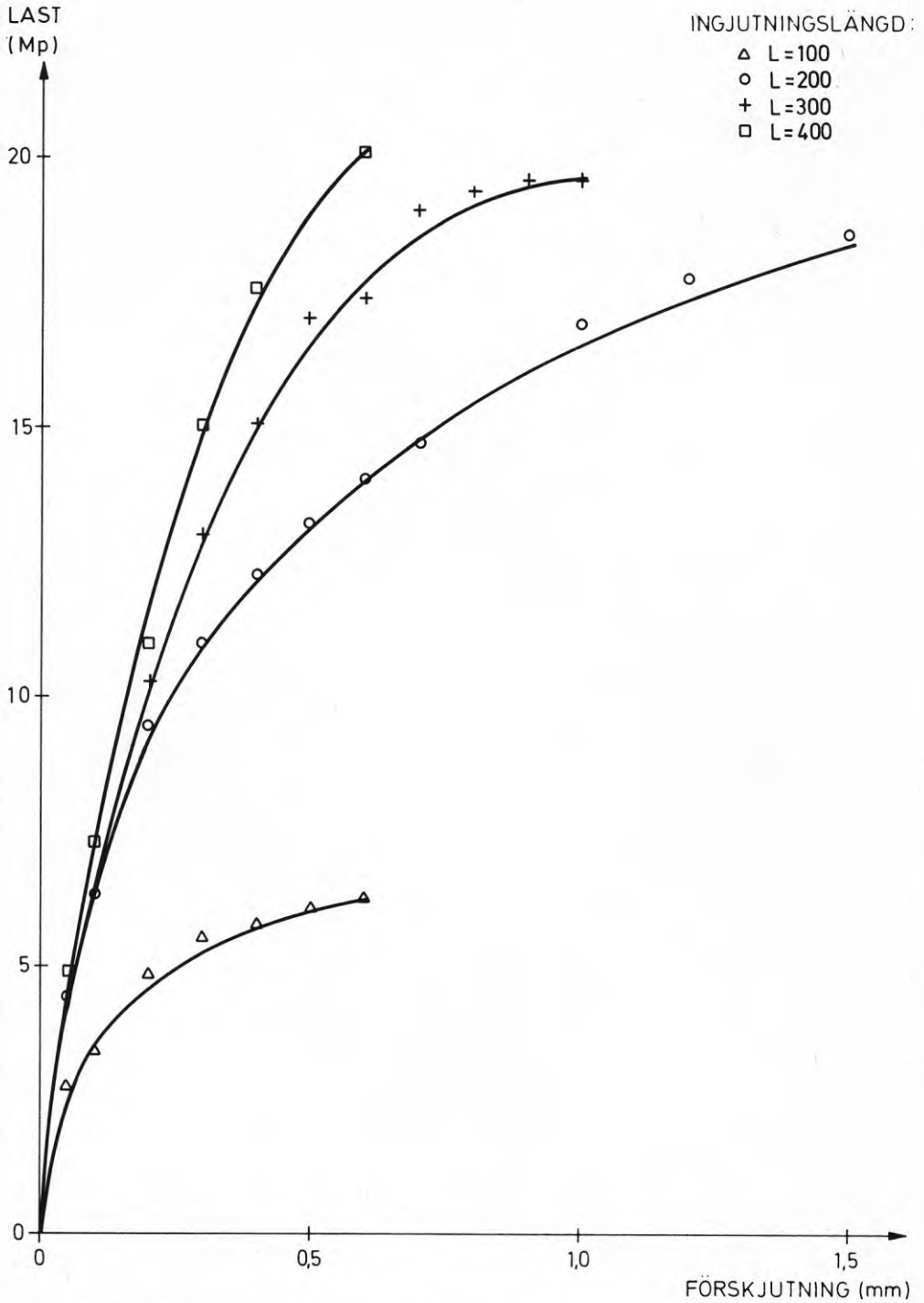
Som framgår under avsnitt 5.2 är inverkan av vattencementtalet på förbandets stabilitet obetydlig för ett och samma bruk. Man kan således ur figurer 13 och 14 utläsa, att förbandets kraftupptagande förmåga ökar med injutfningslängden tills en övre gräns på injutfningslängden nås över vilken ökad kraftupptagning i förbandet inte är möjlig. Ur figur 13 framgår, att injutfningslängderna 400 och 500 mm ger praktiskt taget samma hållfasthetsvärden vid lika laststeg, varför man törs dra slutsatsen att injutfningslängdens övre gräns ligger vid omkring 400 mm för dessa förband med bruk 1:1.

Avlastningen av den yttre dragkraften utefter stångaxeln sker uppenbarligen på en mycket kort sträcka, som antar ett gränsvärde för vilket förbandets maximala brottlast erhålles. Den del av injutfningslängden som tas i anspråk för att överföra den påtvingade dragkraften till provblocket beror helt på de omgivande förutsättningarna, vilka avgör hur vidhäftningspåklänningarna aktiveras utefter stångaxeln. Dessa förutsättningar måste således vara helt klarlagda för att seriöst kunna bedöma förbandets hållfasthetskaraktistika.

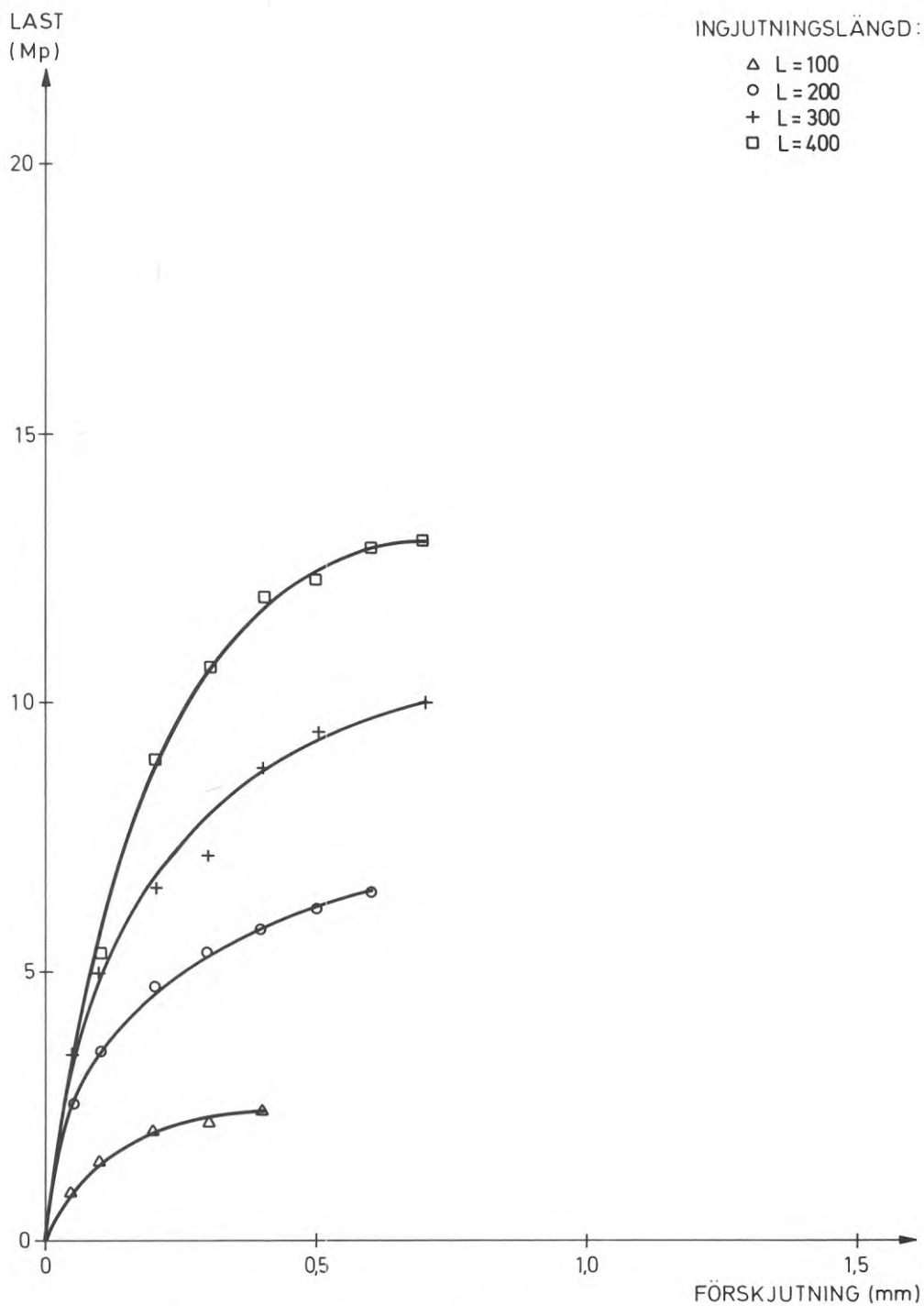
Från erhållna provningsresultat finner man att kraften liksom förskjutfningen är direkt proportionell mot injutfningslängden (figurer 16 och 17). Sambandets giltighetsområde beror av injutfningslängdens övre gräns, d.v.s. vid den injutfningslängd då en ytterligare ökning av injutfningslängden inte förändrar last-förskjutfningskurvans utseende.



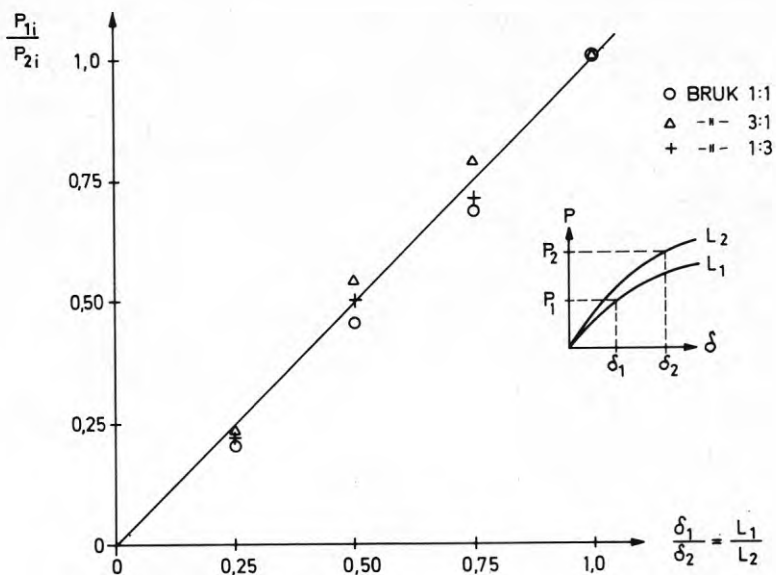
FIGUR 13 LAST-FÖRSKJUTNINGSDIAGRAM
 $\delta = F(25, L, 1:1, V, 40, f, P)$ FÖR OLIKA
 INGJUTNINGSLÄNGDER



FIGUR 14 LAST-FÖRSKJUTNINGSDIAGRAM
 $\delta = F(25, L, 3:1, V, 40, f, P)$ FÖR OLIKA
 INGJUTNINGSLÄNGDER

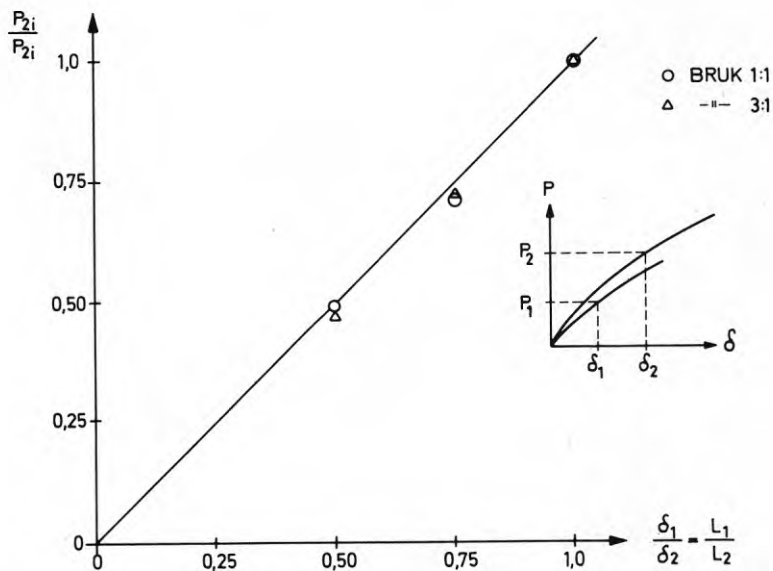


FIGUR 15 LAST-FÖRSKJUTNINGSDIAGRAM
 $\delta = F(25, L, 1:3, V, 40, f, P)$ FÖR OLIKA
 INGJUTNINGSLÄNGDER



FIGUR 16 FÖRHÅLLET MELLAN LASTER OCH DEFORMATIONER VID OLIKA INGJUTNINGSLÄNGDER ($L_{MAX} = 400$)

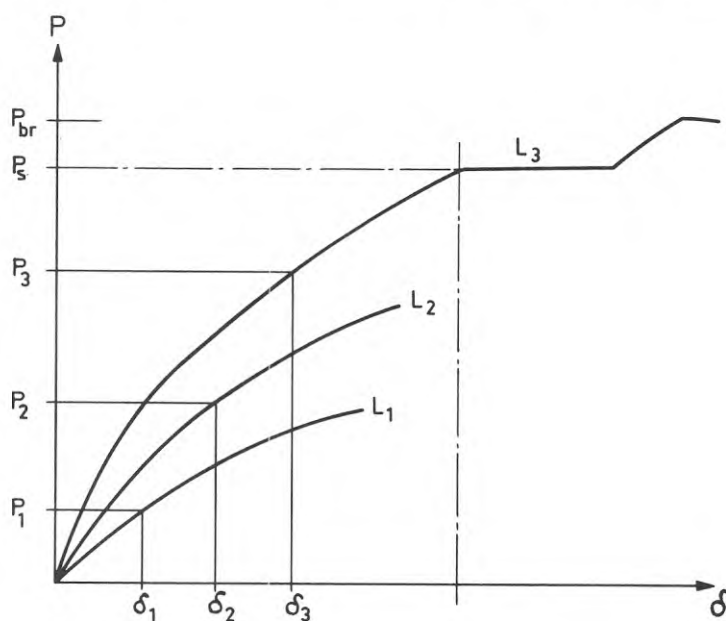
$$\delta = F(25, L, G, V, 40, f, P)$$



FIGUR 17 FÖRHÅLLET MELLAN LASTER OCH DEFORMATIONER VID OLIKA INGJUTNINGSLÄNGDER ($L_{MAX} = 400$)

$$\delta = F(25, L, G, V, 60, f, P)$$

Dessutom finns en begränsning på deformationen där sambandet mellan förbandets last-förskjutning och ingjutningslängd inte gäller. Begränsningen på deformationen är abhängig lastens storlek, beroende på när gränslasten uppnås i stängen. Därvid inträder en övergång från elastiskt till plastiskt stadium då tangenten till last-förskjutningskurvan är horisontell. Absoluta värdet på gränslasten P_s är helt beroende av stängens kvalitet och dimension. Känner man last-förskjutningskurvan för ingjutningslängden L_1 är det således möjligt att inom definierat giltighetsområde konstruera last-förskjutningskurvorna för ingjutningslängderna $L_2, L_3 \dots$ o.s.v. (figur 18).



$$P_1 = \frac{L_1}{L_2} \cdot P_2 = \frac{L_1}{L_3} \cdot P_3$$

$$\delta_1 = \frac{L_1}{L_2} \cdot \delta_2 = \frac{L_1}{L_3} \cdot \delta_3$$

BEGRÄNSNING AV GILTIGHETSOMRÅDE

$$0 < L \leq L_{\max}$$

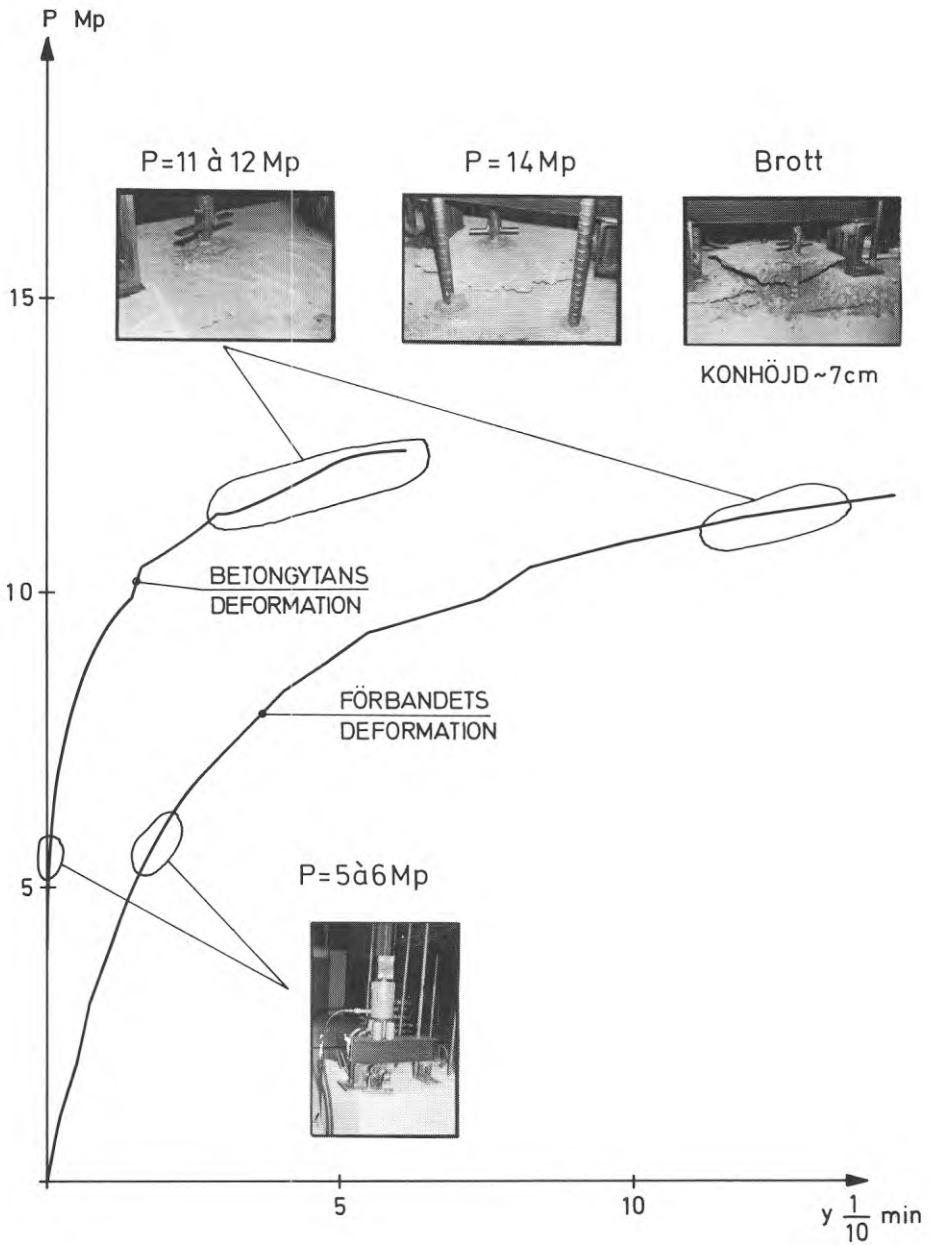
$$0 < P \leq P_s$$

FIGUR 18 KONSTRUKTION AV LAST-FÖRSKJUTNINGSKURVOR
UTGÅENDE FRÅN EN KÄND KURVA

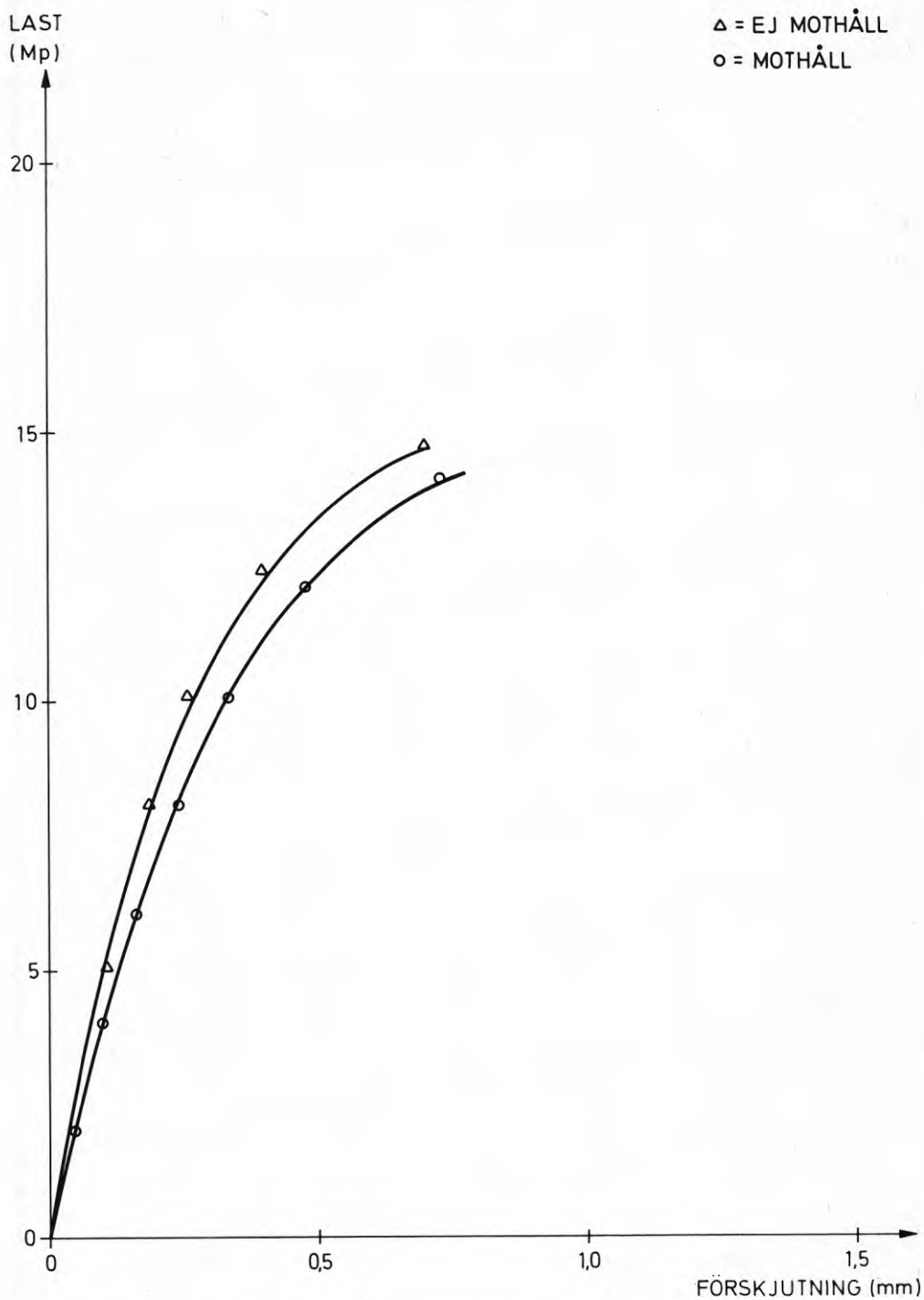
Vid uppnående av omkring 90 % av maximallasten P_{br} utbildades för några försök en kon i omgivande betong med en höjd på ca 7 cm (figur 19).

Att konen inte utbildades vid samtliga försök beror på variationen i ingjutningslängd. Om ingjutningslängden är så stor att gränslasten uppnås i stängerna är hållfastheten för dessa dimensionerande för förbandet. Vid de kortare ingjutningslängderna är betongens och injekteringens kvalitet avgörande för förbandets hållfasthet, och i brottstadiet är skär- och dragkrafterna i betongen av sådan storleksordning att en kon kommer att utbildas.

För att utröna hur stor andel av förskjutningen som äger rum vid de båda skikten stål-injektering respektive betong-injektering utfördes en provserie med tre stycken separata försök. Provningsen tillgick så att betongytans deformation förhindrades med hjälp av en tryckfördelande stålplatta. Mätningarna från provningarna visar att större delen av förskjutningen i förbandet uppträder vid ytan stål-injektering. (figur 20).



FIGUR 19 ILLUSTRATION AV LAST-FÖRSKJUTNINGSKURVA.
FÖRPROV 4.



FIGUR 20 LAST-FÖRSKJUTNINGSDIAGRAM
 $\delta = F (25, L, G, V, 60, f, P)$
 VID OLIKA PÅFÖRANDE AV LAST.

5.2 Brukssammansättning

Provningsserien har anpassats till att utröna brukskvalitetens inflytande på vidhäftningsegenskaperna på förband med i övrigt lika yttre förutsättningar. Vad som legat närmast till hands att undersöka är huruvida proportionen cement:sand och om vattencementtalets storlek inverkar på förbandet. För samtliga utförda prov har en sandfraktion med korngränskurva enligt figur 11 använts. Övre kornstorleksgräns är som synes begränsad till 4 mm.

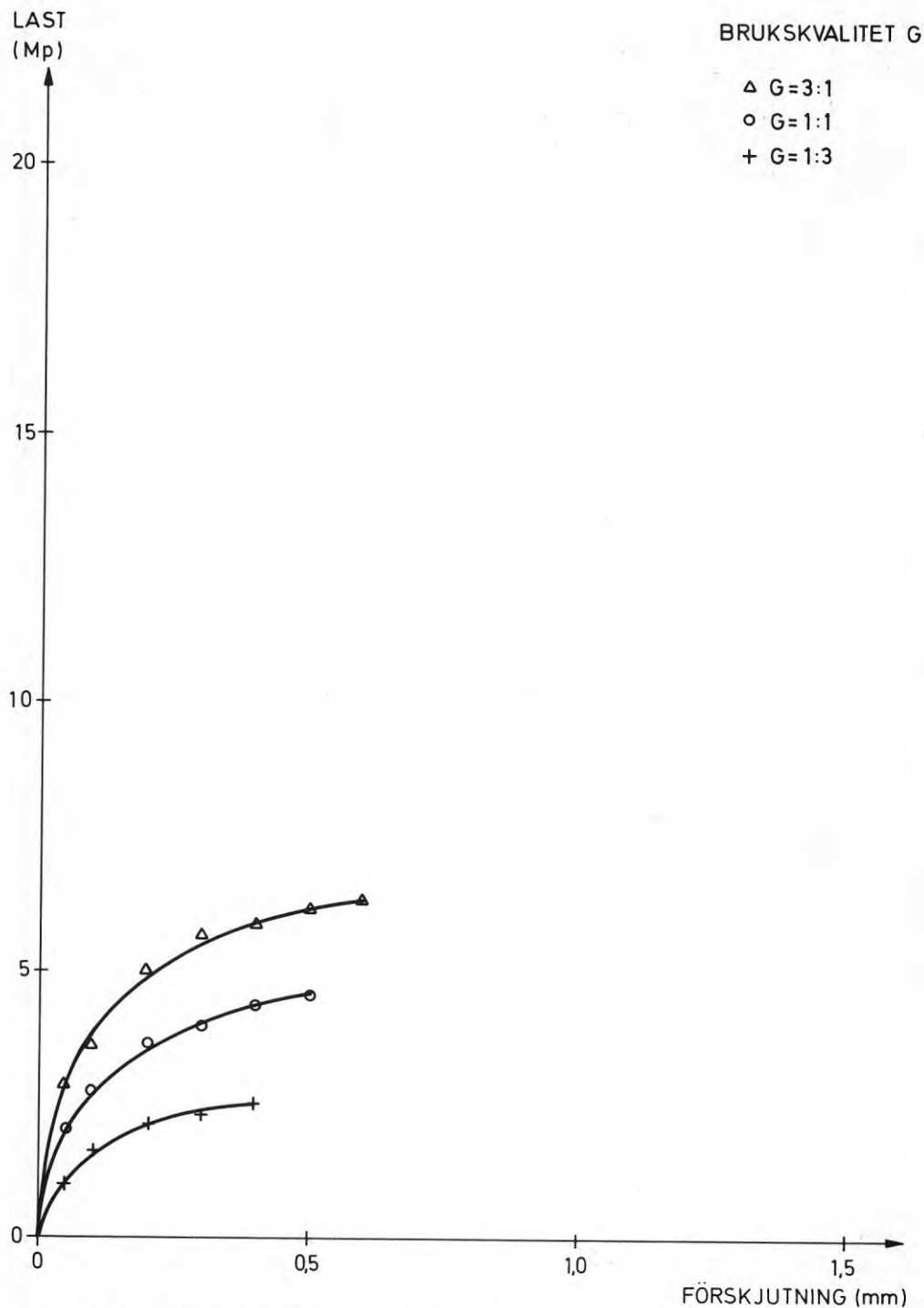
Provtryckningar av kuber med sidomått 150x150 för de tre olika bruksorterna 1:1, 3:1 och 1:3 med varierande vattencementtal gav till resultat som framgår av tabell 3. Hållfastheten för olika injekteringsbruk provade efter 21 dygn förbättras således med stigande andelar cement och för samma bruk erhålls bättre hållfasthetsvärden vid de lägre vattencementtalen.

Försök med bruk med olika vattencementtal utfördes sedan förberedande undersökning visat, att det var lämpligt ur arbetssynpunkt att arbeta med höga vattencementtal. Last-förskjutningskurvorna från provningarna visar att lastupptagningen för förband är gynnsammare om bruk med högre cementhalter används (figurer 21 - 24).

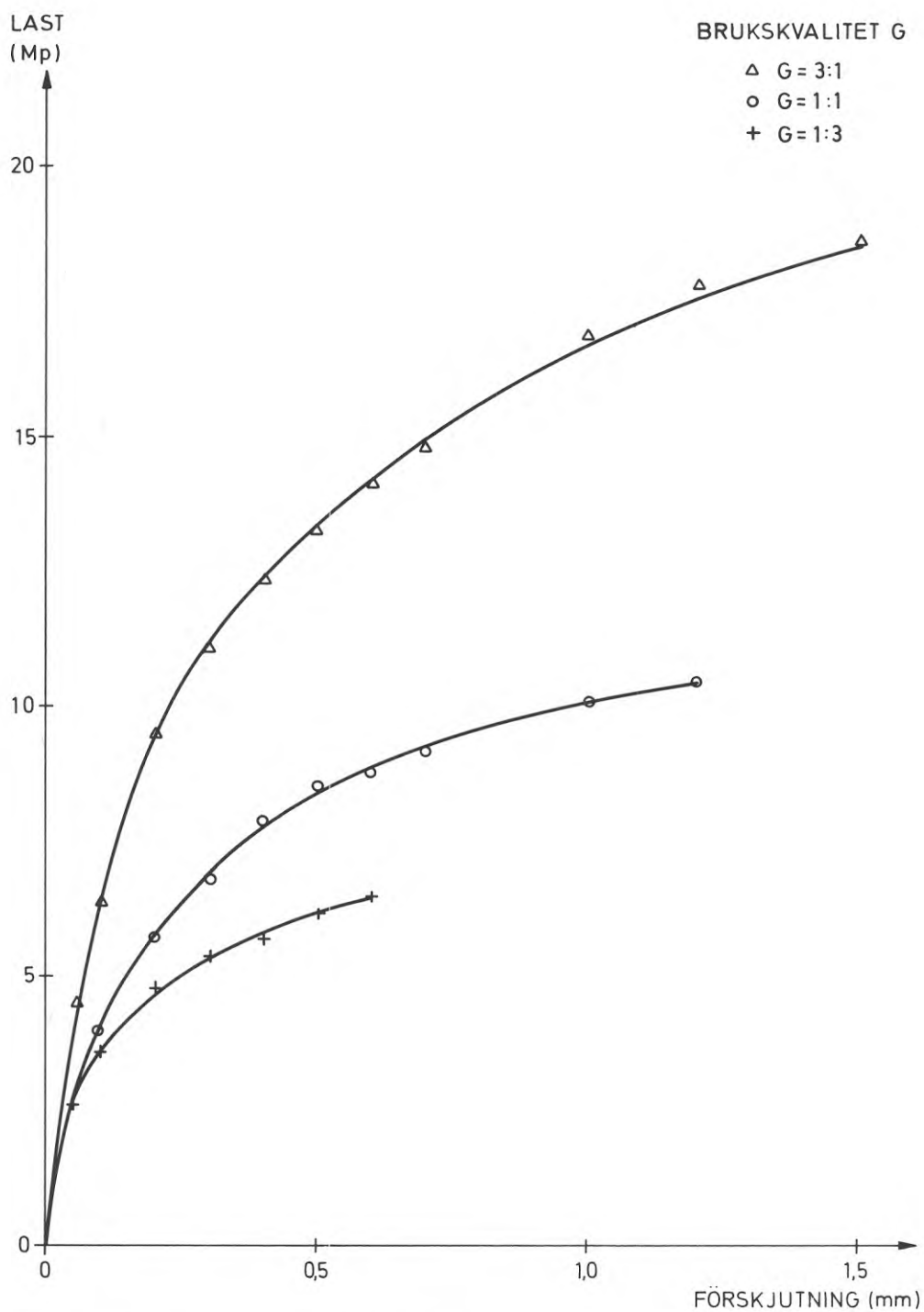
Förbandets hållfasthet tillväxer snabbare för fetare bruk, men genom att förlänga ingjutningslängden för prov med lägre cementhalter kan samma last-förskjutningssamband efterliknas. Sambandet framgår mycket klart ur figur 24 där man tydligt kan se hur kurvorna för bruken 1:1 och 3:1 närmar sig varandra vid en ökning av ingjutningslängden.

Förutom inverkan av proportionerna cement, sand är det av visst intresse att veta vattencementtalets betydelse för förbandens hållfasthet. Skillnaden mellan last-förskjutningskurvorna för samma bruksort med olika vct framgår av figurer 25 - 30. Ingen signifikant skillnad kan anses föreligga delvis beroende på att antalet utförda prov inte är tillräckligt.

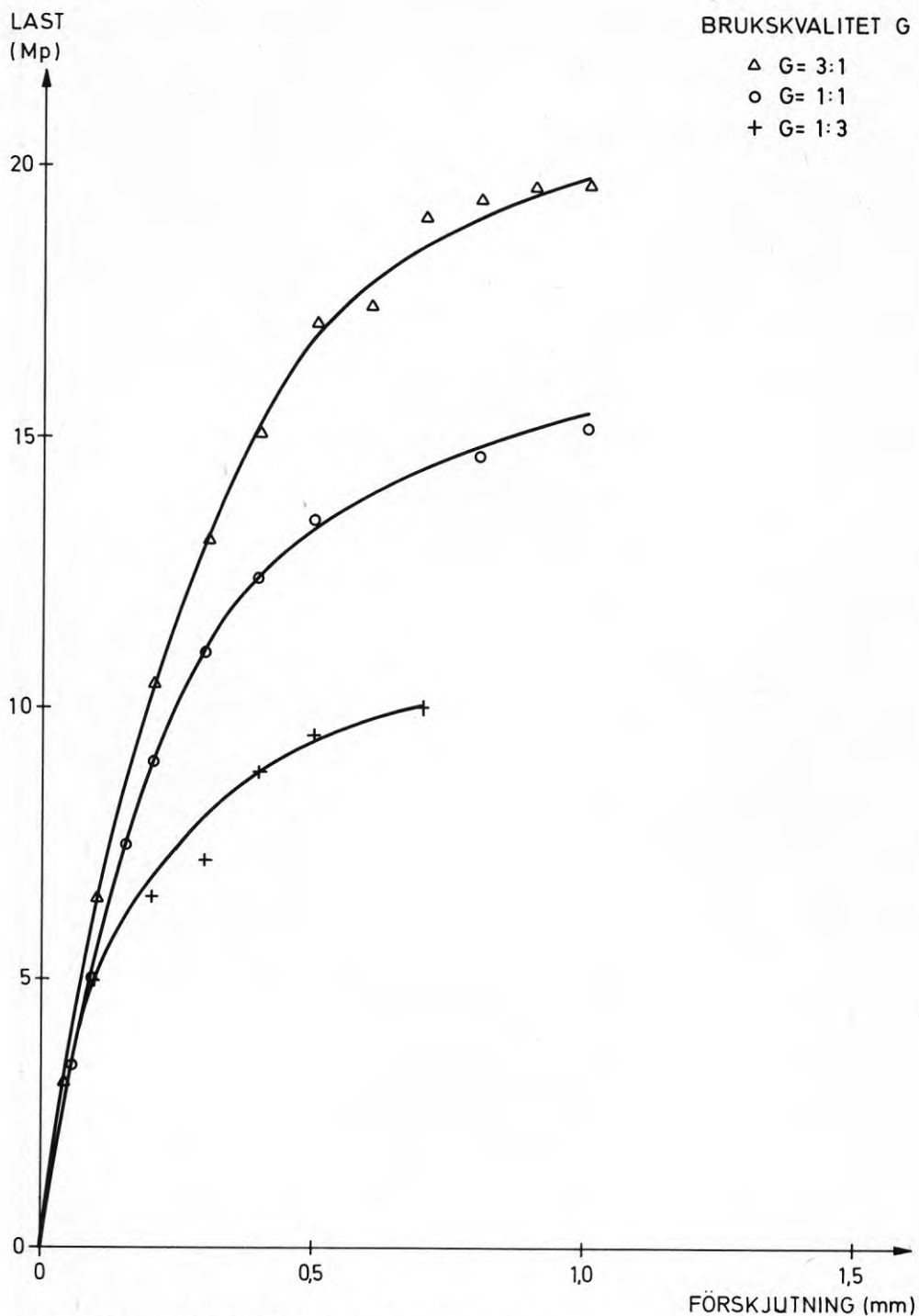
I detta sammanhang får inte förbises att förbandens styvhet är beroende av brukens volymändringsegenskaper under hårdnandet. Förändringar av förbandens hållfasthet kan ändras med borrhålsdiametern för olika bruk; ju större krympning, desto mindre styvhet.



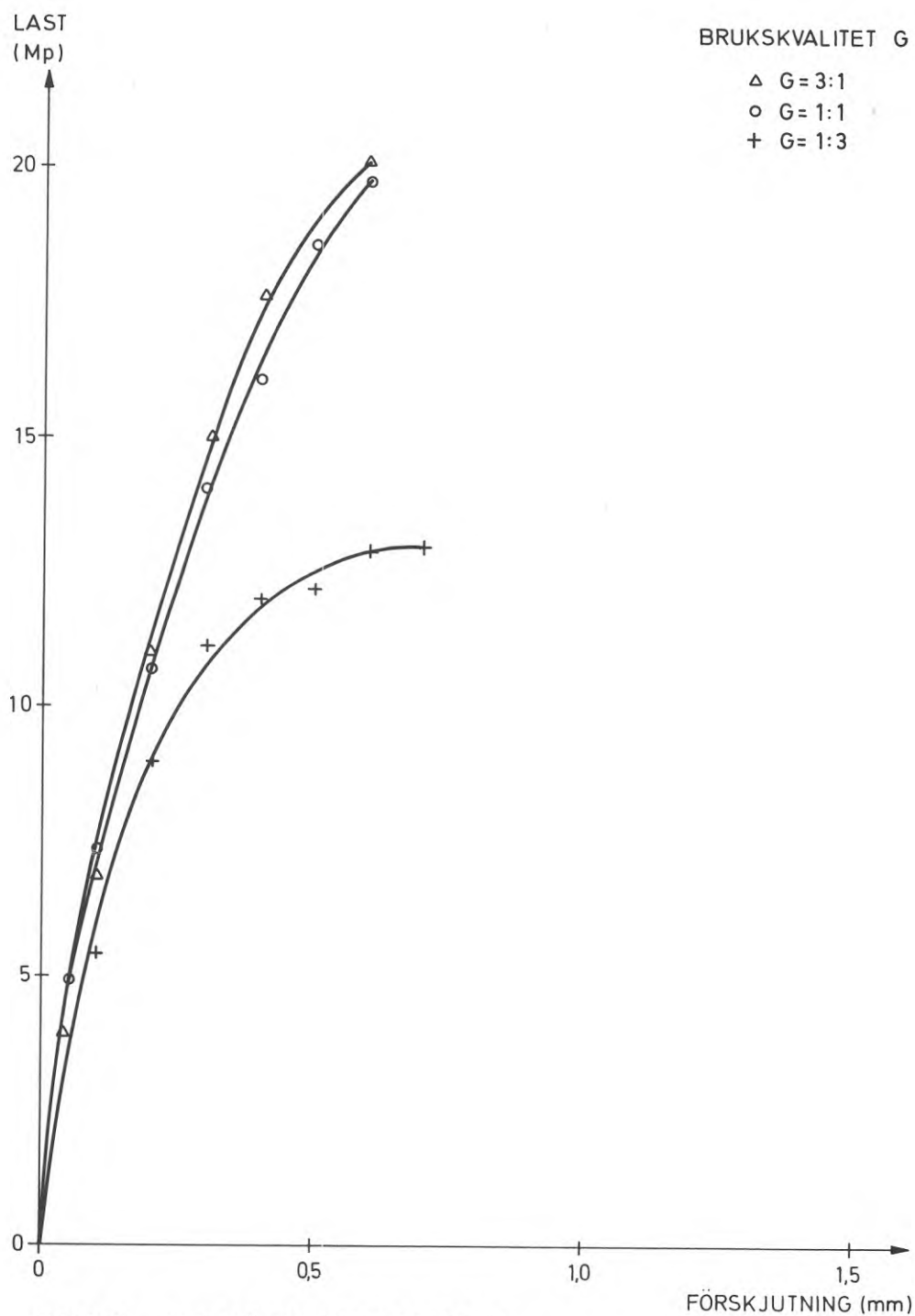
FIGUR 21 LAST-FÖRSKJUTNINGSDIAGRAM
 $\delta = F(25, 100, G, V, 40, f, P)$
 FÖR OLIKA BRUKSKVALITET



FIGUR 22 LAST-FÖRSKJUTNINGSDIAGRAM
 $\delta = F(25, 200, G, V, 40, f, P)$
 FÖR OLIKA BRUKSKVALITET



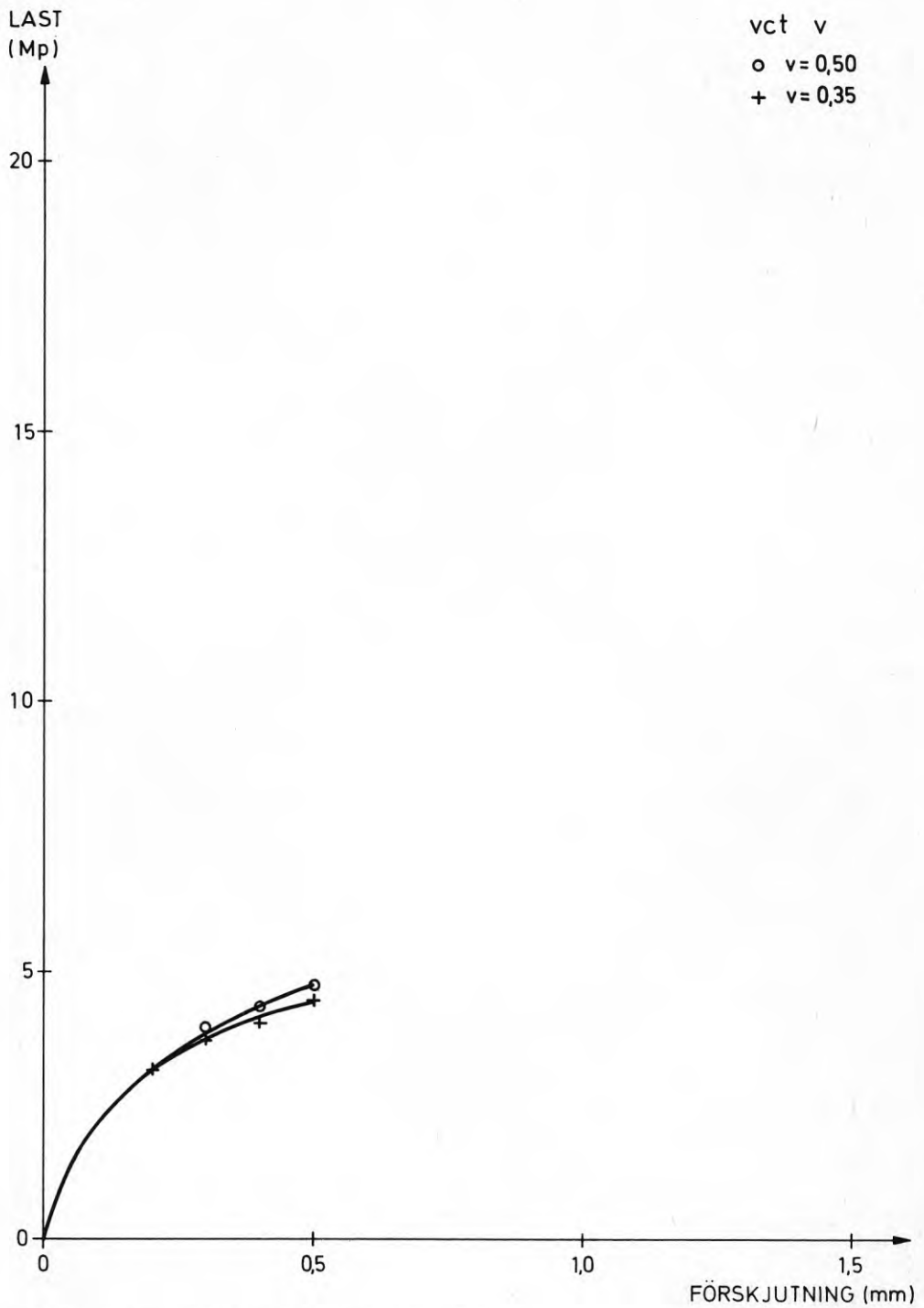
FIGUR 23 LAST-FÖRSKJUTNINGSDIAGRAM
 $\delta = F(25, 300, G, V, 40, f, P)$
 FÖR OLIKA BRUKSKVALITET



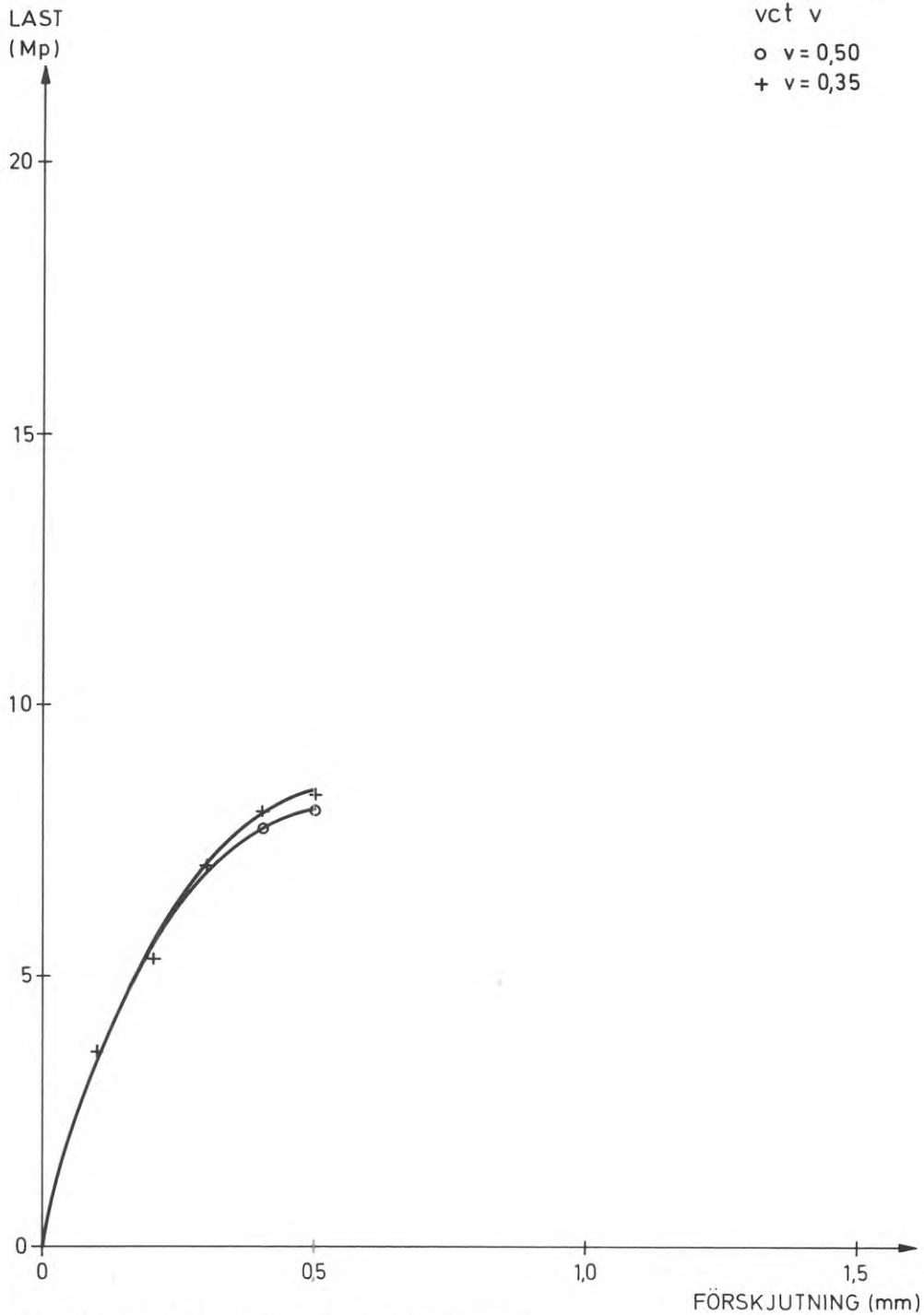
FIGUR 24 LAST-FÖRSKJUTNINGSDIAGRAM

$$\dot{\sigma} = F(25, 400, G, V, 40, f, P)$$

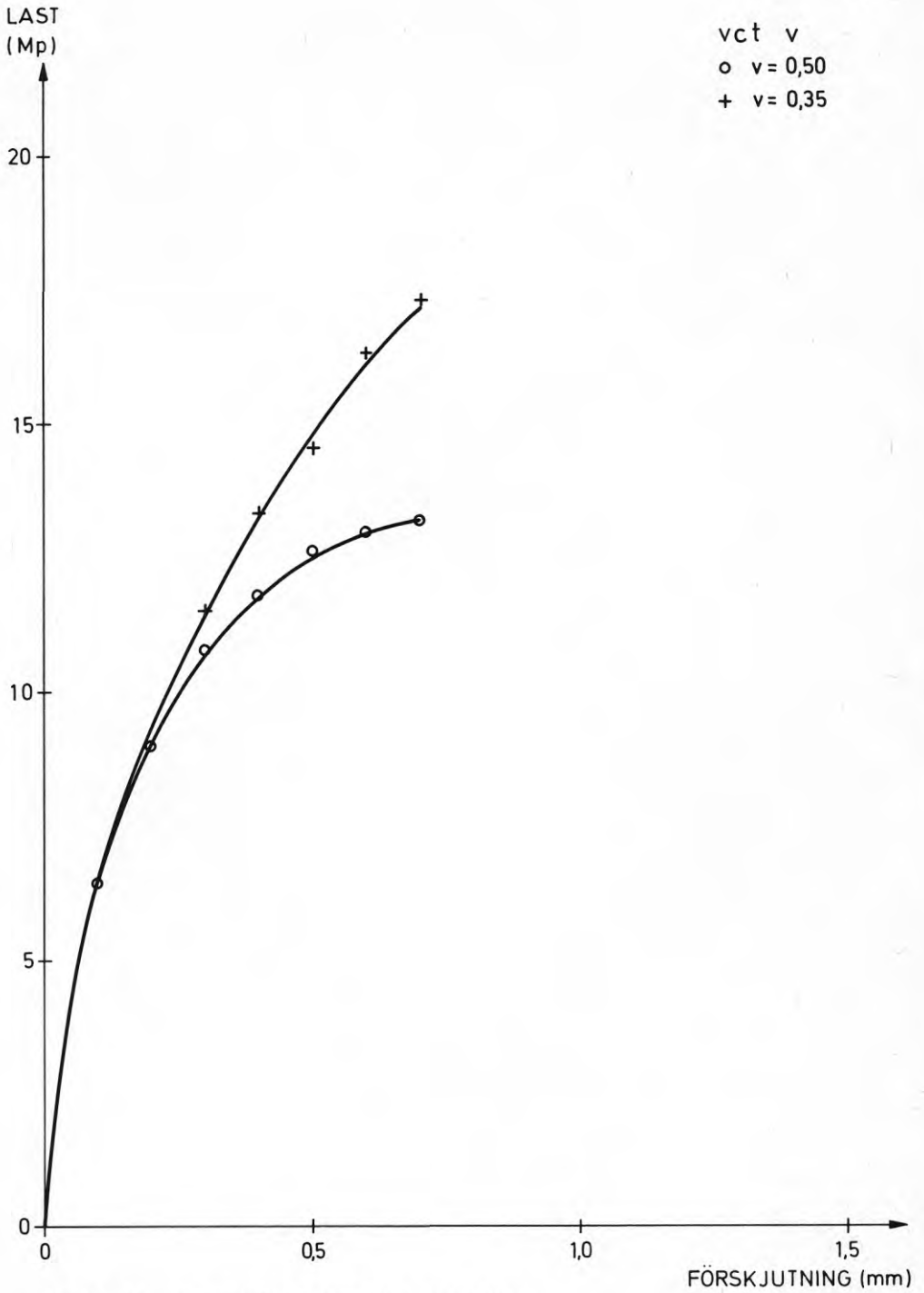
FÖR OLIKA BRUKSKVALITET



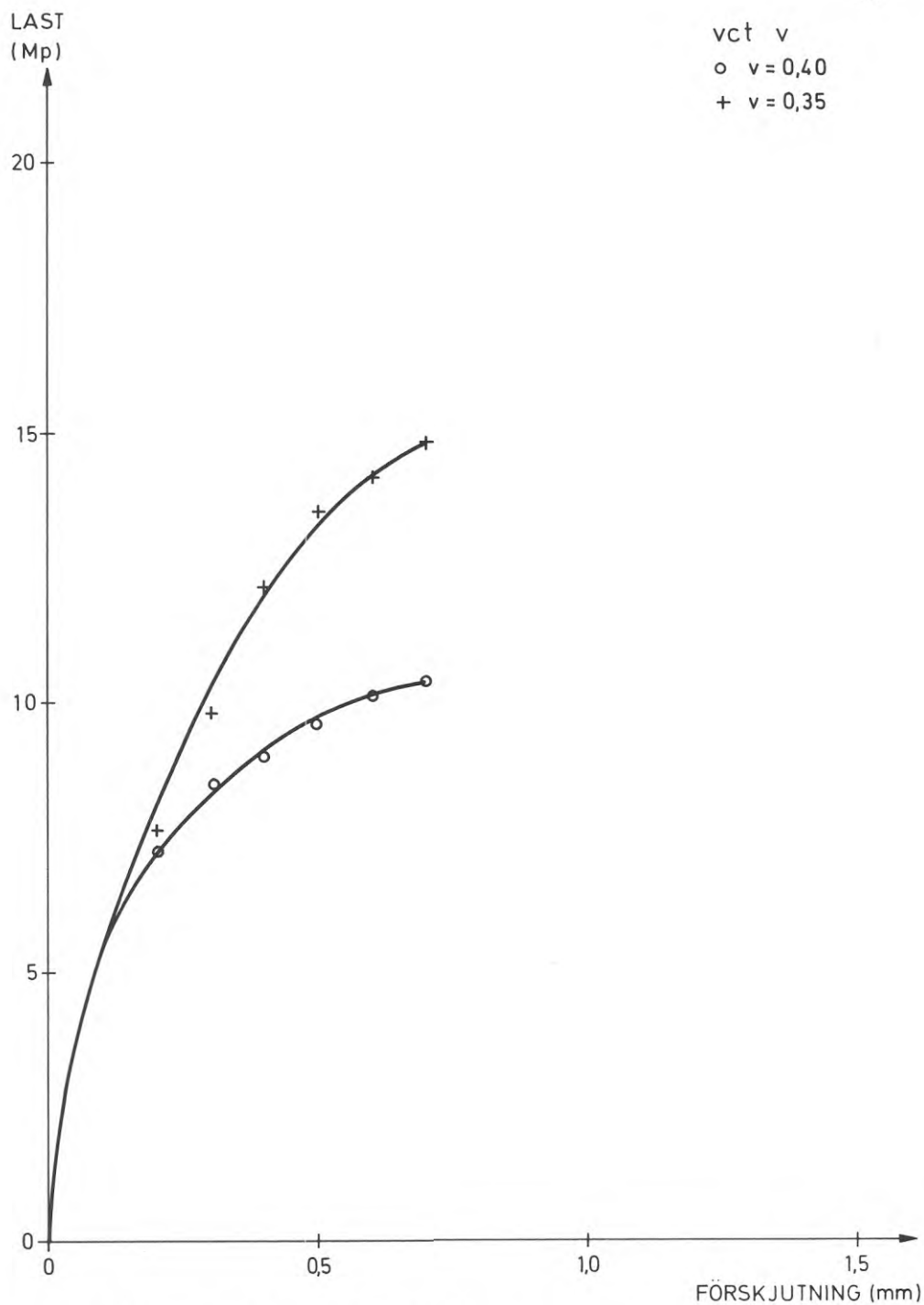
FIGUR 25 LAST-FÖRSKJUTNINGSDIAGRAM
 $\delta = F(25, 100, 1:1, V, 40, f, P)$
 FÖR OLIKA ν_{ct}



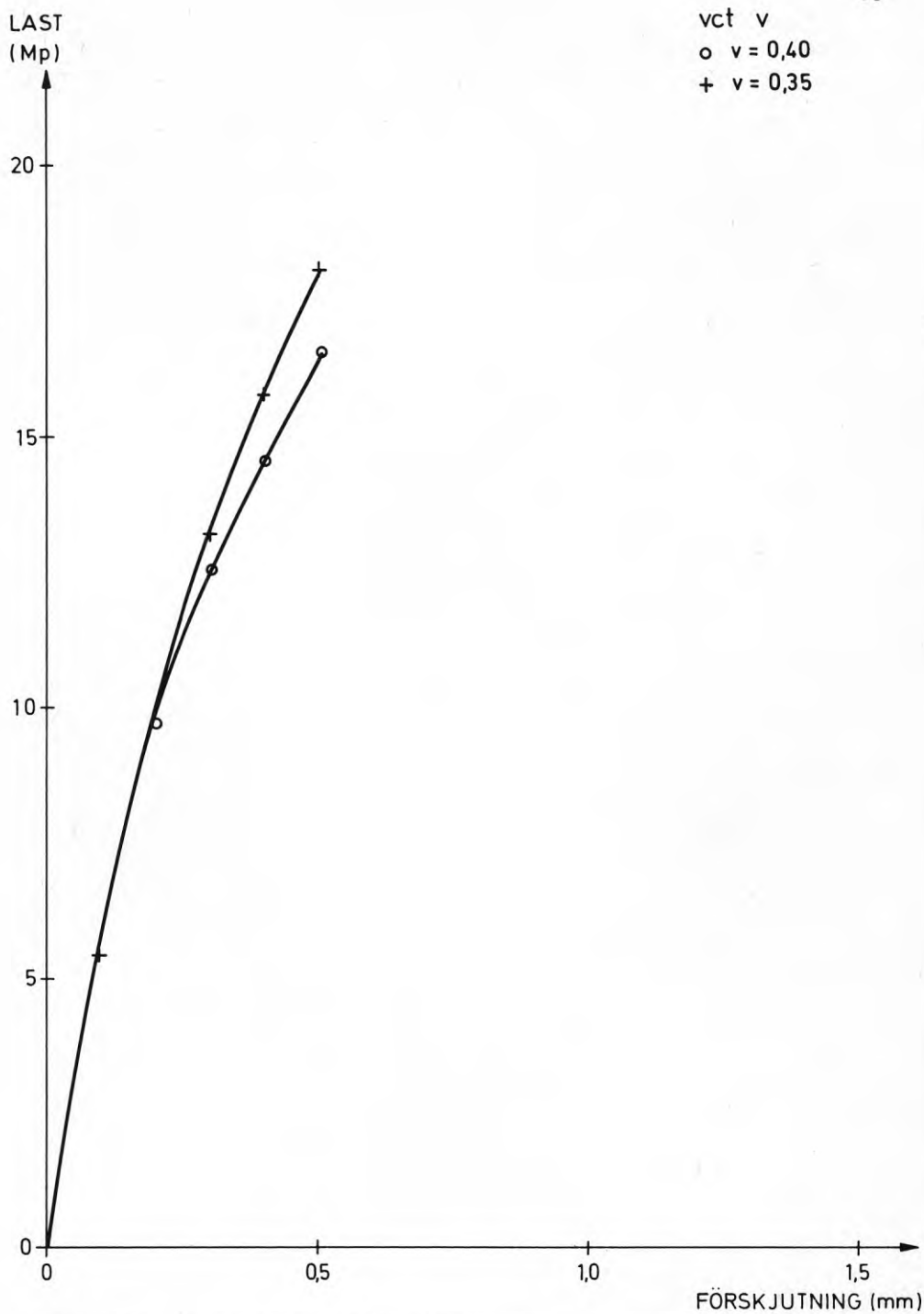
FIGUR 26 LAST-FÖRSKJUTNINGSDIAGRAM
 $\delta = F(25, 200, 1:1, V, 40, f, P)$
 FÖR OLIKA vct



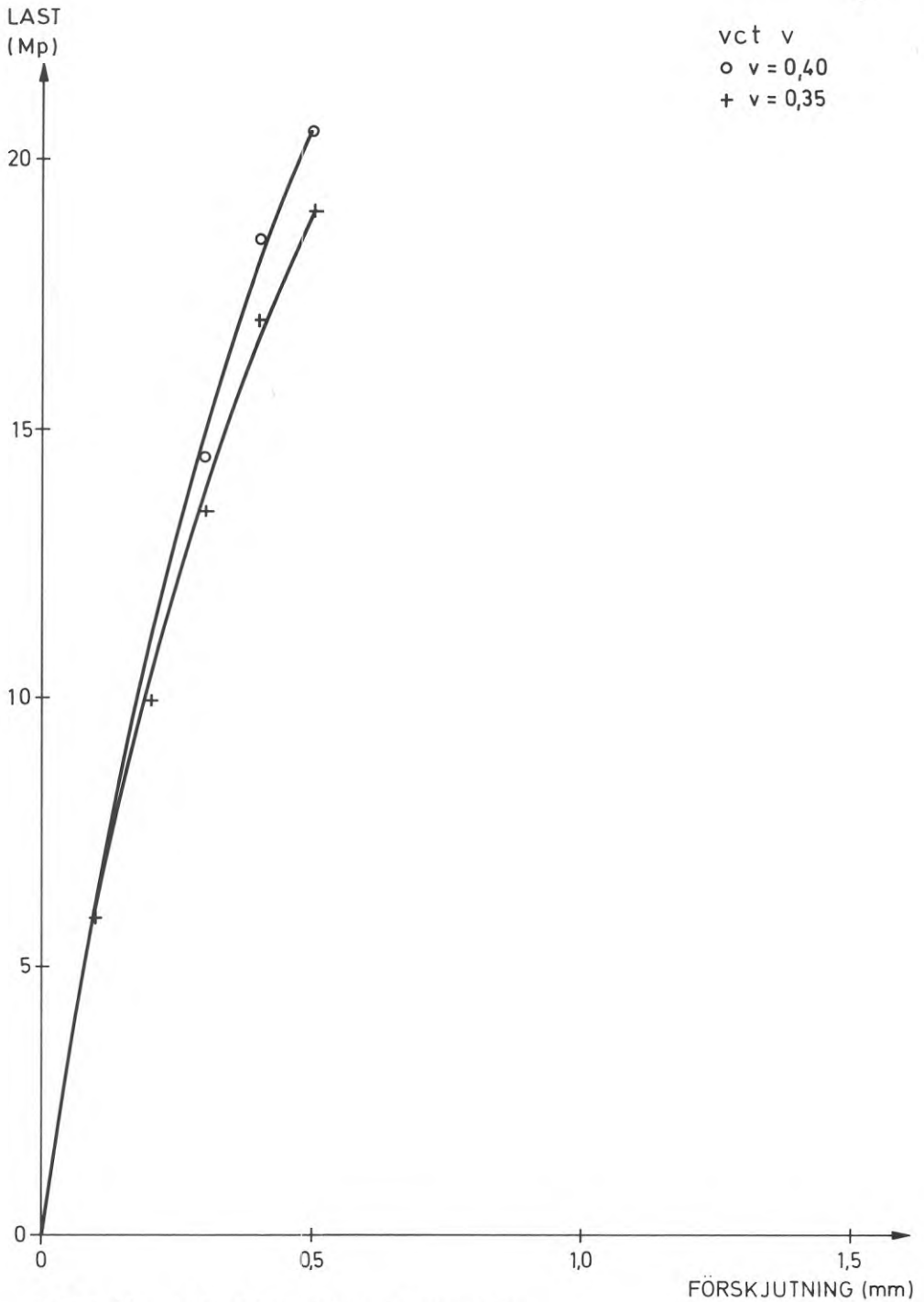
FIGUR 27 LAST-FÖRSKJUTNINGSDIAGRAM
 $\delta = F(25, 300, 1:1, V, 40, f, P)$
 FÖR OLIKA vct



FIGUR 28 LAST-FÖRSKJUTNINGSDIAGRAM
 $\delta = F (25, 300, 3:1, V, 60, f, P)$
 FÖR OLIKA vct



FIGUR 29 LAST-FÖRSKJUTNINGSDIAGRAM
 $\delta = F (25, 400, 3:1, V, 60, f, P)$
 FÖR OLIKA vct



FIGUR 30 LAST-FÖRSKJUTNINGSDIAGRAM
 $\delta = F (25, 400, 3:1, V, 60, f, P)$
 FÖR OLIKA vct

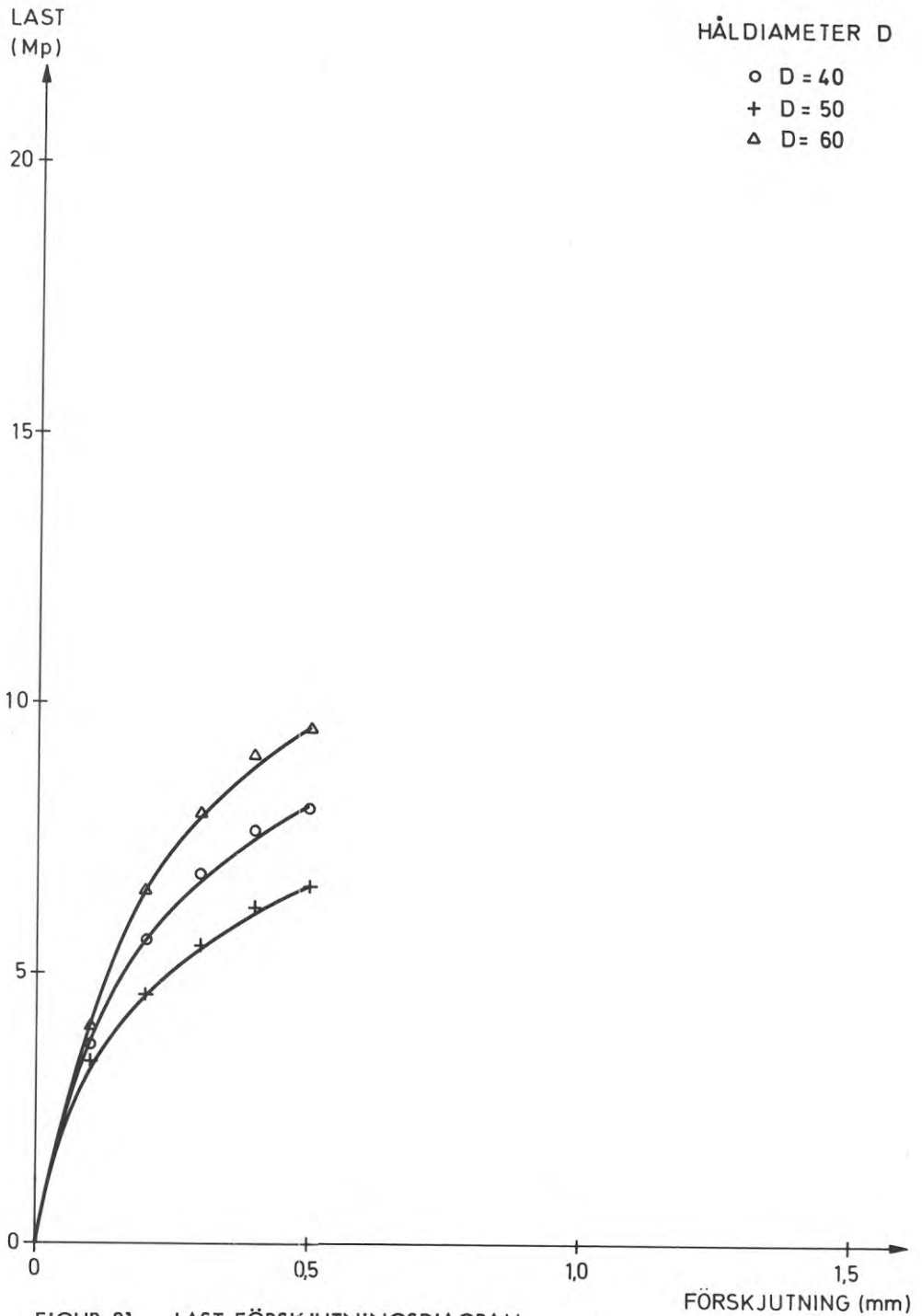
5.3 Håldiameter

Förbandens styvhet är som framgår av tidigare avsnitt i hög grad avhängigt brukets sammansättning. Vad man då i första hand tänker på är, att bruk med högre tryckhållfasthet möjliggör en större lastupptagning för förbanden. Överföringen av last från stängen till brukslamellerna sker i huvudsak genom kamverkan och friktion vilket förstärks om brukets hållfasthet förbättras.

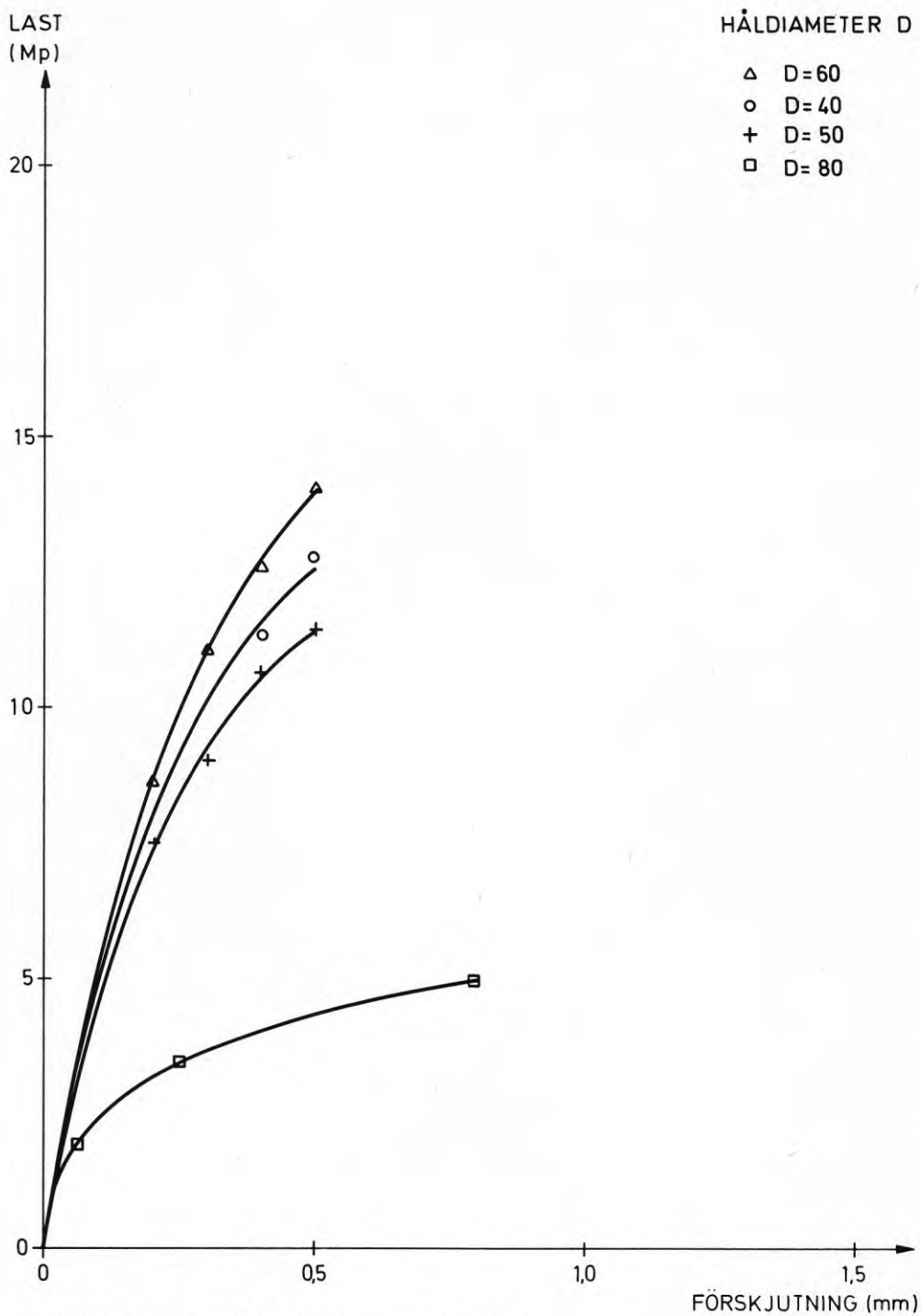
Vid utförda prov (figur 20) har det påvisats, att förskjutningen i förbandet som helhet till övervägande del sker i skiktet stål-injekteringsbruk. Adhesiva krafter aktiveras således, eftersom ingen glidning sker mellan betong och injektering, och överför krafterna från brukslamellerna till omgivande betong. Man frågar sig då om krympningseffekten för olika bruk minskar eller kanske t.o.m. helt spolierar vidhäftningen mellan betong och injekteringsbruk. Om så är fallet måste förbandets förskjutning som funktion av lasten radikalt förändras genom att totala förskjutningen skall summeras över två skikt.

Provningar med varierande borrhålsdiametrar utfördes för olika bruk med för varje bruk konstant vct. Vattencementtalen för de olika bruken valdes så att bruken antog en mycket slabbig konsistens vilket underlättar arbetsutförandet utan att för den skull minska brukets stabilitet. Samtliga hål var slagborrade och väl fuktade innan injekteringen utfördes. Som framgår av försöksresultaten förekommer avvikande resultat från dragprovningarna av stänger för de tre bruken (figurer 31 - 39). Bruk 1:1 och vattencementtal 0,5 visar att borrhålsdiametrarna D40, D50 och D60 ger resultat som i stort är likvärdiga. Spridningen är något stor för de kortare injutningslängderna men det är i sig inget anmärkningsvärt när man rör sig med vidhäftningsförsök.

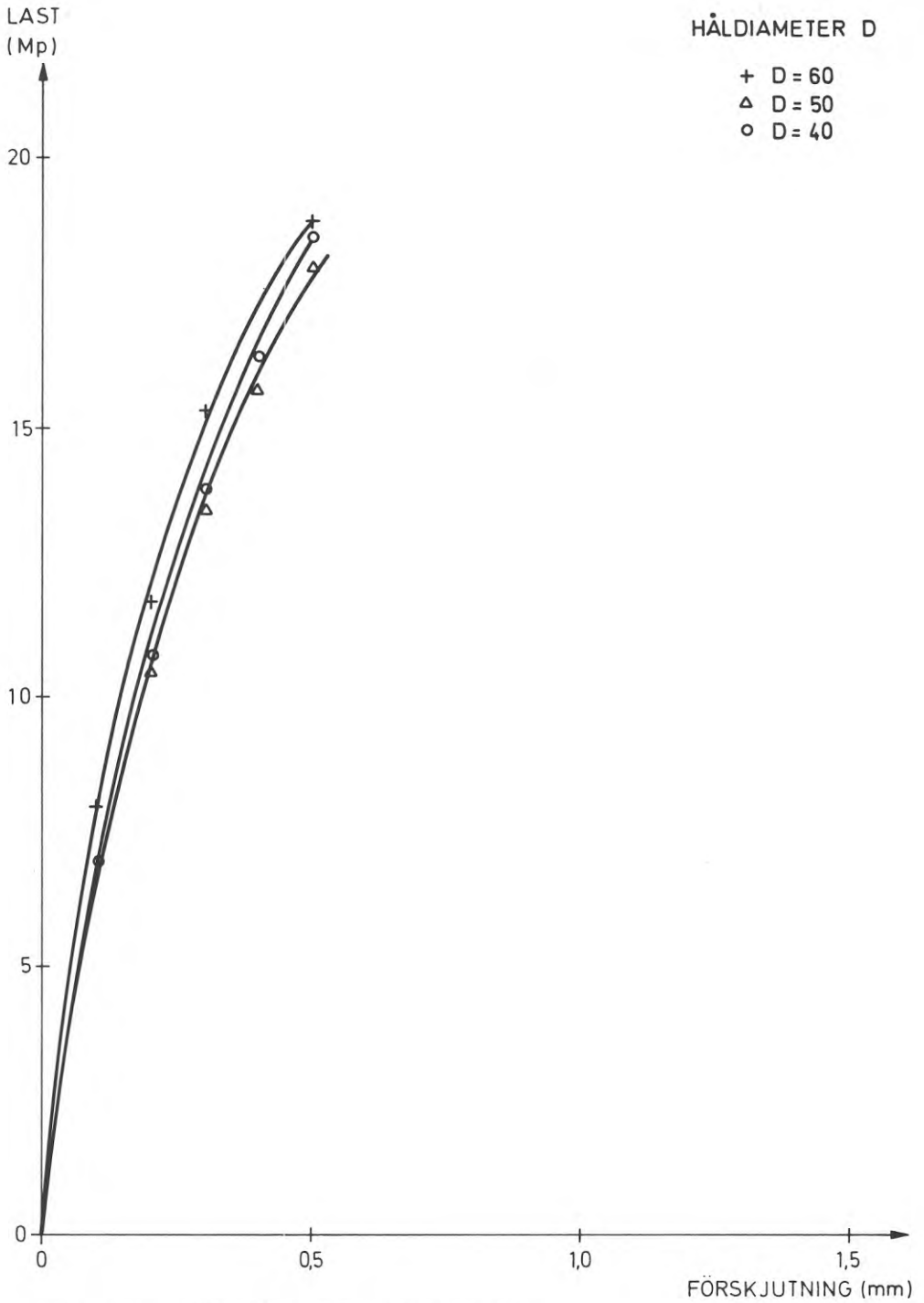
En senare utförd provserie om 3 enskilda försök med borrhålsdiameter D80 och injutningslängd 300 mm resulterade i en avsevärd hållfasthetsförlust. Under provningen med denna senare provserie kunde iaktas förskjutning mellan injektering och betong och, att vid brott injekteringscylindern drogs ur borrhålet.



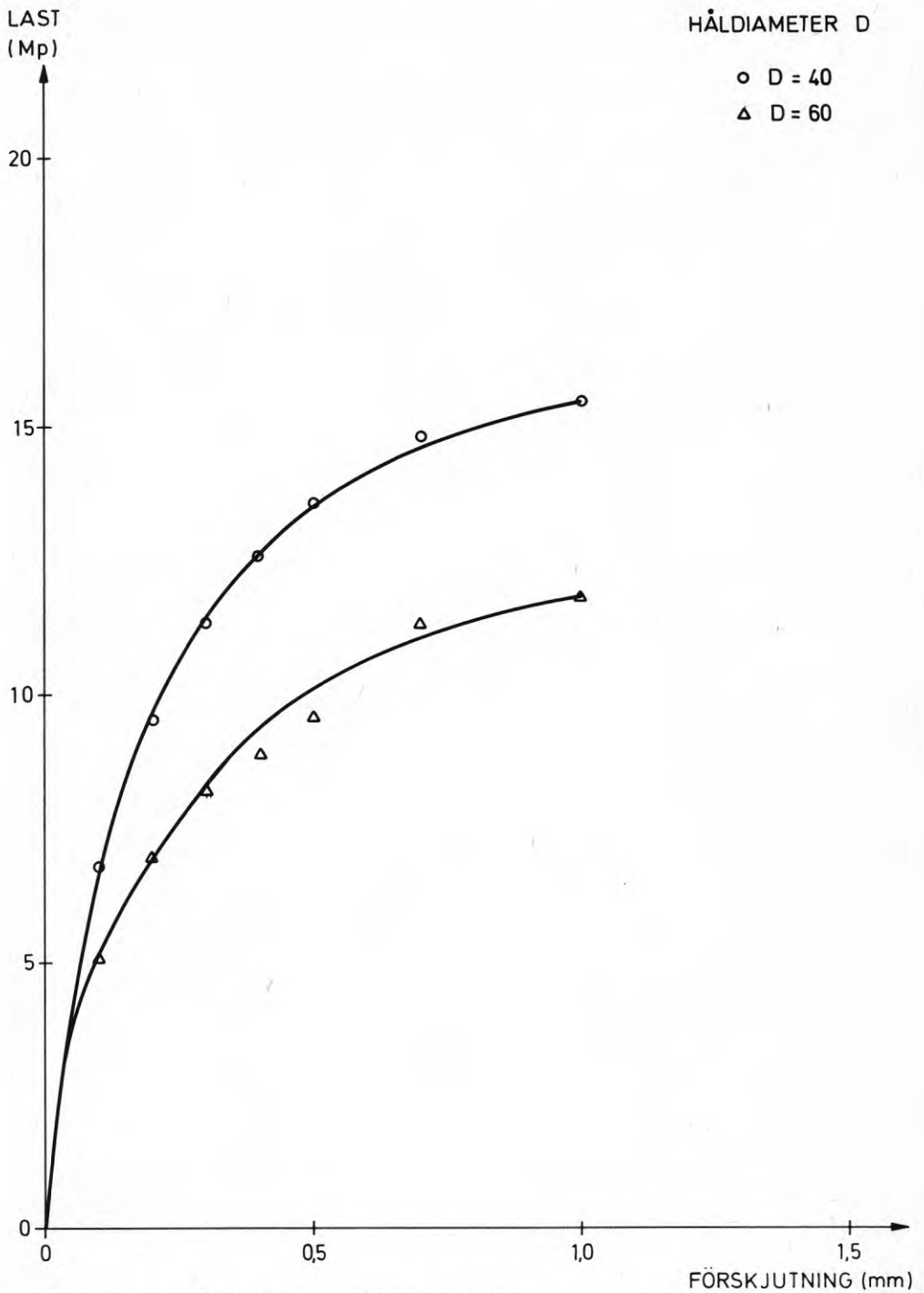
FIGUR 31 LAST-FÖRSKJUTNINGSDIAGRAM
 $\delta = F (25, 200, 1:1, 0,5, D, f, P)$
 FÖR OLIKA HÅLDIAMETRAR



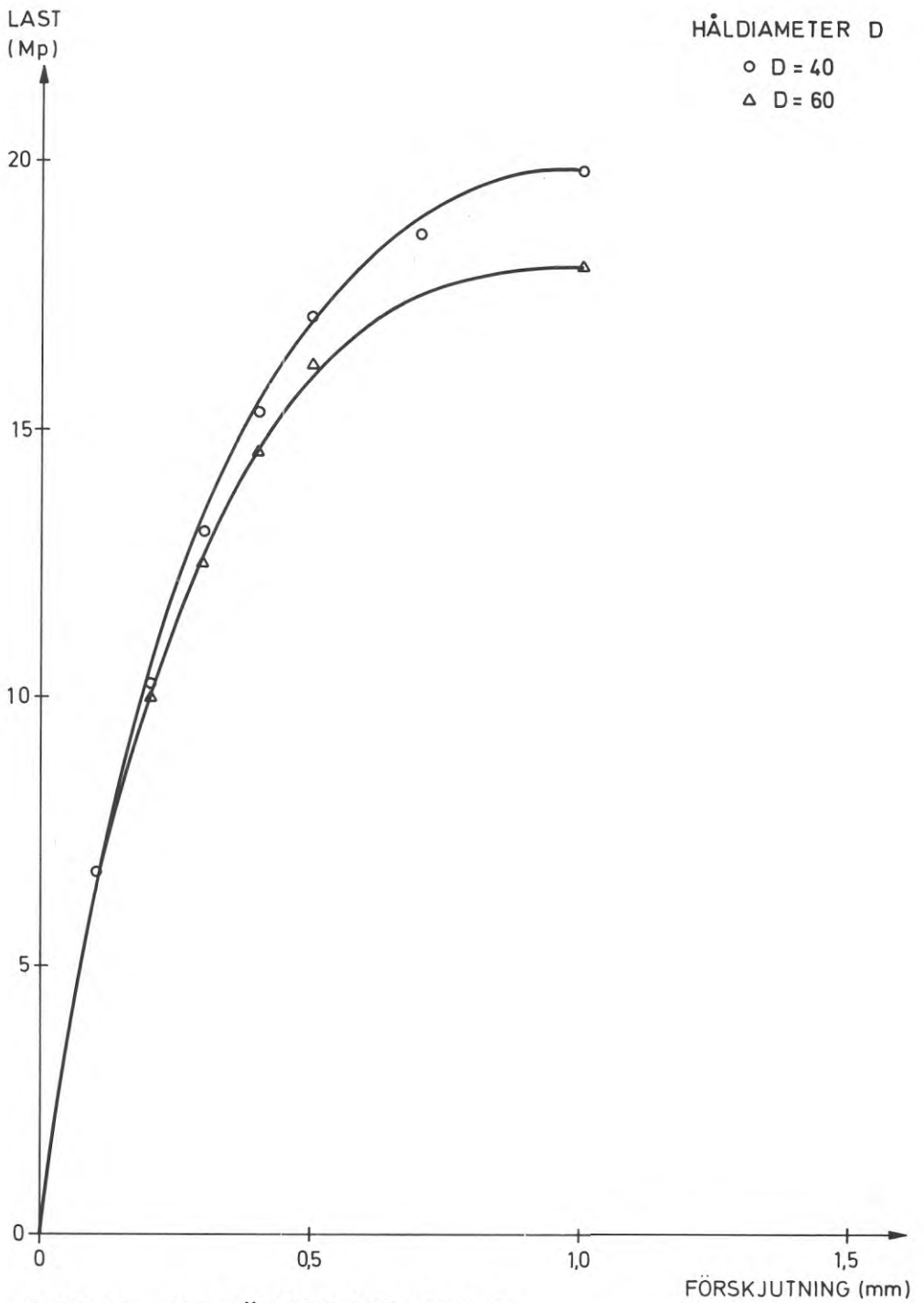
FIGUR 32 LAST-FÖRSKJUTNINGSDIAGRAM
 $\delta = F(25, 300, 1:1, 0,5, D, f, P)$
 FÖR OLIKA HÅLDIAMETRAR



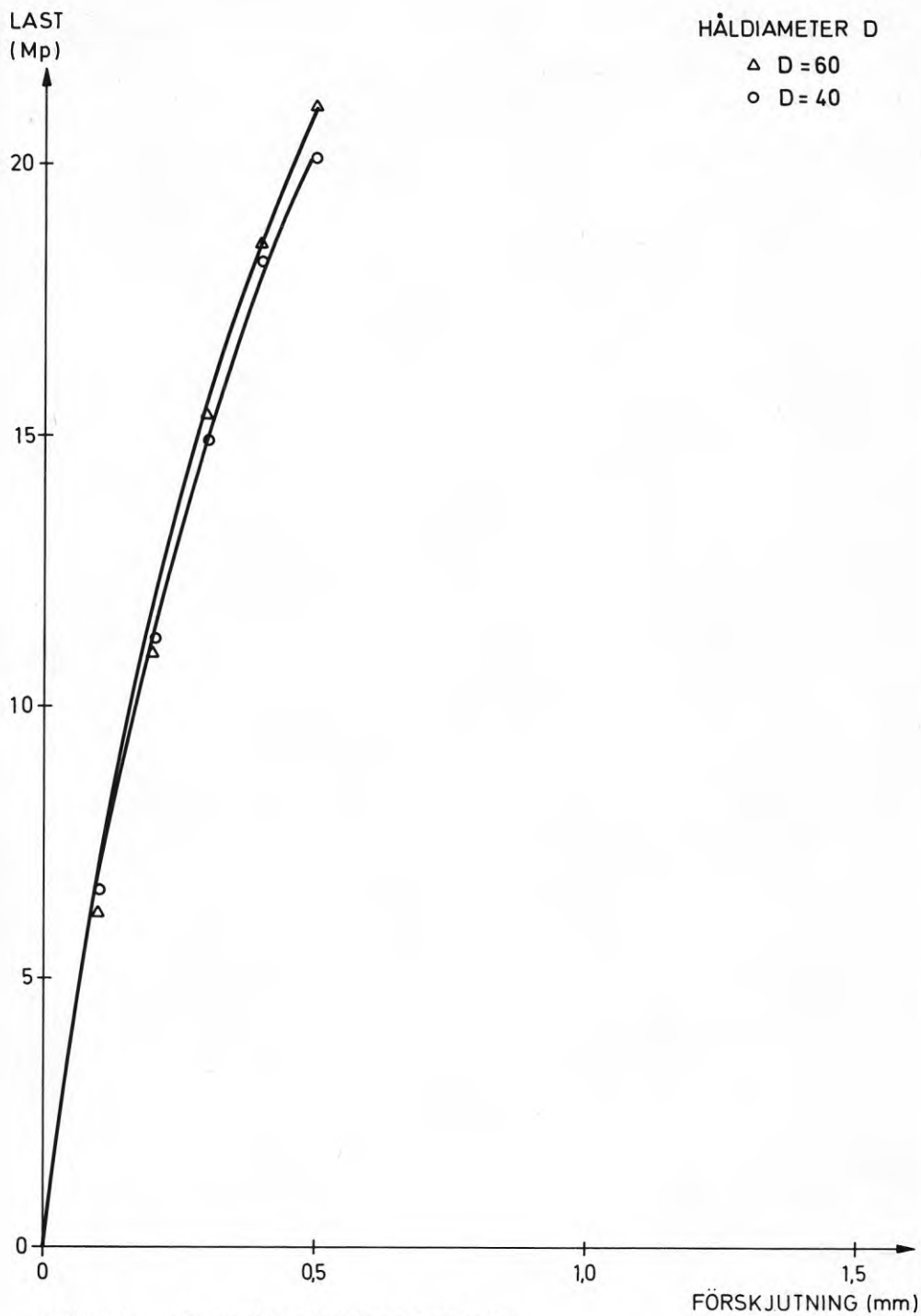
FIGUR 33 LAST-FÖRSKJUTNINGSDIAGRAM
 $\delta = F(25, 400, 1:1, 0,5, D, f, P)$
 FÖR OLIKA HÅLDIAMETRAR



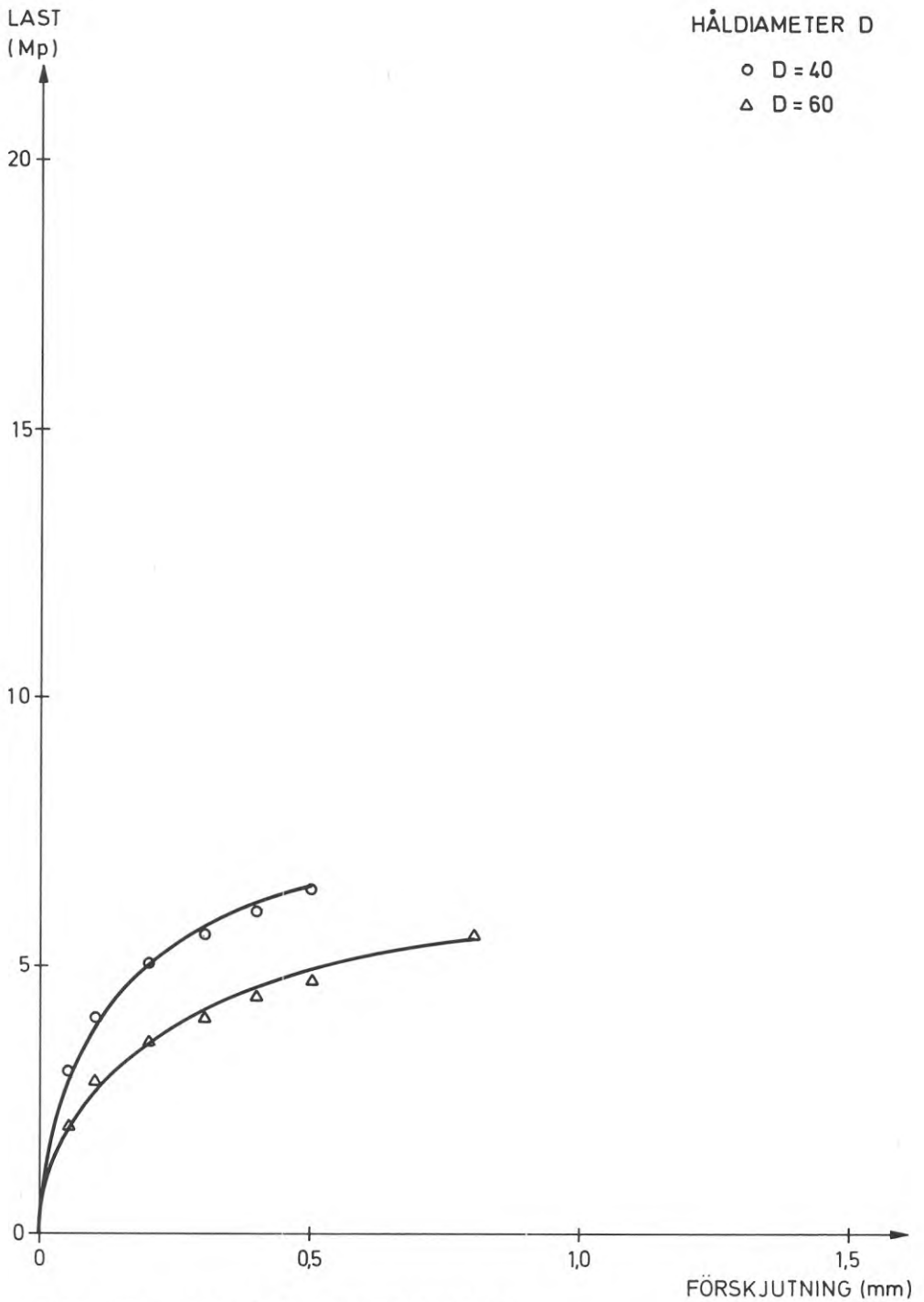
FIGUR 34 LAST-FÖRSKJUTNINGSDIAGRAM
 $\delta = F(25, 200, 3:1, 0,4, D, f, P)$
 FÖR OLIKA HÅLDIAMETRAR



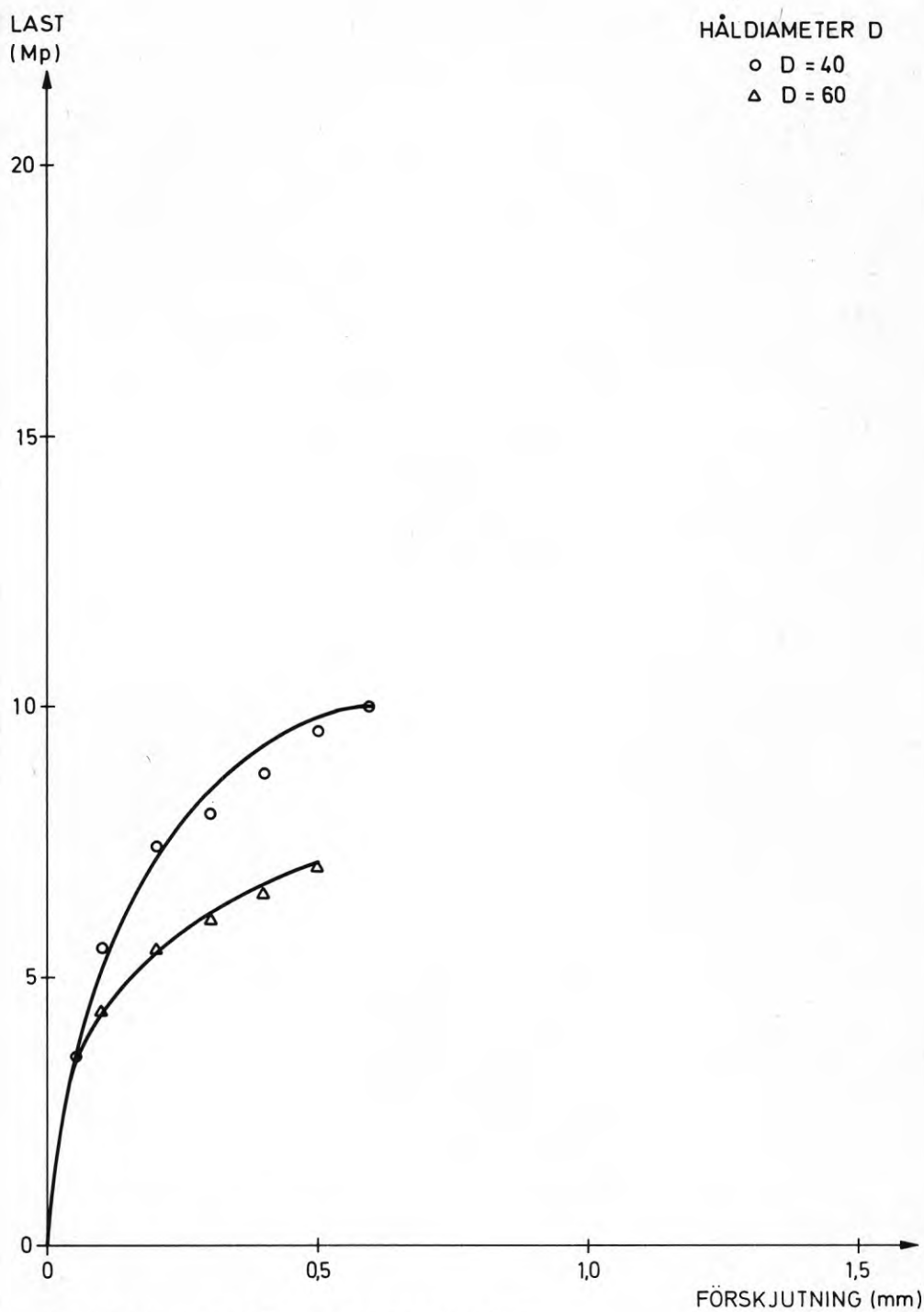
FIGUR 35 LAST-FÖRSKJUTNINGSDIAGRAM
 $\delta = F(25, 300, 3:1, 0,4, D, f, P)$
 FÖR OLIKA HÅLDIAMETRAR



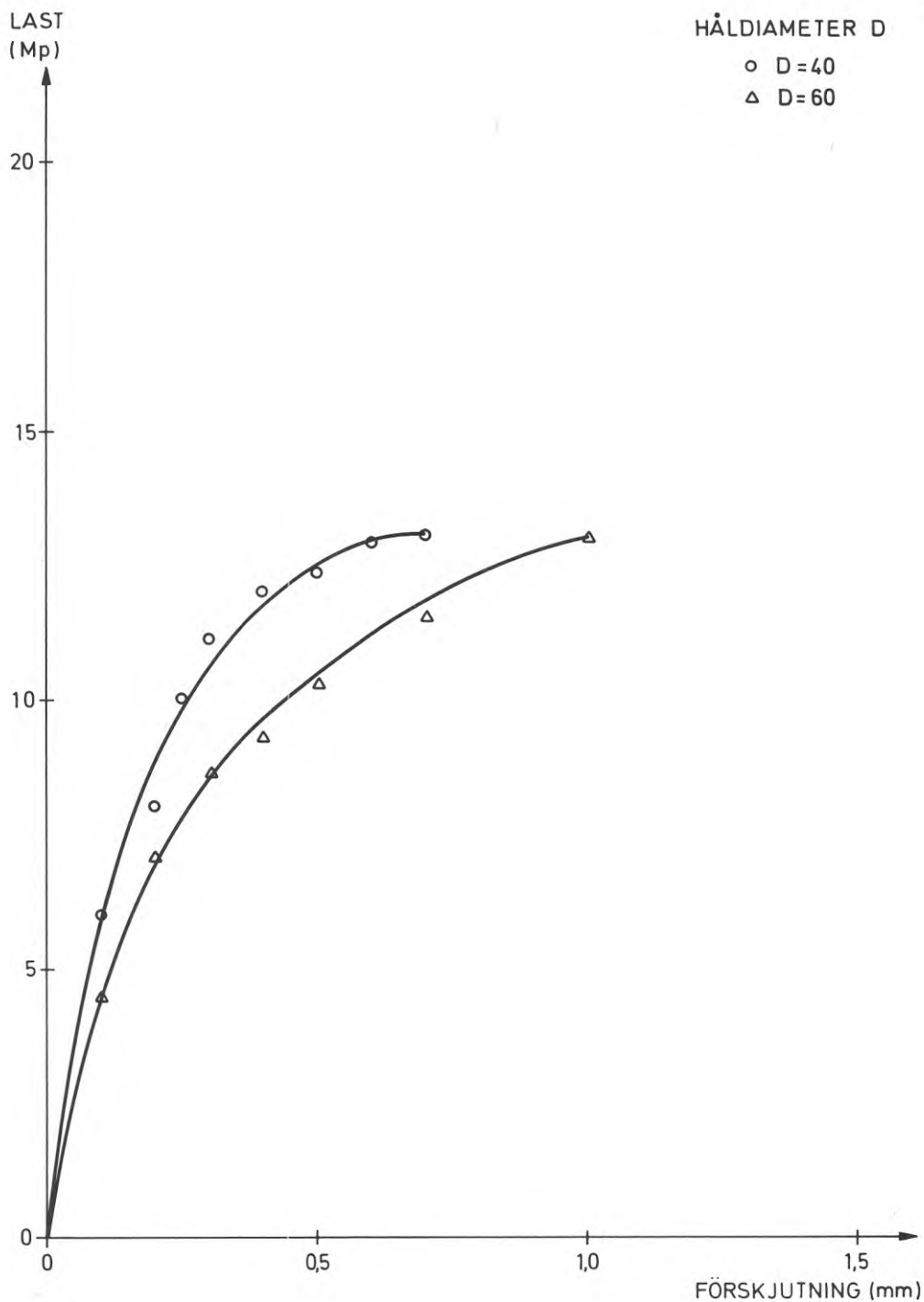
FIGUR 36 LAST-FÖRSKJUTNINGSDIAGRAM
 $\sigma = F(25, 400, 3:1, 0,4, D, f, P)$
 FÖR OLIKA HÅLDIAMETRAR



FIGUR 37 LAST-FÖRSKJUTNINGSDIAGRAM
 $\delta = F(25, 200, 1:3, 0,7, D, f, P)$
 FÖR OLIKA HÅLDIAMETRAR



FIGUR 38 LAST-FÖRSKJUTNINGSDIAGRAM
 $\delta = F(25, 300, 1:3, 0,7, D, f, P)$
 FÖR OLIKA HÅLDIAMETRAR

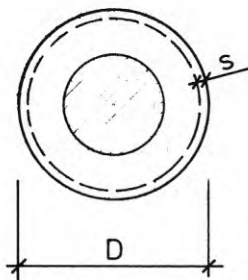


FIGUR 39 LAST-FÖRSKJUTNINGSDIAGRAM
 $\delta = F(25, 400, 1:3, 0,7, D, f, P)$
 FÖR OLIKA HÅLDIAMETRAR

Krympningen kan misstänkas ha haft ett avgörande inflytande på provningsresultatet. Genom att injekteringsbruket krymper ökar avståndet mellan brukslameller och betong, vilket innebär att de molekylära attraktionskrafterna avtar längs ytskiktet. Då ingen kamverkan eller friktion kan påräknas har förbandet att så gott som helt lita till adhesionen i det yttre skiktet. Enligt försök av S.T.A ÖDMAN kan krympningen beräknas ur uttrycket

$$S = k \cdot \mu \cdot D \quad K = 11 \cdot 10^{-3}$$

där μ är en variabel beroende av andel ballast/cementpasta samt av vattencementtalets storlek. Tabell 6 visar att krympningen är cirka 4 gånger större vid borrhålsdiameter D80 jämfört med D40.

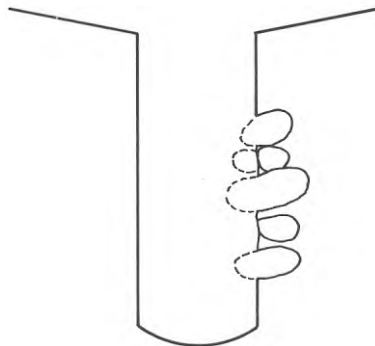


D	S	$\frac{S}{S_D = 40}$
40	0,0107	1,00
50	0,0170	1,59
60	0,0250	2,34
80	0,0400	3,75
MM	MM	

TABELL 6 BERÄKNADE KRYMPMÅTT S FÖR INJEKTERINGSBRUK.
KAMSTÅNG \varnothing 25, BRUK 1:1, vct 0,5

Krympningen skall också sättas i relation till borrhålets ytskrovlighet. Uppenbart finns här ett samband mellan borrhålets ytbeskaffenhet och krympningen. Borrhålets irregularitet i yttexturen bestäms av hårdheten hos den hårdnande betongen. Borren skär genom den hårda betongen och efterlämnar ett hål som är lika med borrets diameter. Emellertid, när de inbäddade ballastkornen slås bort finns en tendens till att borrhålet blir överstort i dessa punkter. Effekten av detta blir att efter igengjutningen uppkommer en form av oavsiktlig kamverkan (figur 40). När krympningen av bruket når ett värde som är så stort att effekten av den gynnsamma ytbeskaffenheten förtas inträffar glidning längs ytan.

För bruk 3:1 och 1:3 för vilka provningar enbart utförts med borrhålsdiametrarna D40 och D60 finner man att lastupptagningen vid de kortare ingjutningslängderna är sämre för D60 jämfört med D40. Fetare bruk har som regel större krympningstendens varför bruk 3:1 som är fetare än bruk 1:1 ger en krympningseffekt som är påvisbar redan vid håldiametrar större än D60. Det är svårare att uttala sig om bruk 1:3 för vilket krympningen borde vara mindre accentuerat än för bruk 3:1. En försiktig bedömning är att vattencementtalet har spelat in, som vid gjutningen uppgick till 0,7. Försök gjorda av olika forskare har nämligen visat att vid given mängd cementpasta ökar krympningen något med ökande vct.



FIGUR 40 IRREGULARITETER I BORRHÅLETS VÄGGAR ÖKAR VIDHÄFTNINGEN MELLAN BRUK OCH BETONG

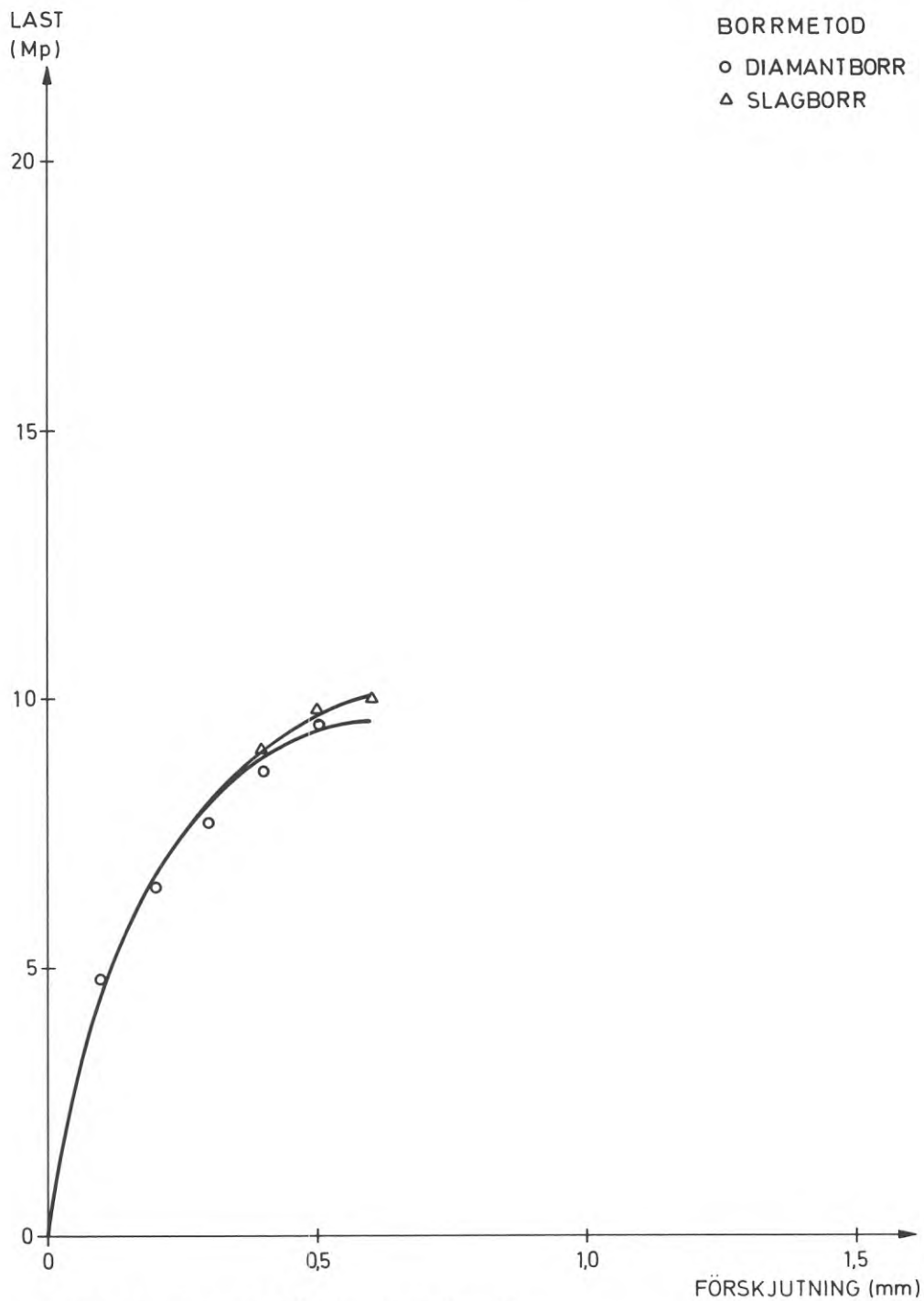
5.4 Diamant- resp. slagborrade hål

Med olika bormetoder erhålles förändrade karakteristika vad gäller hålväggens beskaffenhet. Förändringar av borrhålets yttextur kan öka eller minska kontaktytan mellan brukslamellerna och omgivande betong. Detta medför att de adhesiva krafterna påverkas, då de alltid är direkt proportionella mot kontaktytan. Genom att förändra hålväggens skrovlighet kan således förbandets styvhet påverkas positivt eller negativt. I anspråk tagen friktionskoefficient influeras likaledes av ytans skrovlighet.

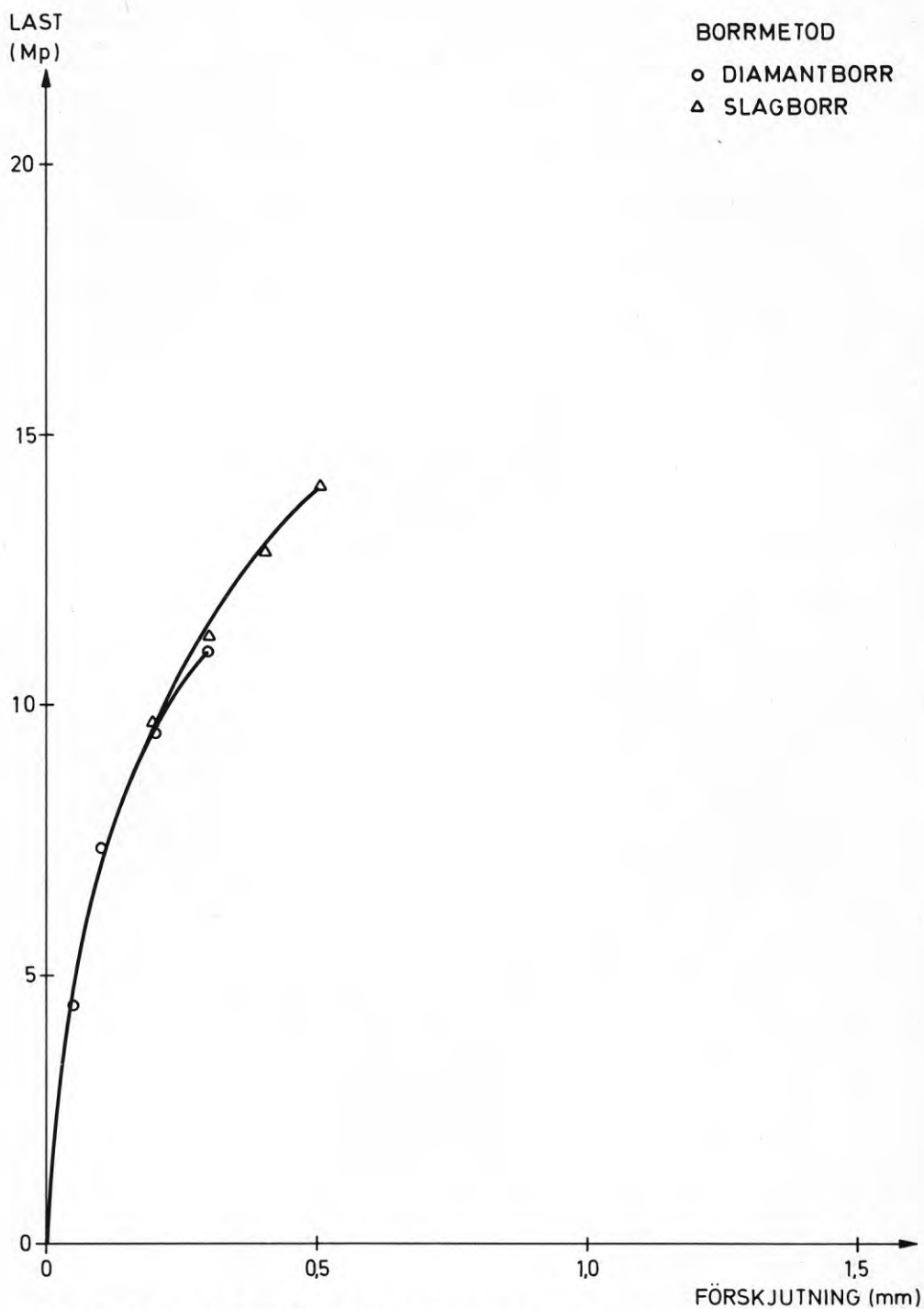
För att utröna huruvida slagborrade eller diamantborrade hål medför sämre eller bättre vidhäftningsegenskaper, utfördes en provserie med tre enskilda försök i varje försöksgrupp med en och samma injutningslängd. Håldiametern valdes till D60 och bruk 1:1 med vct 0,5, hålen var dessutom väl rengjorda och fuktade 1 dygn innan påbörjad gjutning. Därvid befanns att avvikelserna mellan slagborrade och diamantborrade hål inte gav någon inbördes skillnad vid jämförelse mellan dess förbands hållfasthet vid lastpåverkan (figurer 41 - 43).

Diamantborrade hål syns dock ge en något större deformation vid last över 7 ton. Förklaringen är troligtvis att de diamantborrade hålen, vars hålväggar var mycket släta, givit efter i det yttre skiktet mellan betong och injekteringsbruk. Vid uppnåendet av en viss last bryts då det adhesiva sambandet i ytan och en glidning inträder i förbandet, med följdverkan att förbandets deformation måste summeras över två skikt.

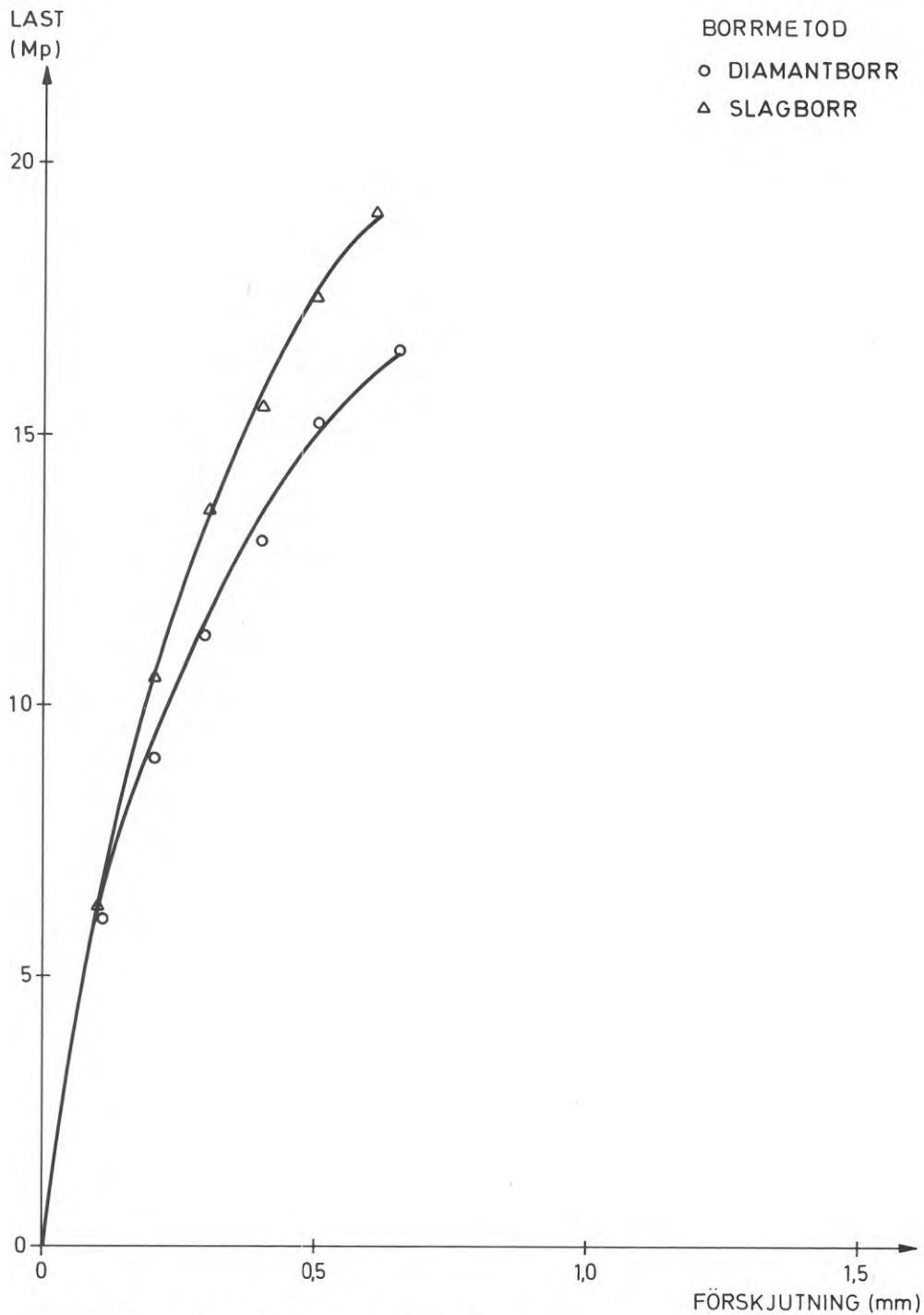
Efter vad som framgick ur avsnitt 5.3 där krympningen påvisats ge försämrade provningsresultat bör viss försiktighet iakttas vad beträffar diamantborrade hål. Borrhålens släta väggar i kombination med ett krympande bruk riskerar att ge nedsatt lastupptagning för injekterad stång.



FIGUR 41 LAST-FÖRSKJUTNINGSDIAGRAM
 $\delta = F (25, 200, 1:1, 0,5, 60, f, P)$
 FÖR OLIKA BORRMETODER



FIGUR 42 LAST-FÖRSKJUTNINGSDIAGRAM
 $\delta = F (25, 300, 1:1, 0,5, 60, f, P)$
 FÖR OLIKA BORRMETODER



FIGUR 43 LAST-FÖRSKJUTNINGSDIAGRAM
 $\delta = F(25, 400, 1:1, 0,5, 60, f, P)$
 FÖR OLIKA BORRMETODER

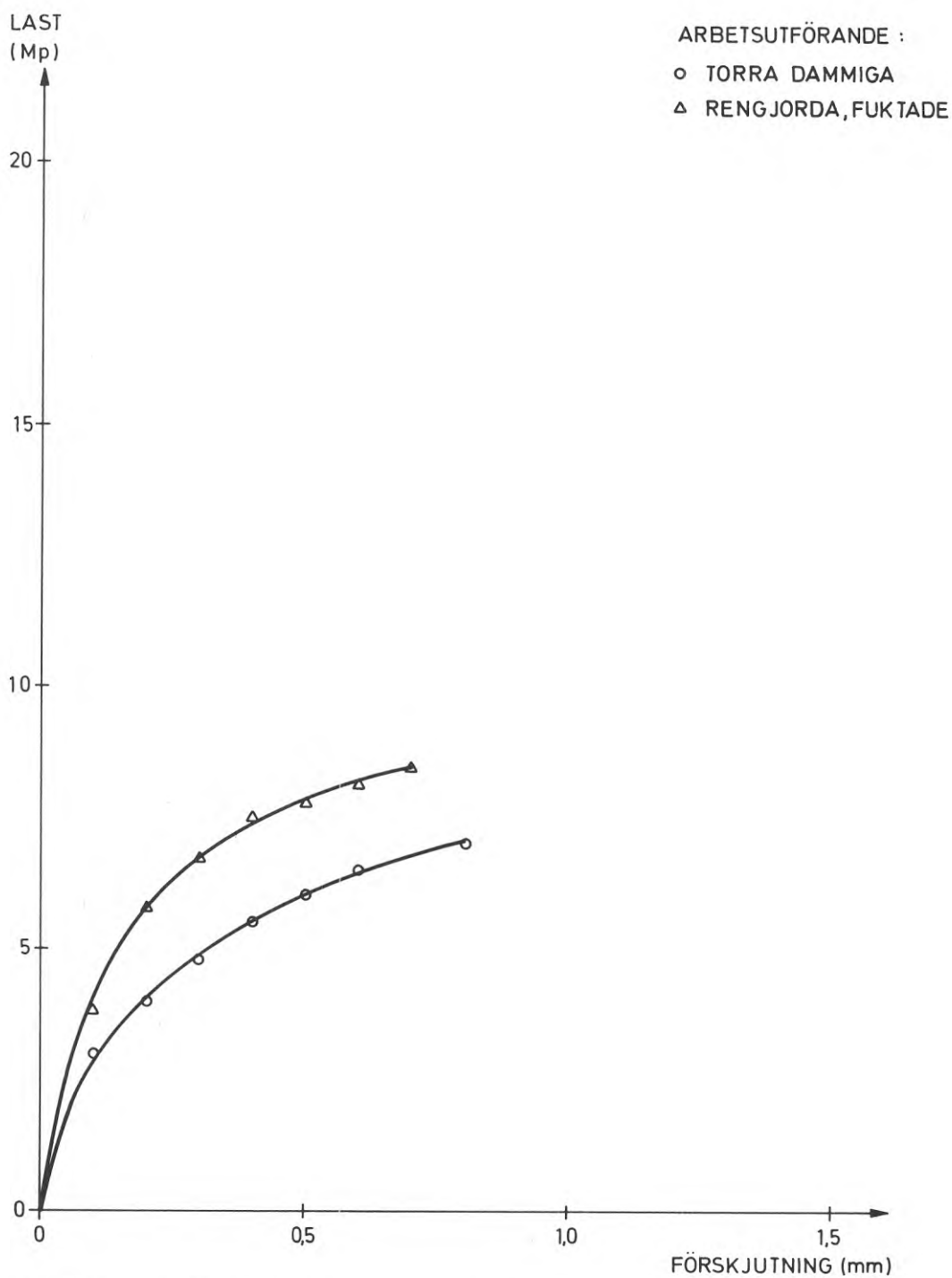
5.5 Arbetsmetodik

Arbetsutförandet är den parameter som är svårast att få grepp om och att kunna kontrollera, vilket i hög grad förklarar spridningen mellan enskilda försök. Som tidigare klargjorts är förbandets styvhet beroende av en rad parametrar vilka inverkar på dess hållfasthet i bruks- och brottstadiet. Under förutsättning att man vill åstadkomma ett funktionellt förband måste även beaktas hur och under vilka omständigheter injekteringen äger rum.

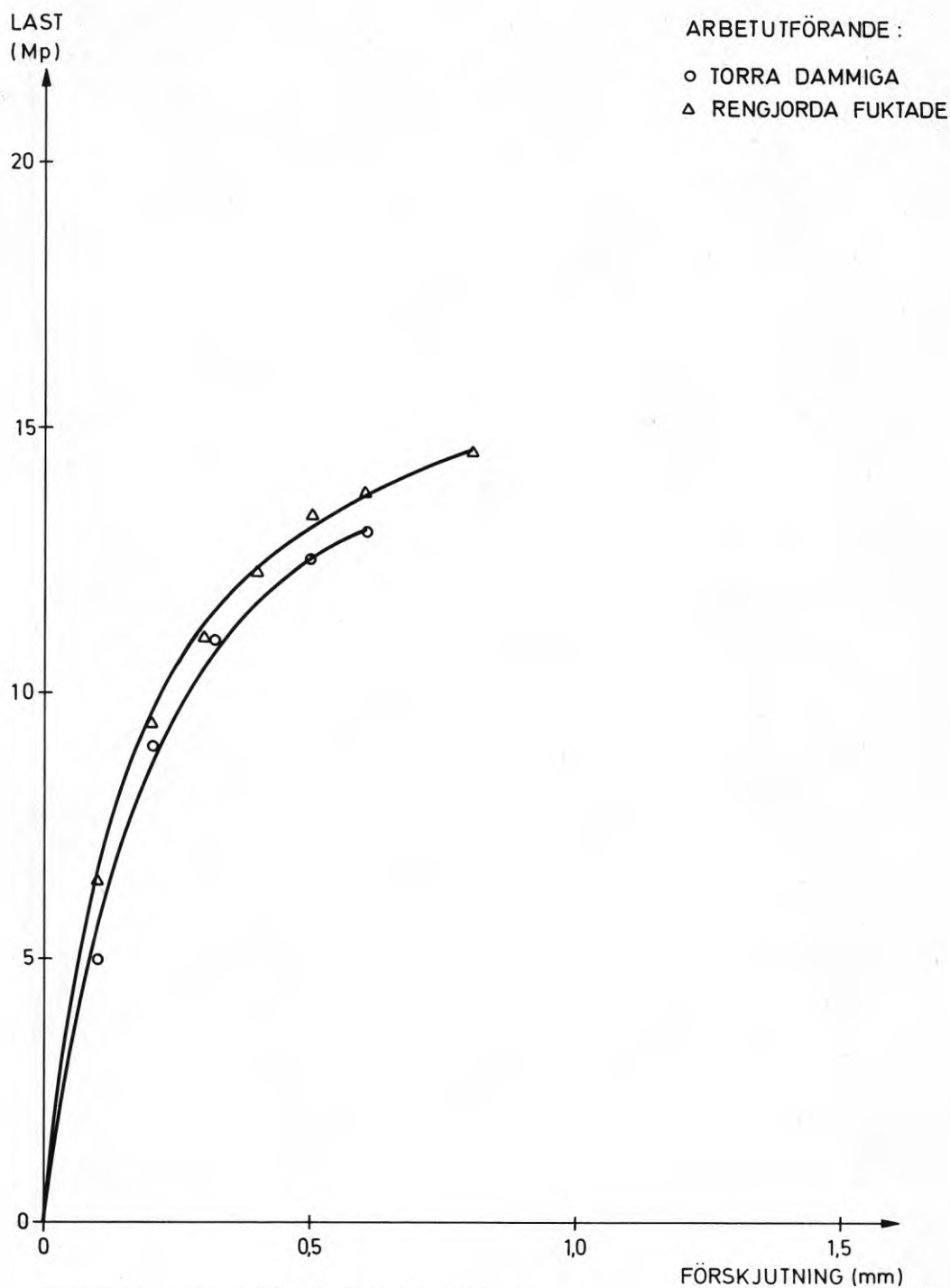
Många frågeställningar omkring hur arbetet vid injekteringen bör bedrivas kan dras fram. Några intressanta aspekter är hur förband fungerar där inte borrhålen rengörs och fuktas minst 1 dygn innan gjutningen utföres. Vad händer om man inte blåser rent hålen från överskottsvatten innan påbörjad gjutning, och har det någon betydelse för hållfastheten om stängerna står an mot hålkanten och inte står helt vertikalt i borrhålet.

Försöken behandlande variationer i arbetsmetodik syftar främst till att klarlägga hur torra dammiga hål påverkar färdiga förbands styvhet i jämförelse med försök med fuktade hål. Genomgående används bruk 1:1 och vct 0,5, borrhålsdiametrar D40 och D60 samt kamstål \varnothing 25. Utdragsprovningarna resulterade därvid i, att torra dammiga hål inte fungerar lika bra som fuktade rengjorda hål (figurer 44 - 49). Skillnaden är dock inte lika uppenbar för hål med diameter D40 som för hål med diameter D60. Vid utdragsprovningen lossnade kamstålet med kring-sittande lameller från betongblocket. Vidhäftningen upphörde således helt att verka vid högre last för de prov som utförts med torra dammiga hål.

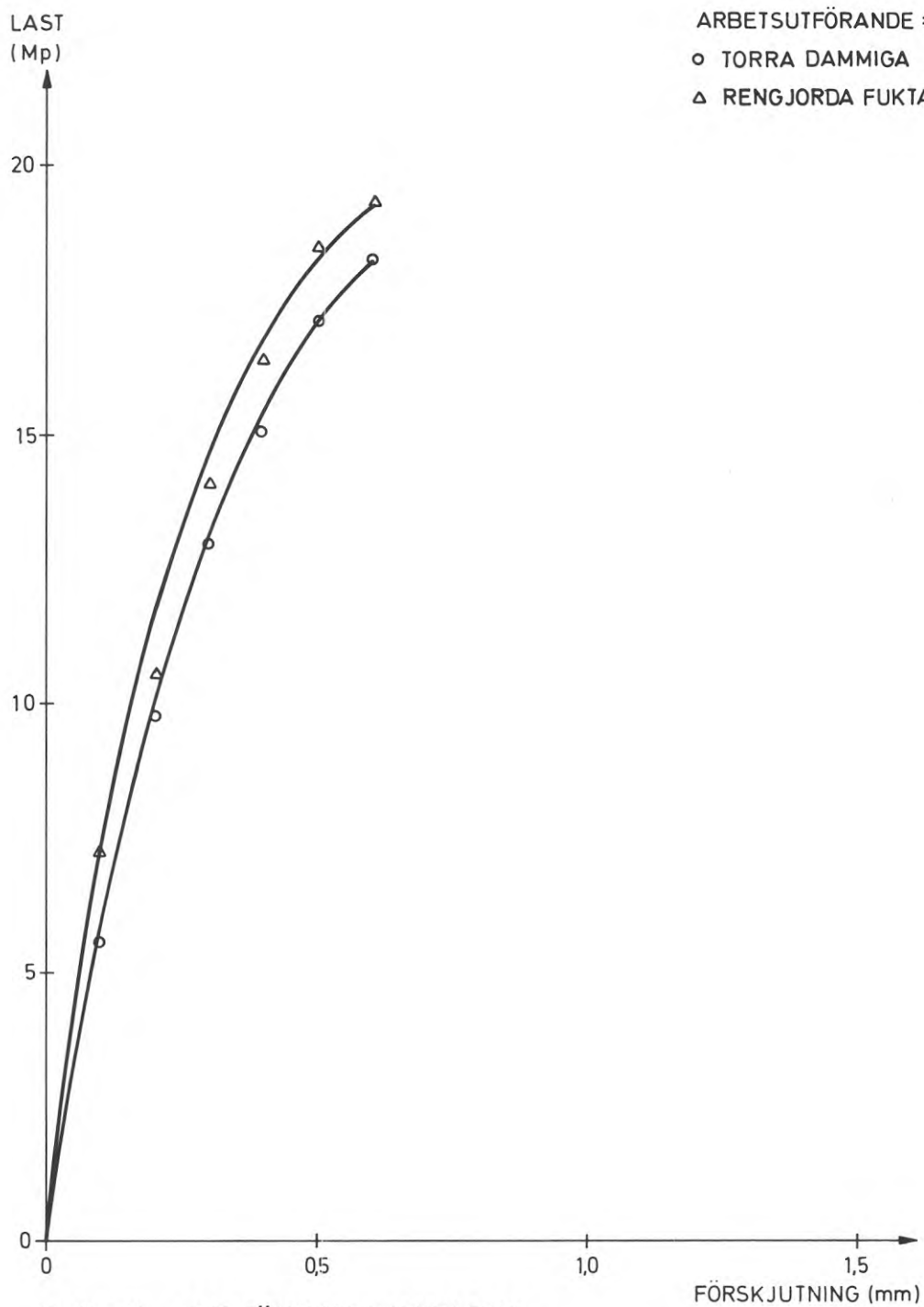
Man vet genom olika forskare (bl.a. GLANVILLE) att de adhesiva krafterna påverkas av lagringsförhållanden och av omgivande relativ fuktighet. Det är uppenbart så att de torra hålväggarna sugit åt sig vatten ur bruket, vilket därigenom snabbt torkat ut och medfört att bindetiden för bruket minskat. Denna uttorkning har påskyndat och förstärkt krympningen hos injekteringsbruket och därmed brutit det adhesiva sambandet längs hålväggen.



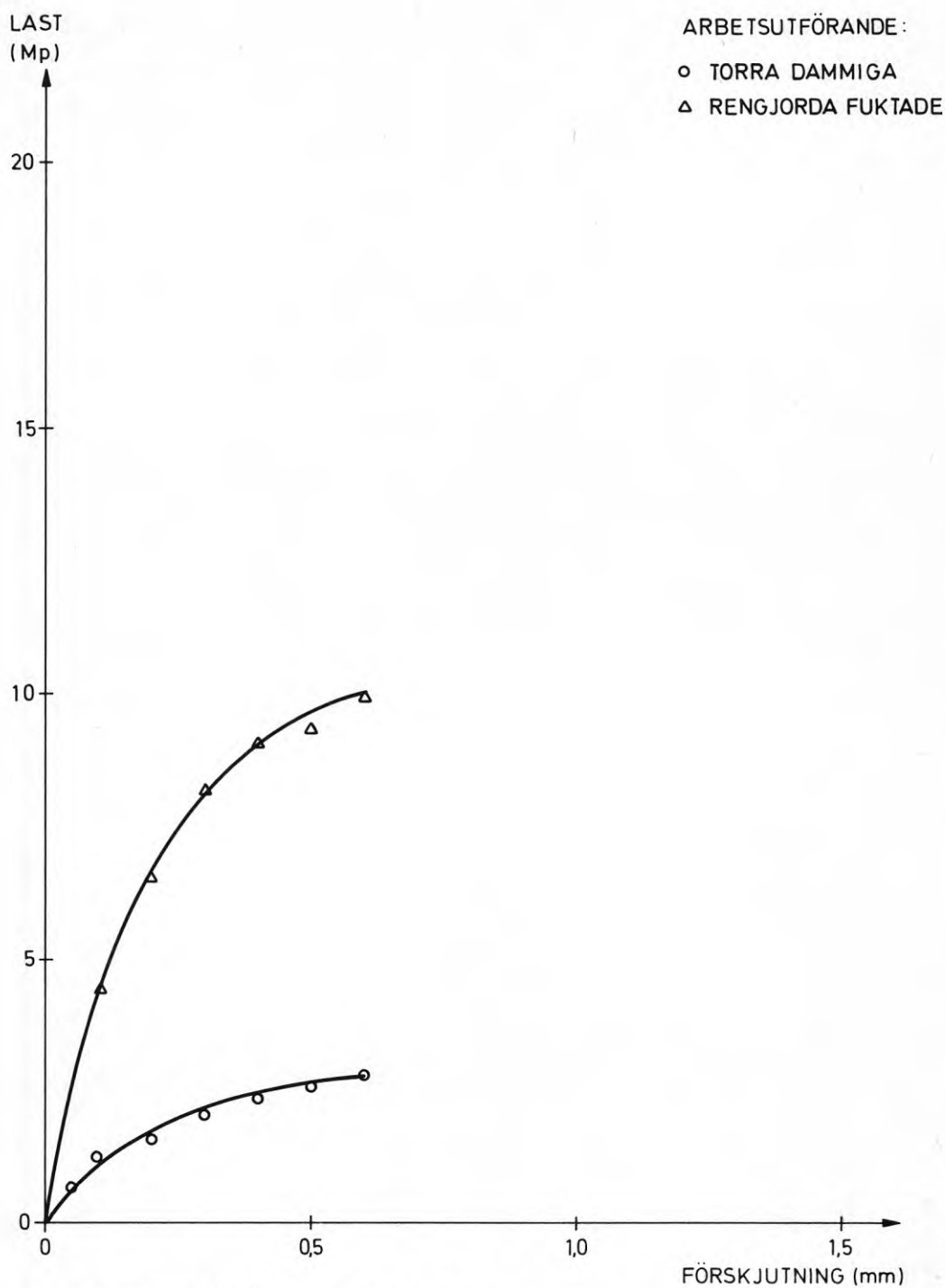
FIGUR 44 LAST-FÖRSKJUTNINGSDIAGRAM
 $\delta = F (25, 200, 1:1, 0,5, 40, \text{of}, P)$
 FÖR OLIKA ARBETSUTFÖRANDE



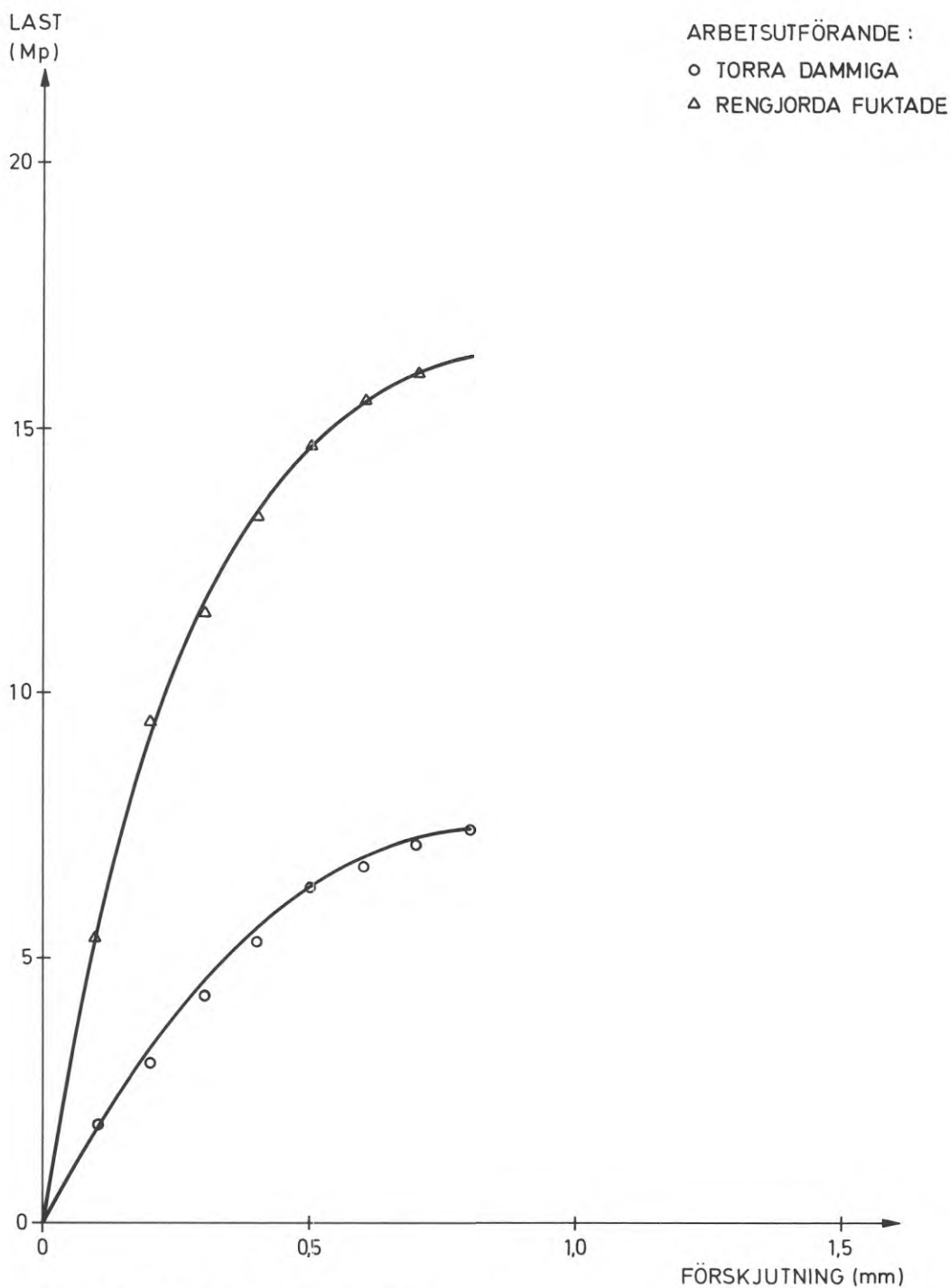
FIGUR 45 LAST-FÖRSKJUTNINGSDIAGRAM
 $\delta = F (25, 300, 1:1, 0,5, 40, \text{of}, P)$
 FÖR OLIKA ARBETSUTFÖRANDE



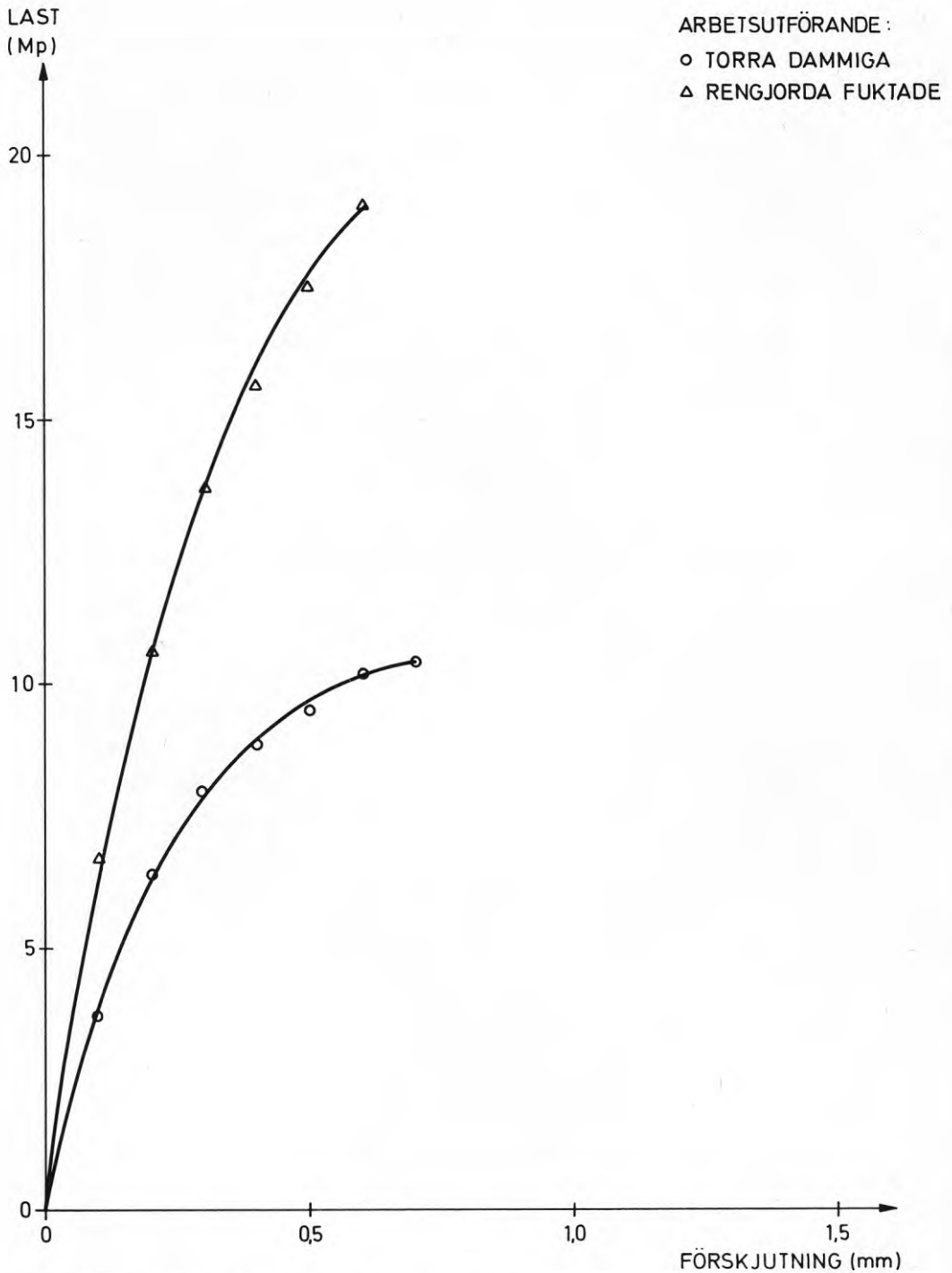
FIGUR 46 LAST-FÖRSKJUTNINGSDIAGRAM
 $\delta = F(25, 400, 1:1, 0,5, 40, \text{of}, P)$
 FÖR OLIKA ARBETSUTFÖRANDE



FIGUR 47 LAST-FÖRSKJUTNINGSDIAGRAM
 $\delta = F (25, 200, 1:1, 0,5, 60, \text{of}, P)$
 FÖR OLIKA ARBETSUTFÖRANDE



FIGUR 48 LAST-FÖRSKJUTNINGSDIAGRAM
 $\delta = F (25, 300, 1:1, 0,5, 60, \text{ of, } P)$
 FÖR OLIKA ARBETSUTFÖRANDE

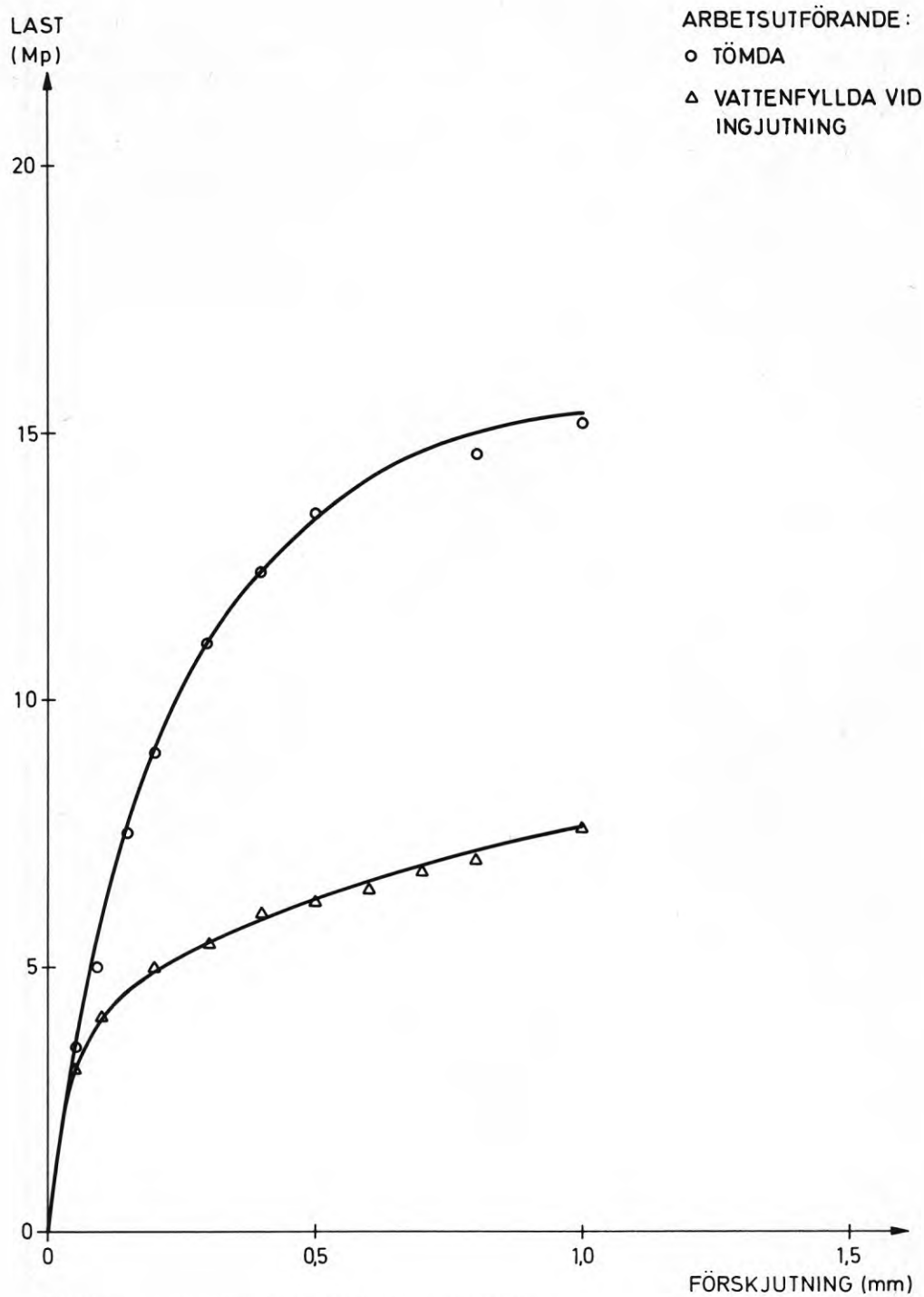


FIGUR 49 LAST-FÖRSKJUTNINGSDIAGRAM
 $\delta = F (25, 400, 1:1, 0,5, 60, \text{of}, P)$
 FÖR OLIKA ARBETSUTFÖRANDE

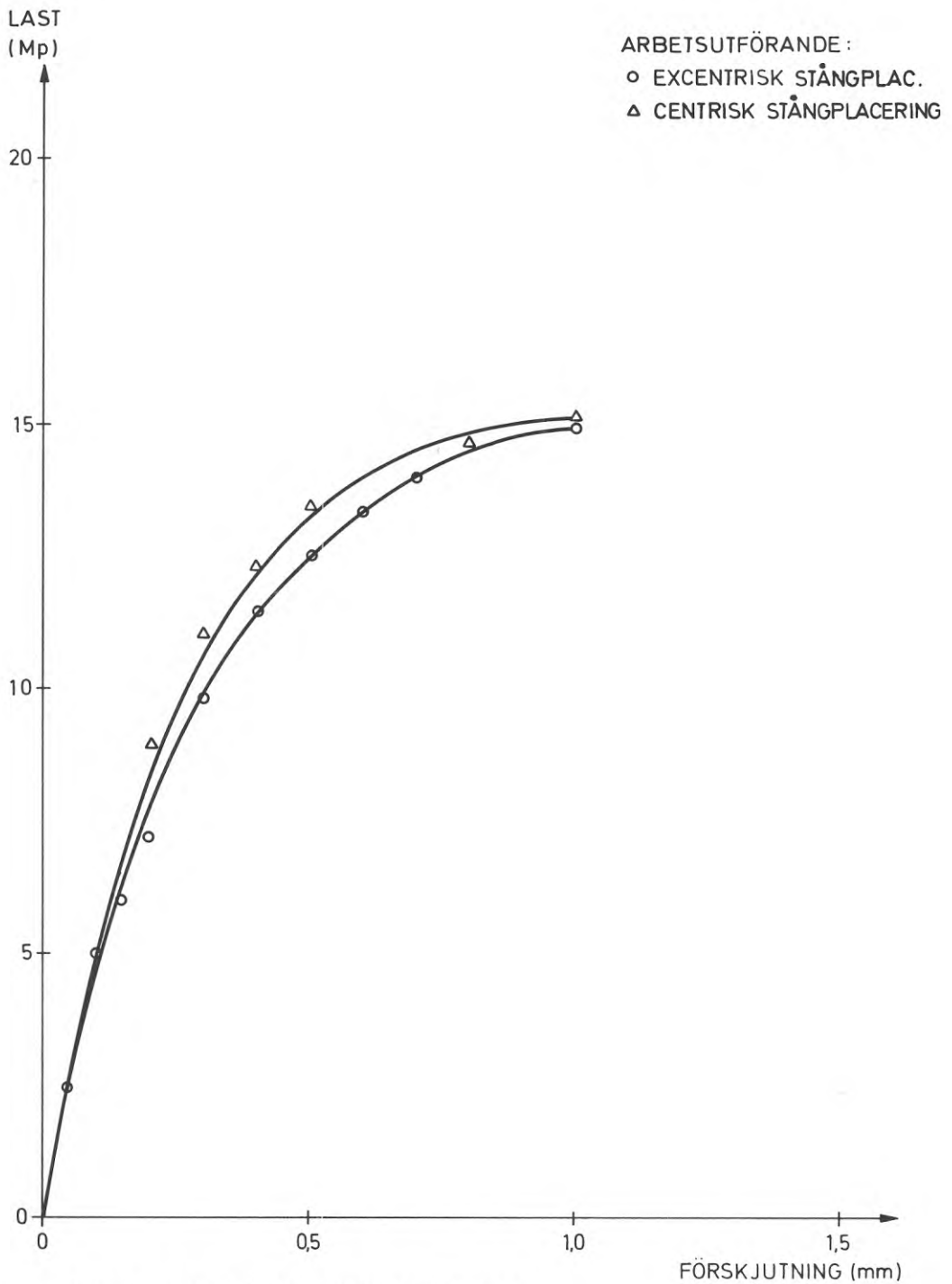
Försök genomfördes även med hål där överskottsvatten ej avlägsnats före och under gjutning. Last-förskjutningskurvan för denna provning är baserad på 12 stycken enskilda försök och där man kan förmärka en avsevärd styvhetsförlust hos förbandet (figur 50). Primär orsak är den stabilitetsförsämring av injekteringsbruket till följd av överskottsvattnet.

Stabiliteten är ett mått på injekteringsbrukets sammanhållning under bearbetning. Är stabiliteten dålig separerar delmaterialen t.ex. genom att de tyngre stenarna sjunker nedåt, medan vatten och finare partiklar samlas på ytan. Den ursprungliga homogena bruksmassan blir vid separationen skiktad. Detta ger upphov till ojämn kvalitet och extra påkänningar, exempelvis till följd av olika krympning för brukslamellerna. En del vatten stiger upp till ytan eller samlas under större stenpartiklar. De kvarlämnar efter uttorkning kanaler i injekteringsmassan och fickor under stenarna vilket nedsätter det hårdnade brukets hållfasthet och försämrar vidhäftningen mellan brukslamellerna och omgivande betong liksom mellan armering och injekteringsbruk.

Avslutningsvis utfördes ett antal försök där man avsiktligt snedställde kamstängerna i borrhålen. Utdragsprovningarna av dessa senare försök visade att man inte kan påvisa någon egentlig hållfasthetsförsämring av förbanden (figur 51). Som inledningsvis antyddes kan man ha många synpunkter på effekter av olika arbetsutföranden, och de här utförda provningarna visar att det finns skäl för observans.



FIGUR 50 LAST-FÖRSKJUTNINGSDIAGRAM
 $\delta = F(25, 300, 1:1, 0,5, 40, f, P)$
 FÖR OLIKA ARBETSUTFÖRANDE



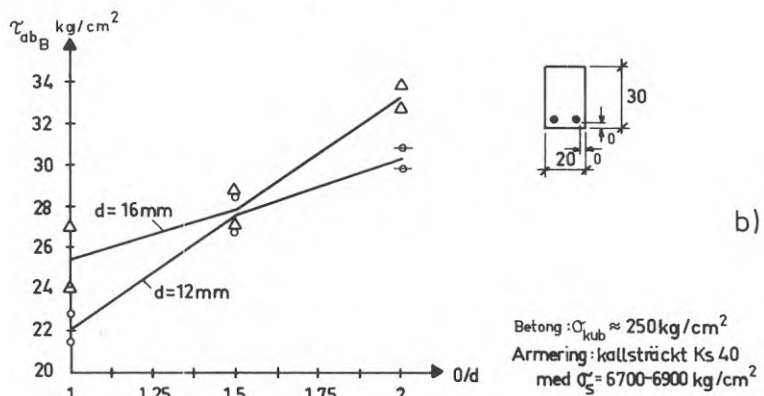
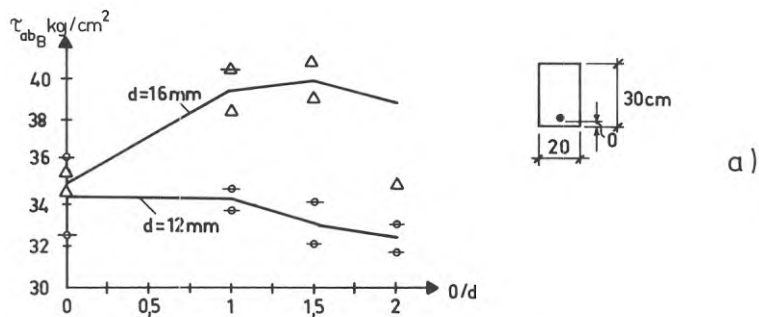
FIGUR 51 LAST-FÖRSKJUTNINGSDIAGRAM
 $\sigma = F (25, 300, 1:1, 0,5, 40, f, P)$
 FÖR OLIKA ARBETSUTFÖRANDE

5.6 Avstånd till fri betongyta och avstånd mellan parallella stänger

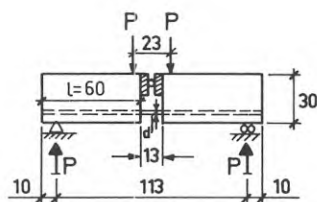
Vid samtliga utvärderingar av tidigare försöksresultat, har vid olika jämförelser inte beaktats stängernas placering i provkroppen. Kamstålen kan således ha suttit i blockets inre eller i dess perifera yta utan att man vid jämförelser gjort denna distinktion av hållplaceringen.

Man frågar sig om närheten till provkroppens fria betongyta kan ha påverkat provningsresultaten. Inbördes avstånd mellan parallella stänger kan också ha påverkat provningarna, genom att då en stång provdras påverkas betingelserna för omgivande stänger till följd av ogynnsam sprickbildning i provblocket. Dras två intill varandra parallella stänger samtidigt, vilket måste anses vara vanligt i praktiken, är det av vikt att undersöka hur förbandens styvhet påverkas.

Vidhäftningshållfastheten utöver redan behandlade armeringsegenskaper påverkas av stängernas placering i förhållande till fria betongytor. Sambandet finns dokumenterat av flera forskare som i stort erhållit samma resultat. Effekten åskådliggörs närmare i figur 52 hämtade från en av FORSELL 1950 redovisad undersökning. Speciellt visar därvid figur 52a, hur vidhäftningshållfastheten τ_{abB} - bestämd enligt det traditionella balkprovet figur 52 - varierar med det till armeringen täckande betongskiktet, vid dels en på stort avstånd från balkens begränsningsytor placerad armeringsstång och dels i närheten av sektionens hörnpunkter placerade armeringsstänger. Resultaten gäller för betong av kvaliteten K 250 och för armering av kvaliteten Ks 40 med en sträckgräns, som genom kallsträckning höjts från cirka 4000 till 6700 - 6900 kp/cm². För en armeringsplacering av den i figur 52a visade typen, ger försöken vid stängdiameter 12 mm en av kantavståndet nära oberoende vidhäftningshållfasthet. Vidhäftningen var därvid för denna diameter helt intakt, då sträckgränsen uppnåddes i armeringen. Även vid stängdiameter 16 mm, för vilken vidhäftningsbrottet vid samtliga prov utom ett inträffade vid lägre armeringsspänning än sträckgränsen, ger försöksresultaten en för praktiska förhållanden obetydlig variation i vidhäftningshållfastheten med kantavståndet. Väsentligt annorlunda blir förhållandena för de enligt



Betong: $\sigma_{kub} \approx 250\text{kg/cm}^2$
 Armering: kallströckt Ks 40
 med $\sigma_s = 6700-6900\text{kg/cm}^2$



- τ_{ab} - brott vid $d=12\text{mm}$
- ◐ σ_a - brott vid $d=12\text{mm}$
- △ τ_{ab} - brott vid $d=16\text{mm}$
- ◔ σ_a - brott vid $d=16\text{mm}$

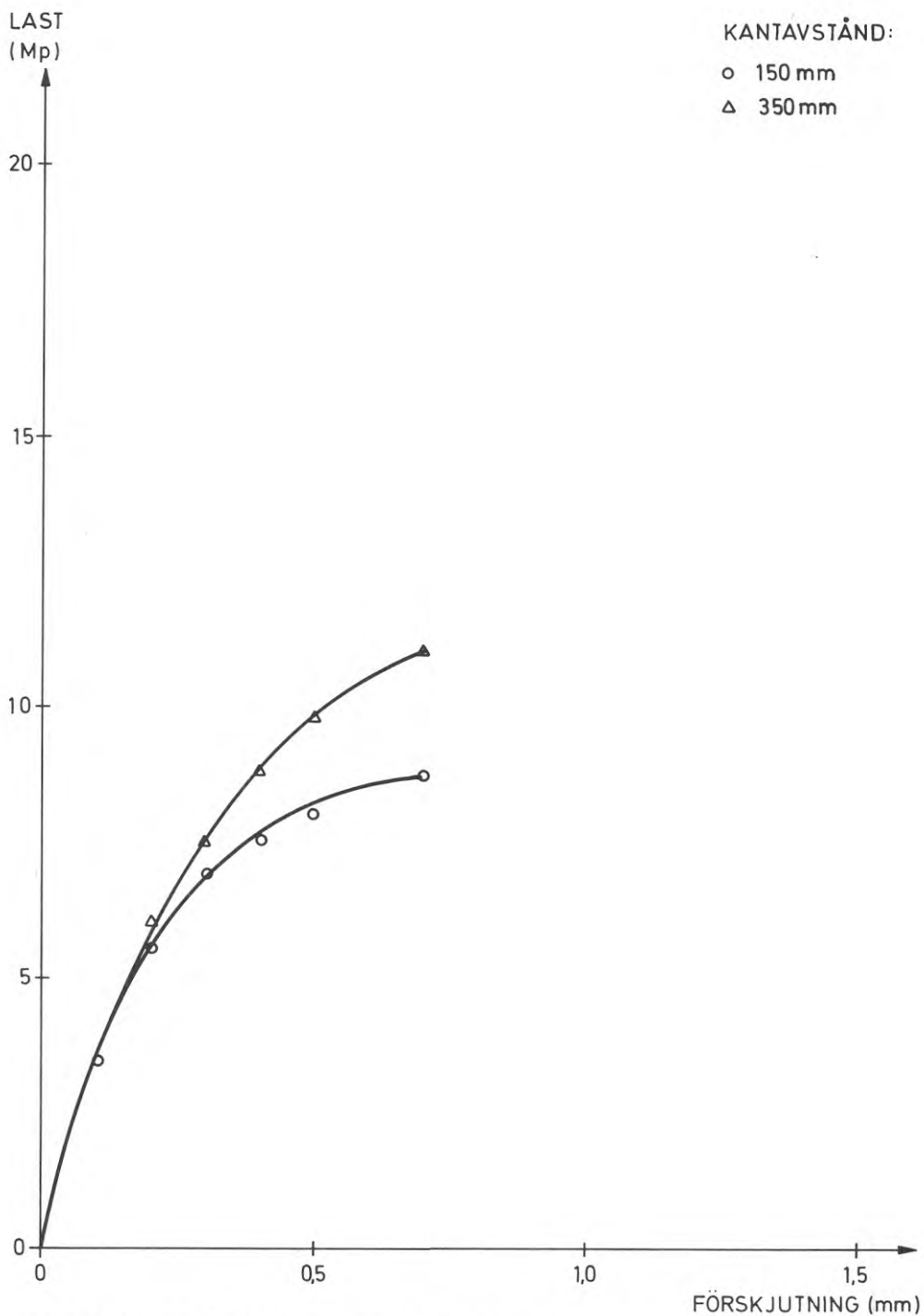
FIGUR 52 a, b. VIDHÄFTNINGSHÅLLFASTHET ENLIGT [10]

figur 52b i närheten av balkens sektionshörn placerade armeringsstängerna. För dessa gäller även inom det relativt begränsade variationsområde för kantavståndet som redovisas i figuren, en med ökat kantavstånd icke oväsentlig tillväxt i vidhäftningshållfasthet av storleksordningen 30 - 40 %.

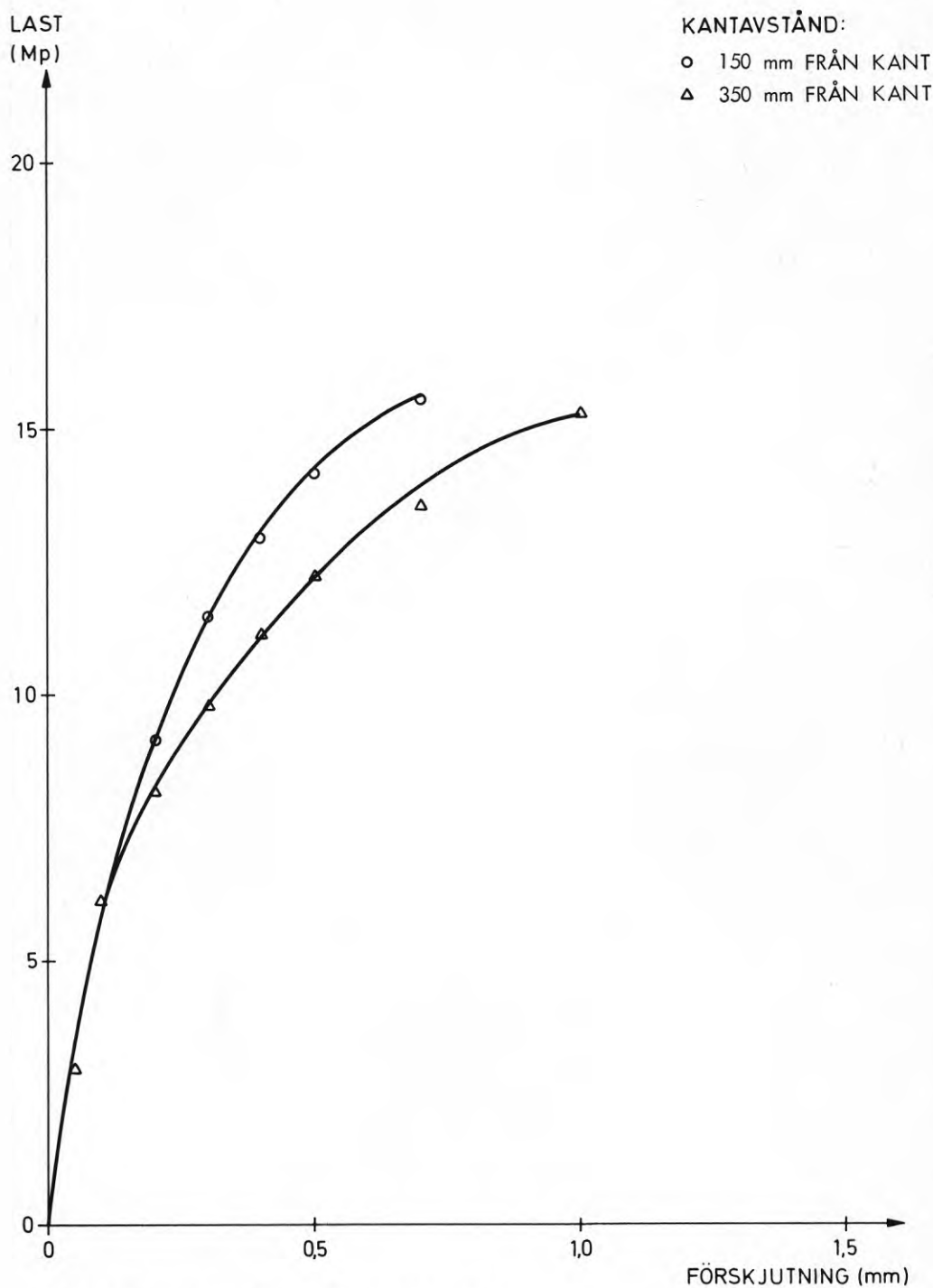
Med vetskap om dessa forskningsresultat, särskiljdes tidigare redovisade provningar med olika avstånd till fri kant för kamstål \emptyset 25, kvalitet Ks 40, håldiameter D40 och bruk 1:1. Armeringsstängernas placering i förhållande till fria betongytor var 150 respektive 350 mm. Resultaten av utvärderingen (figurer 53 - 54) visar att avvikelserna inte är sådana att man kan utsäga, att det för dessa två redovisade avstånd existerar något samband med avståndet i förhållande till fria betongytor. I det här sammanhanget får inte heller glömmas bort att provblocket var armerat längs ytan vilket säkerligen bidrar till förbättrade värden.

Provningar utfördes även speciellt för att utröna, om det föreligger något samband för stänger som inte påverkats av tidigare dragna stänger respektive för stänger som påverkats i någon mån. Borrschema för provserien framgår av figur 6 och last-förskjutningskurvor från provningarna av figurer 55 - 57. I samtliga fall kan konstateras att det inte föreligger sämre resultat från provningar där hålen tänkbart skulle ha kunnat påverkats. Vardera stängen drogs visserligen inte tills dess att brotlasten för förbandet uppträdde, men en ogynnsam sprickbildning kan trots detta ha inträffat.

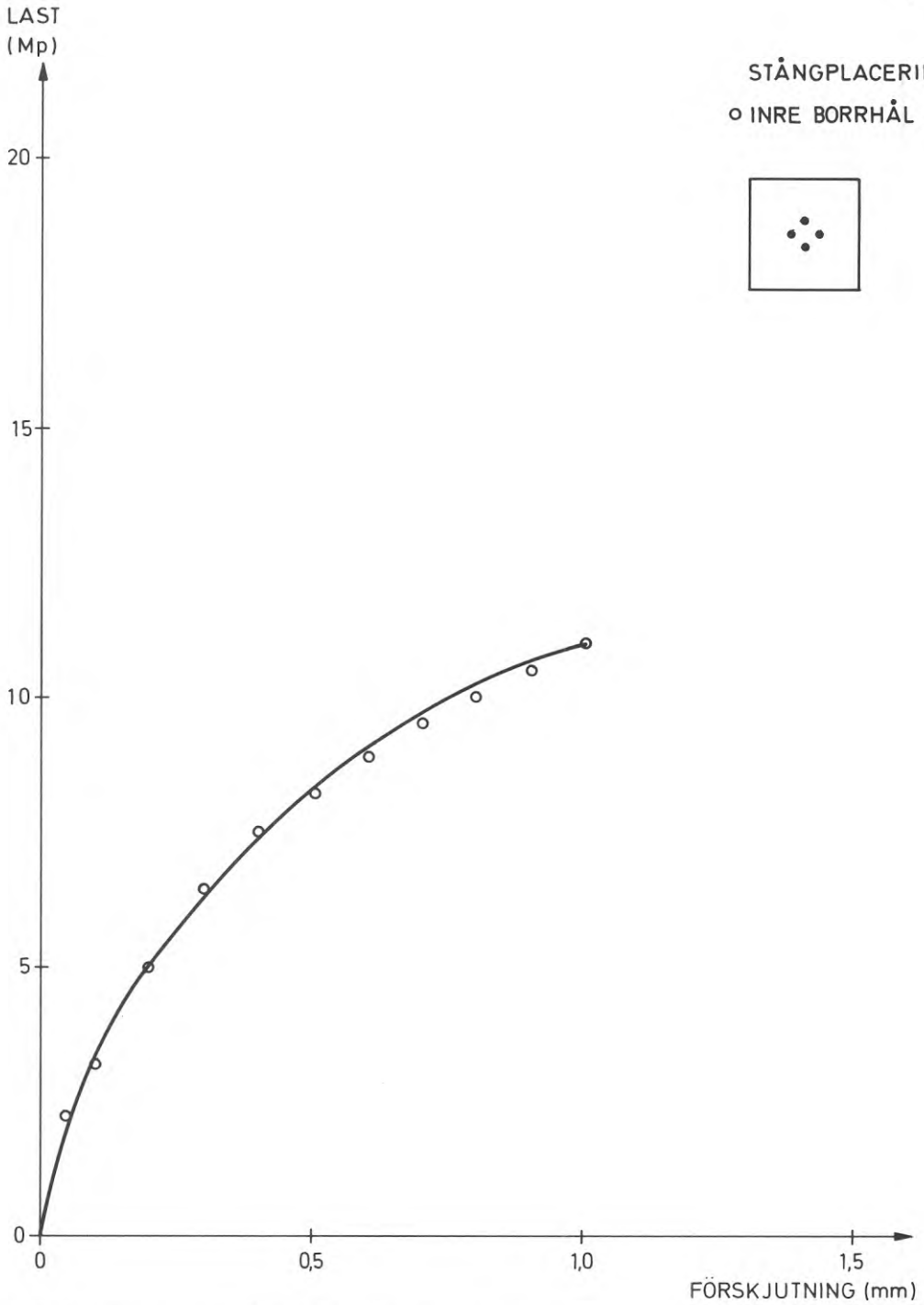
Utgående från de här försöksresultaten vore det värdefullt att se hur förbandens styvhet påverkas om två intillvarande parallella stänger provdras på en gång. Tre stycken separata försök utfördes med kamstål \emptyset 25, kvalitet Ks 40, bruk 1:1 och vct 0,5, borrdiameter D40 och ingjutningslängd 300 mm (figur 58). Jämförelser med enskilt dragna stänger ger vid handen att försämringen är ringa eller ingen alls. Spridningen mellan de båda medelvärdeskurvorna av last-förskjutningssambandet beror på att vid dragning av två stycken stänger samtidigt blir den sämsta stängens hållfasthet avgörande.



FIGUR 53 LAST-FÖRSKJUTNINGSDIAGRAM
 $\sigma = F (25, 200, 1:1, V, 40, f, P)$
 FÖR OLIKA TÄCKANDE BETONGSKIKT

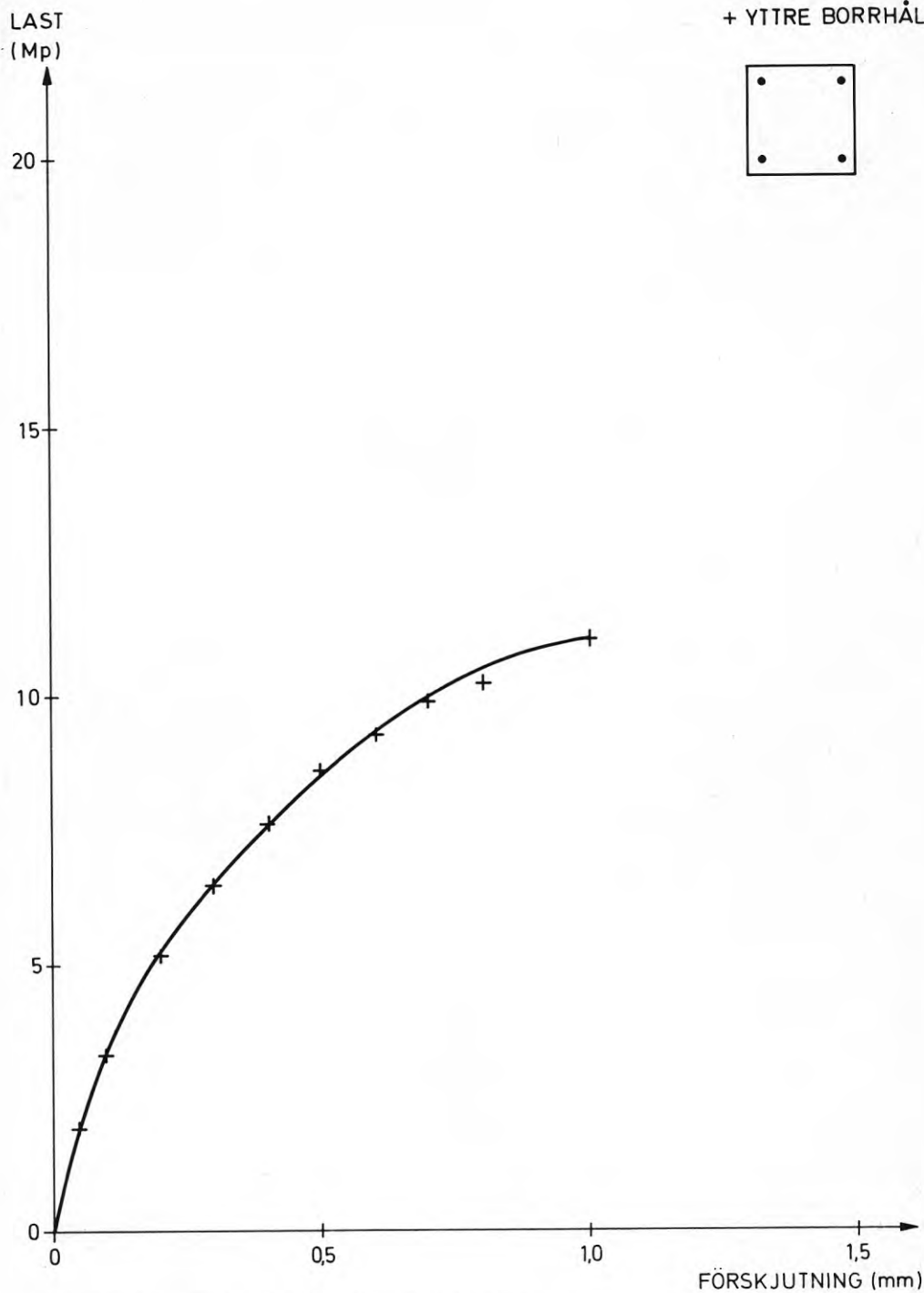
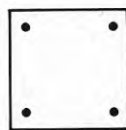


FIGUR 54 LAST-FÖRSKJUTNINGSDIAGRAM
 $\hat{\sigma} = F (25, 300, 1:1, V, 40, f, P)$
 FÖR OLIKA TÄCKANDE BETONGSKIKT



FIGUR 55 LAST-FÖRSKJUTNINGSDIAGRAM
 $\hat{\sigma} = F(25, 300, 1:1, 0,5, 40, f, P)$
 FÖR INRE OPÅVERKADE STÄNGER

STÅNGPLACERING:
+ YTTRE BORRHÅL

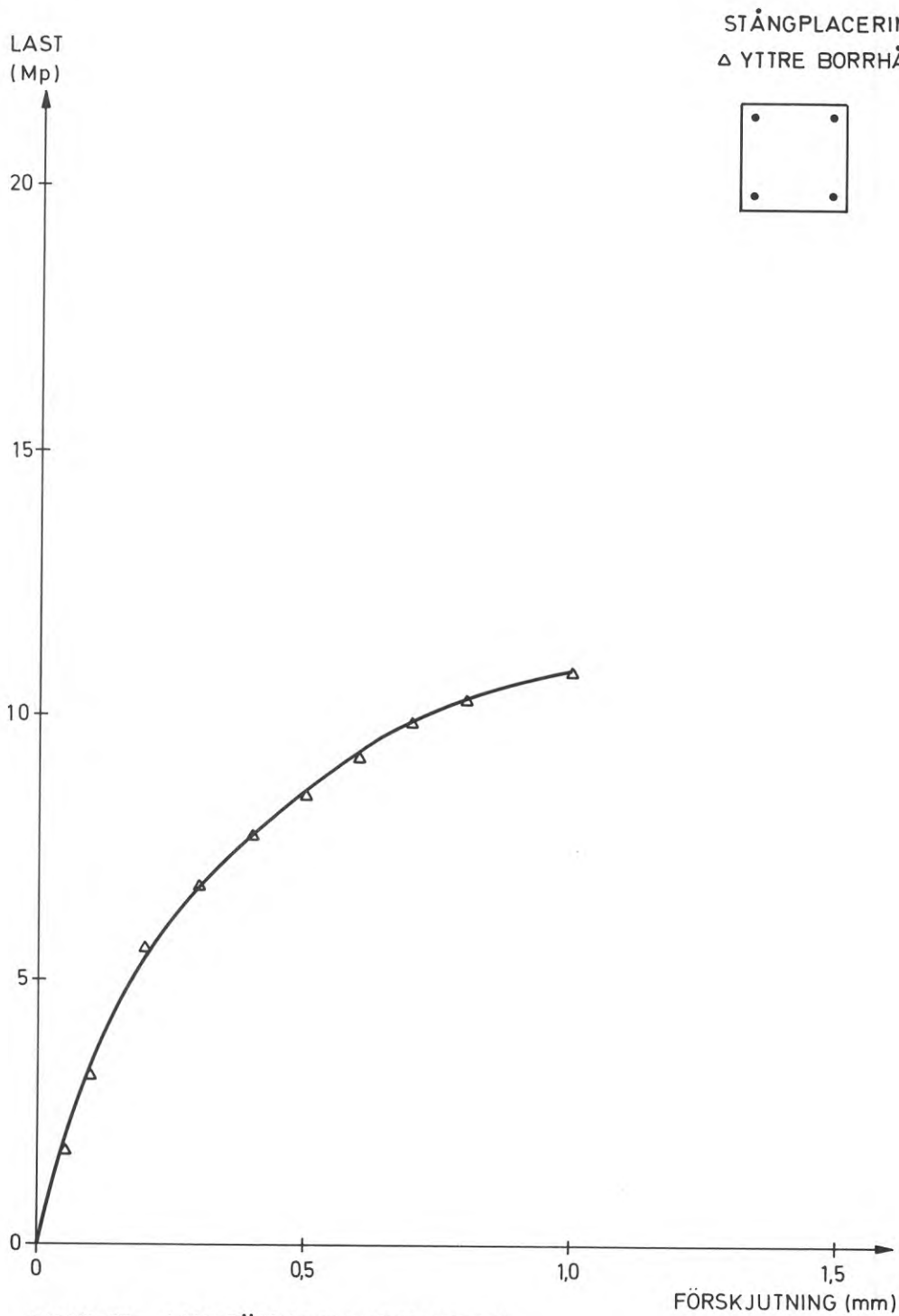


FIGUR 56

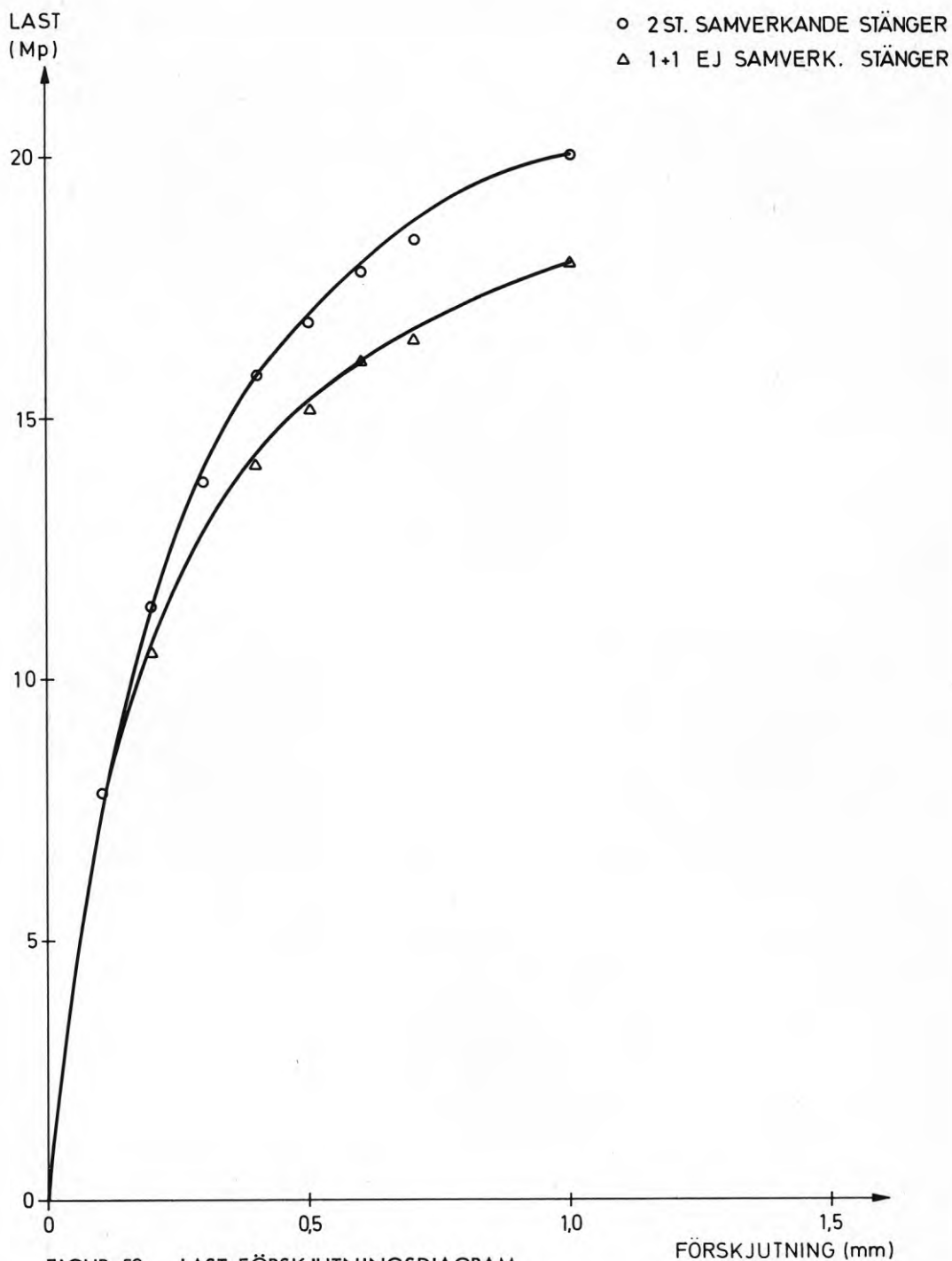
LAST-FÖRSKJUTNINGSDIAGRAM

$\delta = F (25, 300, 1:1, 0,5, 40, f, P)$

FÖR YTTRE OPÅVERKADE STÄNGER



FIGUR 57 LAST-FÖRSKJUTNINGSDIAGRAM
 $\sigma = F (25, 300, 1:1, 0,5, 40, f, P)$
 FÖR YTTRE PÅVERKADE STÄNGER



FIGUR 58

LAST-FÖRSKJUTNINGSDIAGRAM

 $\delta = F(25, 400, 1:1, 0,5, 40, f, P)$

VID PROVDRAGNING AV TVÅ STÄNGER SAMTIDIGT, SAMT
 SUMMAN AV TVÅ ENSKILT DRAGNA STÄNGER

5.7 Gjutning av horisontella hål

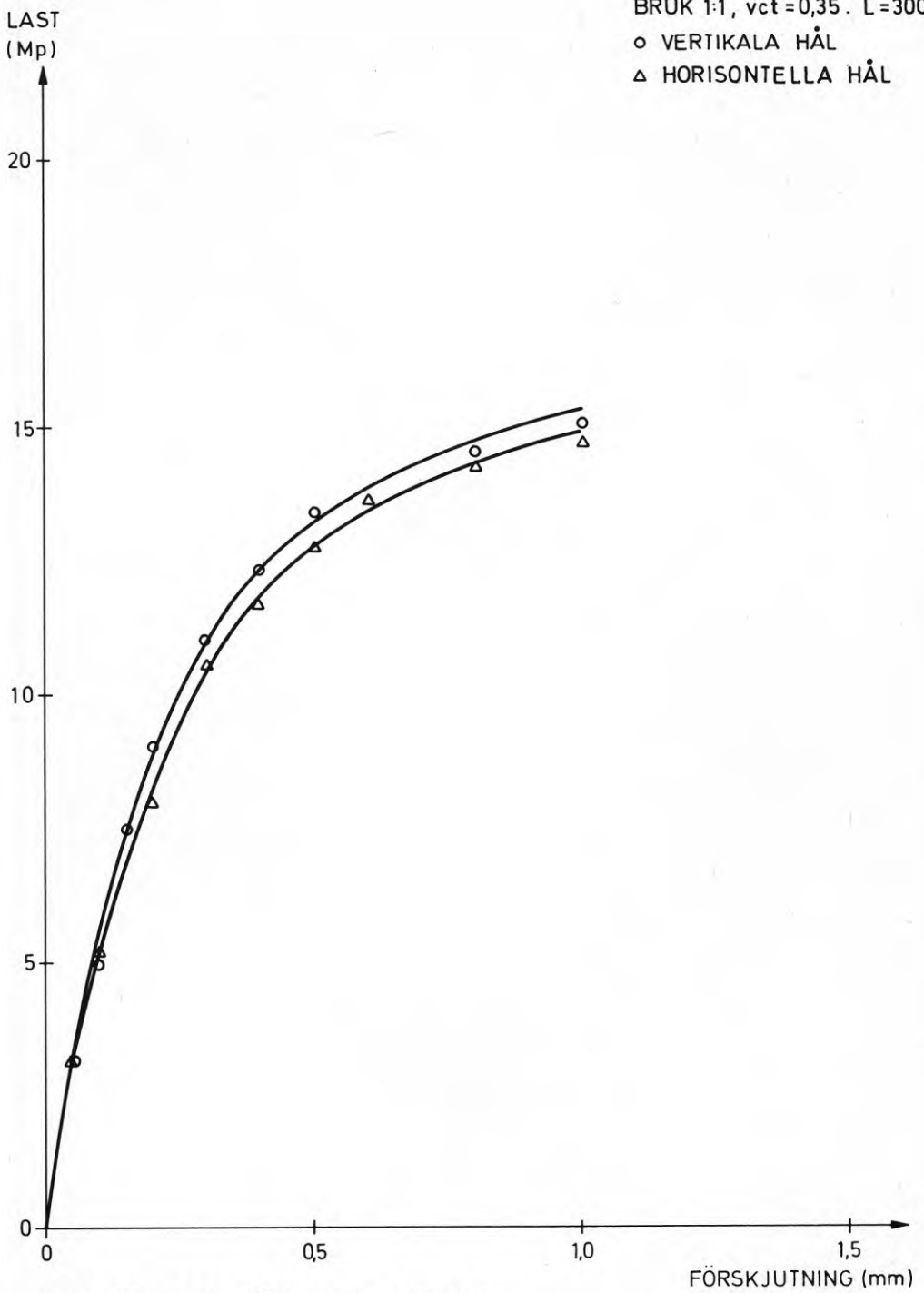
För framtida möjligheter att allsidigt använda injekteringsförband provades 3 stycken stänger ingjutna i horisontella hål. Vid gjutningen användes ett styvt bruk 1:1 vct 0,35, som slevades dit med en matsked. Man fann då att det underlättar gjutningen om ett något mjukare bruk tillredes. Ingjutningslängden för samtliga stänger var 300 mm och borrhålens diameter D40. Hålen var också fuktade och rengjorda innan gjutning företogs. Efter brukets hårdnande vändes provklumpen och stängerna drogs på konventionellt sätt. Direkt jämförelse med tidigare provningar med vertikala hål visar att hållfasthetsförsämringen är ringa (figur 59).

5.8 Långtids och pulserande last

Förutom nämnda faktorer, enligt tidigare paragrafer, inverkar den hastighet varmed belastningen påföres liksom om belastningen upprepas.

Tre stänger $\varnothing 25$ Ks 40 ingjutna 300 mm med maximalt kraftupptagande förmåga omkring 18 ton vid statisk last, belastades med en konstant dragkraft på 10 ton under 1 dygn. Glidningen i förbandet efter 1 dygn vid 10 ton uppgår i medeltal till 0,08 mm och efter avlastning kvarstår en deformation på 0,2 mm (tabell 7). Betongytans deformation var obetydlig under försökets gång.

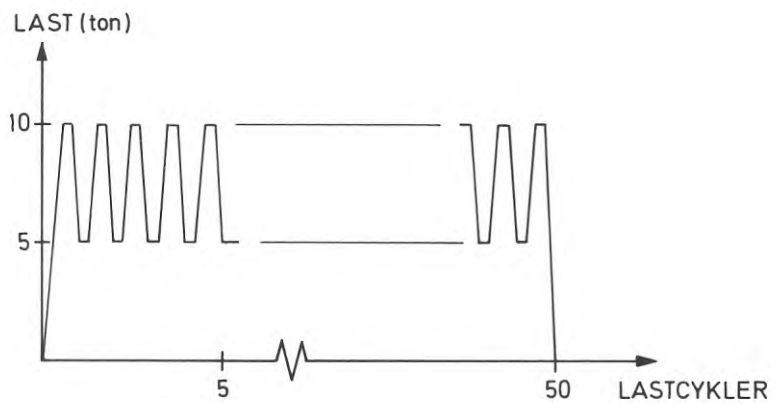
Med samma uppsättning parametrar utfördes 3 försök med pulserande last. Lasten pumpades upp till 10 ton och avlastades därefter till 5 ton och därefter förnyad pumpning upp till 10 ton osv. Lastcykeln (figur 60) upprepades 50 ggr med avläsning av förbandets deformation vid försökets början, mitt och slut. Då försöket avbröts var den kvarstående deformationen noll och under hela försöket var töjningen exakt lika som om man belastat förbandet statiskt.



FIGUR 59 LAST-FÖRSKJUTNINGSDIAGRAM
 $\sigma = F(25, 300, 1:1, 0,35, 40, f, P)$
 FÖR VERTIKALA OCH HORISONTELLA HÅL

Prov	Glidning vid 10 tons belastning	Kvarstående det. efter belastning
I	0,11	0,23
II	0,10	0,24
III	0,05	0,22
	mm	mm

TABELL 7 DEFORMATION I FÖRBAND VID BELASTNING
OCH EFTER AVLASTNING.



FIGUR 60 BELASTNINGSCYKEL VID PULSERANDE LASTFÖRSÖK

5.9 Sammanfattning och slutsatser av försöksresultaten

I detta kapitel studeras problemet samverkan mellan kamstål och betong från den statiska sidan. Samverkan åstadkommes genom att stängerna förankras till betongen via ett injekteringsbruk i förborrade hål. Försöksresultaten av där beskrivna utdragsprov under olika betingelser kan tämligen väl förklaras med utgångspunkt från de framtagna last-förskjutningskurvorna.

1. Vidhäftningshållfastheten mellan bruk och kamstål eller mellan bruk och betong är avgörande för förbandets hållfasthet.
2. Vid försök med kortare injutningslängder utbildades en kon med höjd cirka 7 cm omkring armeringsstången då 90 procent av förbandets maximallast uppnåddes.
3. Förbandens hållfasthet är i stort sett direkt proportionella mot injutningslängden.
4. Förband med bruk 1:1 och 3:1 är hållfasthetsmässigt ungefär lika bra med högsta provningsvärden för bruk 3:1. Bruk 1:3 gav däremot väsentligt sämre resultat jämfört med de båda andra brukskvaliteterna.
5. Beroende på brukets volymändringsegenskaper under hårdnandet erhålls varierande styvhet för förbanden; ju större krympning, desto mindre styvhet.
6. Bruket uppdelades av tvärgående sprickor i cirka 3 cm långa brukslameller.
7. Glidningen i förbandet sker främst i skiktet kamstål-injekteringsbruk.
8. Hålväggens skrovlighet beroende på om hålen slag- eller diamantborrats kan ge något bättre hållfasthet för förband som slagborrats.
9. Torra dammiga ej fuktade borrhål ger avsevärt sämre hållfasthet för förbanden jämfört med de fuktade borrhålen.

10. Borrhål där överskottsvattnet inte avlägsnats innan gjutning ger separationstendenser hos bruket och resulterar i en kraftig hållfasthetsförlust för förbanden.
11. Långtidseffekter ger en kvarstående deformation hos förbanden som närmare bör utforskas.
12. Pulserande lastförsök om 50 lastcykler med kontinuerligt varierande last mellan 5 - 10 ton - under ungefär en halv timme - visar att förbanden har full stabilitet. Inga kvarstående deformationer observerades och ingen förhöjd glidning under hela provcykeln registrerades.
13. Med kantavstånd 150 mm har inte erfarits någon minskning av förbandets styvhet i jämförelse med stänger vid kantavstånd 350 mm.
14. Parallella stänger, nära varandra, vilka dras samtidigt utvisar att hållfastheten inte försämras jämfört med enskilt förbands hållfasthet.
15. Stänger som inte stått vertikalt utan snedställt i borrhålet har inte givit sämre hållfasthetsvärden.

Experimentella försök visar att varierande resultat erhålles beroende på antalet påverkbara faktorer. Klart är dock att ingjutningslängden är huvudvariabel och att övriga parametrar förstärker eller försvagar förbandshållfasthetskaraktäristiska. Förband med förankrade stänger via injekteringsbruk uppför sig statistiskt som stänger direkt ingjutna i betongen.

Av provningsresultaten framgår att bruken 1:1 och 3:1 ger väl fungerande förband. Förutsättningen för att erhålla ett funktionsdugligt förband beror på om bruksblandningen har högre hållfasthet jämfört med omgivande betong. Injekteringsbruket skall hållfasthetsmässigt vara så anpassat att det är starkare än omgivande betong och att man därigenom erhåller ett överstarkt förband.

Sämre förband hållfasthetstekniskt erhålles om brukets volymändringsegenskaper under hårdnandet orsakar krympningseffekter. Speciellt är arbetsutförandet viktigt för att denna senare effekt skall minimeras.

6. TILLÄMPNINGSGREGLER - REKOMMENDATIONER

6.1 Definition av förbandets brottlast

För att praktiskt kunna tillämpa de från provningarna framtagna resultaten måste förbandets brottlast väl definieras. Om förbanden skall fungera måste också krav på förbandets deformation i bruksstadiet kunna läggas till grund för dimensionering. Försöksresultaten har tämligen klart påvisat att last-förskjutningskurvan i initialskedet är helt linjär och att spridningen mellan de enskilda försöken under detta skede är måttlig. Först vid omkring 70 procent av maximala brottlasten P_{br} för förbandet kröker last-förskjutningskurvan och spridningen mellan försöken tilltar. De experimentella försöken visar också att för prov där sträckgränsen uppnås i armeringen är spridningen mellan de enskilda försöken mindre än för prov där detta inte är fallet. Spridningen mellan olika försök måste således beaktas vid definitionen av förbandets brottlast så att ett karaktäristiskt brottvärde läggs till grund för fortsatt bedömning.

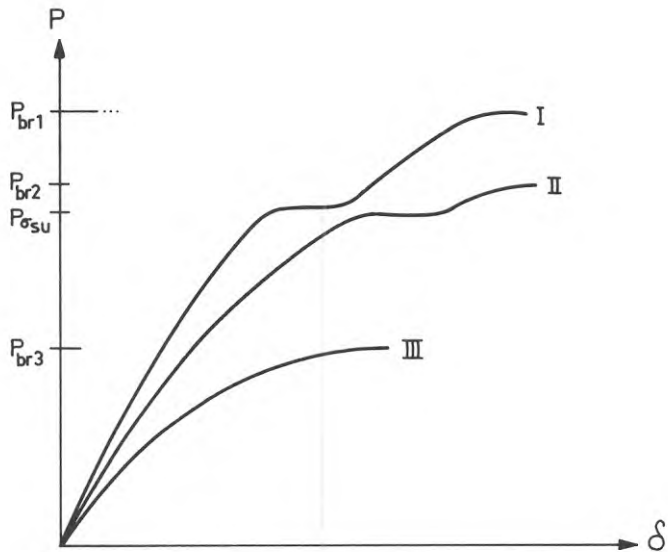
Brottvärdet skall vidare vara så anpassat att lasten när eventuell konutstansning uppträder täcks in under definitionen. Konutstansningen orsakas av att den i provkroppen uppträdande dragspänningen uppnår betongens draghållfasthet. Brottet består i att stången med kraften P drar ut en bit ur provkroppen efter en brottyta, som approximativt har formen av en kon (figur 3).

Förutom nämnda faktorer inverkar den hastighet, varmed belastningen påföres liksom om belastningen upprepas med ty åtföljande hållfasthetsför-sämring av förbandet.

Tre huvudskäl kan således anges för att injekteringsförband skall bli funktionsodugliga.

- a) brott i förbandet
- b) stora permanenta deformationer
- c) nedsatt stabilitet, d.v.s. mycket stora deformationer vid liten lastökning.

Med utgångspunkt från av provningarna erhållna resultat samt med beaktande av ovan nämnda synpunkter definieras ett karakteristiskt brottvärde P_B för förbandet enligt (se figur 61).



KURVA	KARAKTERISTIKA	DEF. BROTTLAST
I	$0,7 \cdot P_{br1} > P_{\sigma_{su}}$	$P_B = A_a \cdot \sigma_{su}$
II	$0,7 \cdot P_{br2} < P_{\sigma_{su}}$	$P_B = 0,7 \cdot P_{br2}$
III	$0,7 \cdot P_{br3} < P_{\sigma_{su}}$	$P_B = 0,7 \cdot P_{br3}$

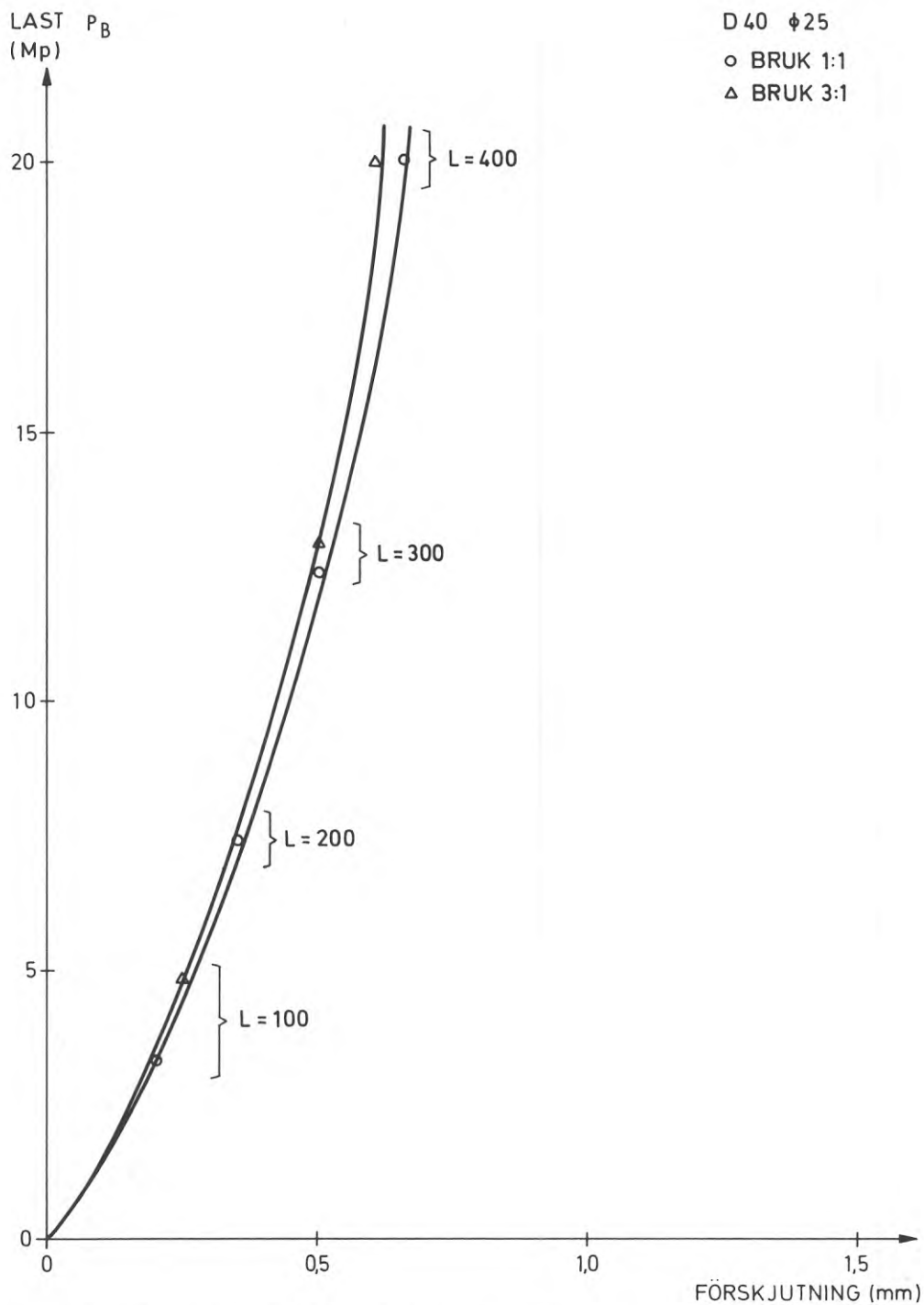
FIGUR 61 DEFINITION AV FIKTIV BROTTLAST P_B

1. Om sträckgränsen uppnås i stängen vid utdragning och förbandets maximala last P_{br} ligger minst 30 procent över stängens flytlast definieras brottlasten för förbandet som $P_B = A_a \cdot \sigma_{su}$.
2. Uppnås sträckgränsen i stängen och förbandets maximala brottlast P_{br} inte ligger 30 procent över stängens flytlast definieras brottlasten för förbandet som $P_B = 0,7 \cdot P_{br}$.
3. Om sträckgränsen inte uppnås i stängen innan förbandets maximala lastupptagningskapacitet överskrids anges brottlasten för förbandet som $P_B = 0,7 \cdot P_{br}$.

För att det definierade karakteristiska brottvärdet skall kunna läggas till grund för dimensionering måste också krav ställas på förbandet vid bedömning av dess beteende vid långtidslast och pulserande last.

Resultat från provningar och jämförelser med metoder som är snarlika tillverknings sättet (typ perfometoden) visar att ett slabbigt bruk 1:1 vct 0,5 är väl lämpat arbetstekniskt och ger förband som hållfasthetsmässigt är av god kvalitet. Till grund för fortsatt bedömning läggs alltså ett bruk 1:1 vct 0,5.

Enligt vad som sagts tidigare fordras att förbandets deformation vid definierad brottlast är väl fastlagd och att en övre gräns av deformationen kan anges. Last-förskjutningskurvor för olika injutningslängder enligt försöksmaterialet som framgår under avsnitt 5.1 har uppritats för definierad brottlast i figur 62. Kurvorna avser stänger \emptyset 25, kvalitet Ks 40, borrhålsdiameter D40 samt bruken 1:1 och 3:1. Borrhålen var väl rengjorda och fuktade minst 1 dygn innan injekteringen utfördes. Att kurvan för bruk 3:1 bifogats är av helt jämförande skäl. Man finner därav att förbandets maximala deformation asymptoliskt närmar sig värdet 0,7 mm för de båda brukskvaliteterna vid givna förutsättningar.



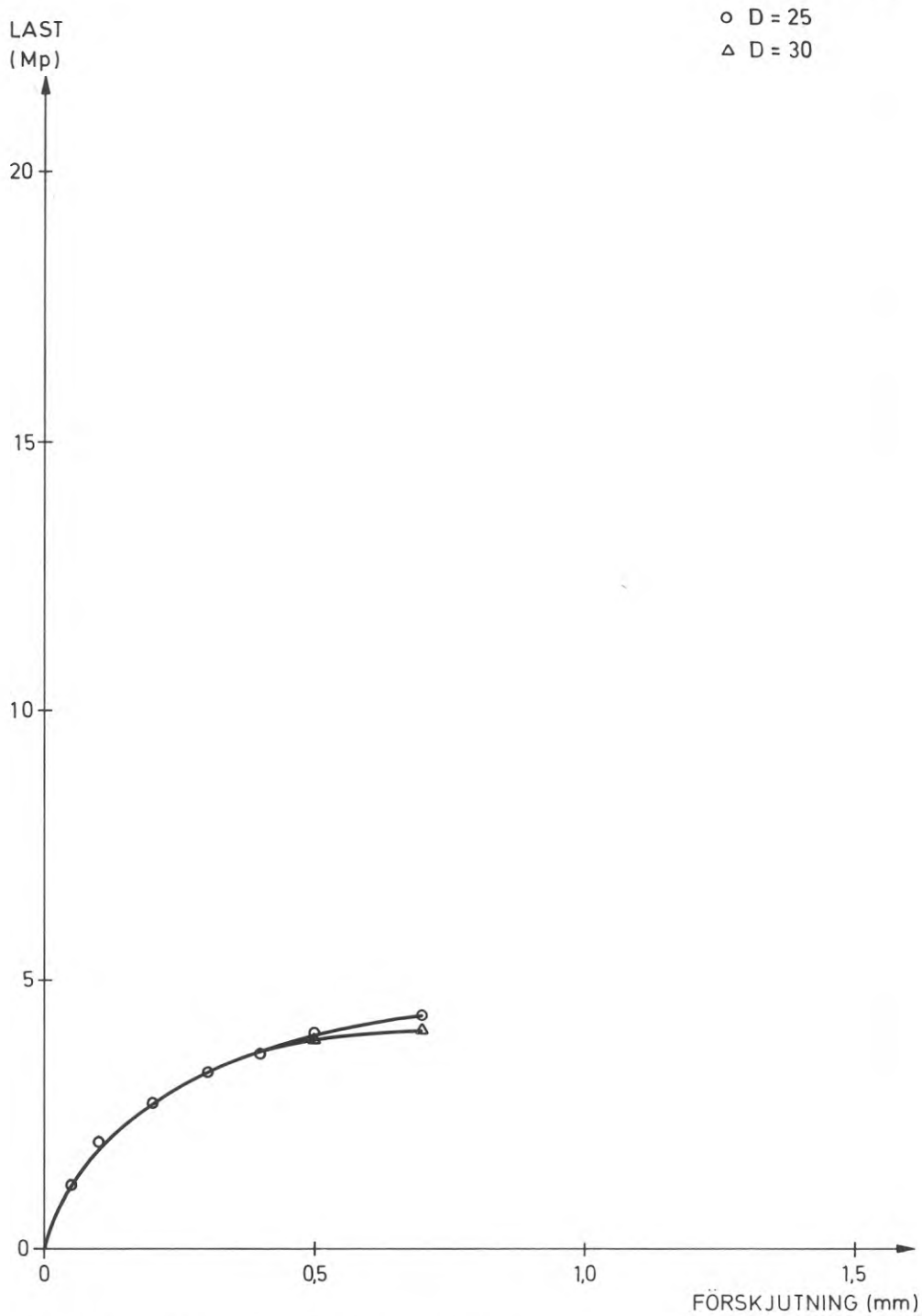
FIGUR 62 LAST-FÖRSKJUTNINGSDIAGRAM FÖR FIKTIV BROTTLAST
 $\delta = F(25, L, G, 0,50, 40, f, P_B)$ FÖR OLIKA
 BRUKSKVALITET OCH INGJUTNINGSLÄNGDER

För att kunna tillämpa funna erfarenheter på andra stångdimensioner än $\emptyset 25$ arrangerades en provserie med stänger av diameter $\emptyset 16$, kvalitet Ks 40, borrhålsdiametrar D25 och D30, bruk 1:1 vct 0,5, slagborrade och väl rengjorda och fuktade borrhål före injekteringen (figurer 63-65). På grundval av ovan definierad brottlast ritades lastdeformationskurvan för olika injekteringslängder (figur 66). Deformationen når ett asymptotiskt värde 0,5 mm för armeringsstål $\emptyset 16$ och därav framgår att deformationerna för stänger $\emptyset 16$ och $\emptyset 25$ har en övre gräns vid definierad brottlast som i praktiken torde vara av försumbar storleksordning.

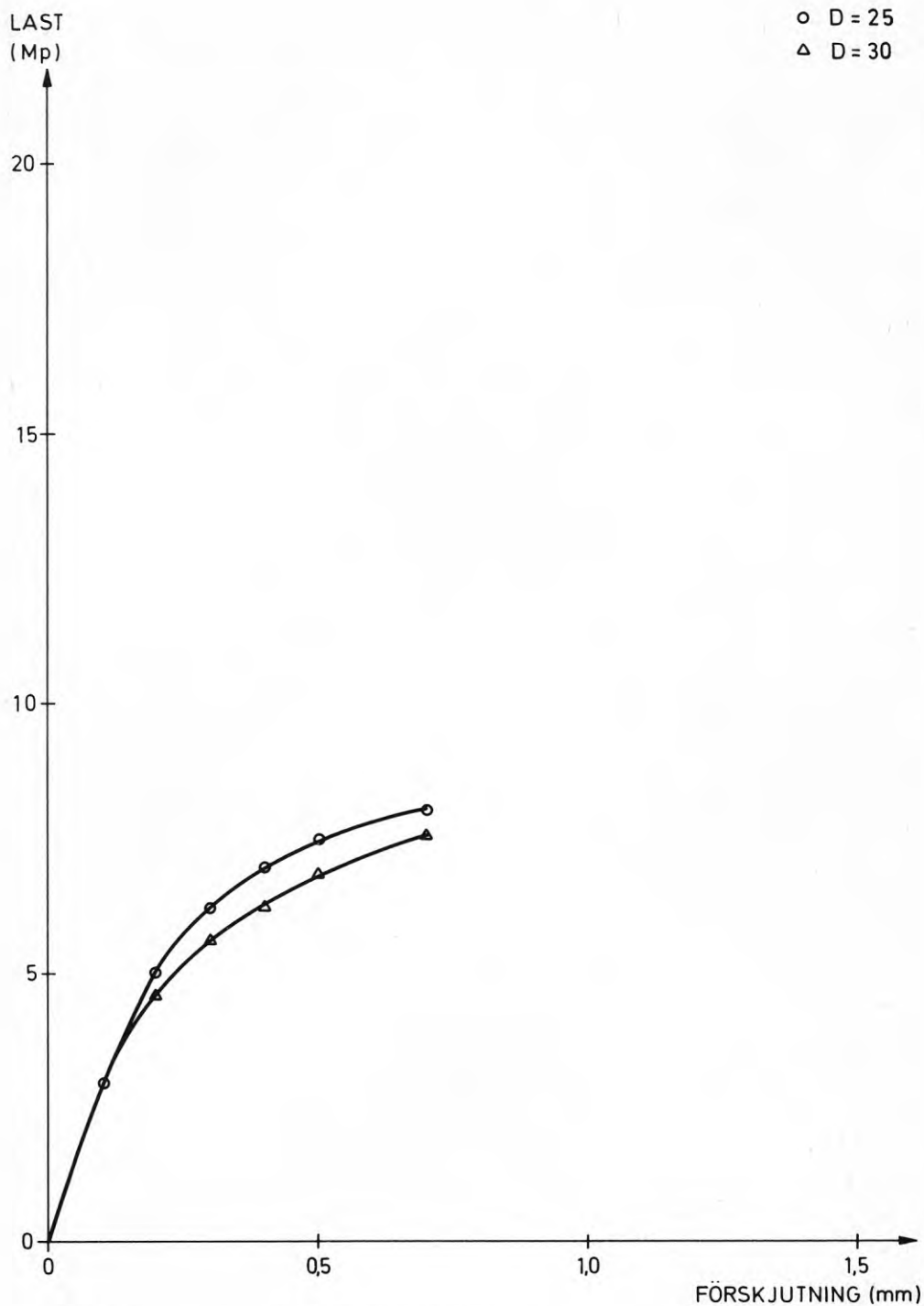
Eftersom brottlasterna är dimensionerande har dessa ritats som funktion av ingjutningslängden (figurer 67 - 69). För att avgöra vid vilken ingjutningslängd som avlastningen till betongblocket är fullständig, d.v.s. stångens hållfasthet är avgörande för förbandets lastupptagning, interpoleras mellan försöksresultaten.

Enligt avsnitt 5.1 framgår att proportionalitet råder mellan last och ingjutningslängd inom ett visst randområde. Brottkurvan är dock som framgår av figurerna 67 och 68 inte helt linjär vilket beror på att kurvorna uppritats på basis av utförda försök och att därigenom spridningen gjort sig gällande på grund av att svårigheter förelegat att noggrant bestämma förbandens maximala brottlast P_{br} .

Sambandet mellan definierad brottlast P_B och ingjutningslängden L kan approximativt tecknas som $P_B \approx k \cdot L$ där k är en konstant som är beroende av armeringsdiameter och arbetsutförande.



FIGUR 63 LAST-FÖRSKJUTNINGSDIAGRAM
 $\delta = F(16, 100, 1:1, 0,50, D, f, P)$
FÖR OLIKA HÅLDIAMETRAR

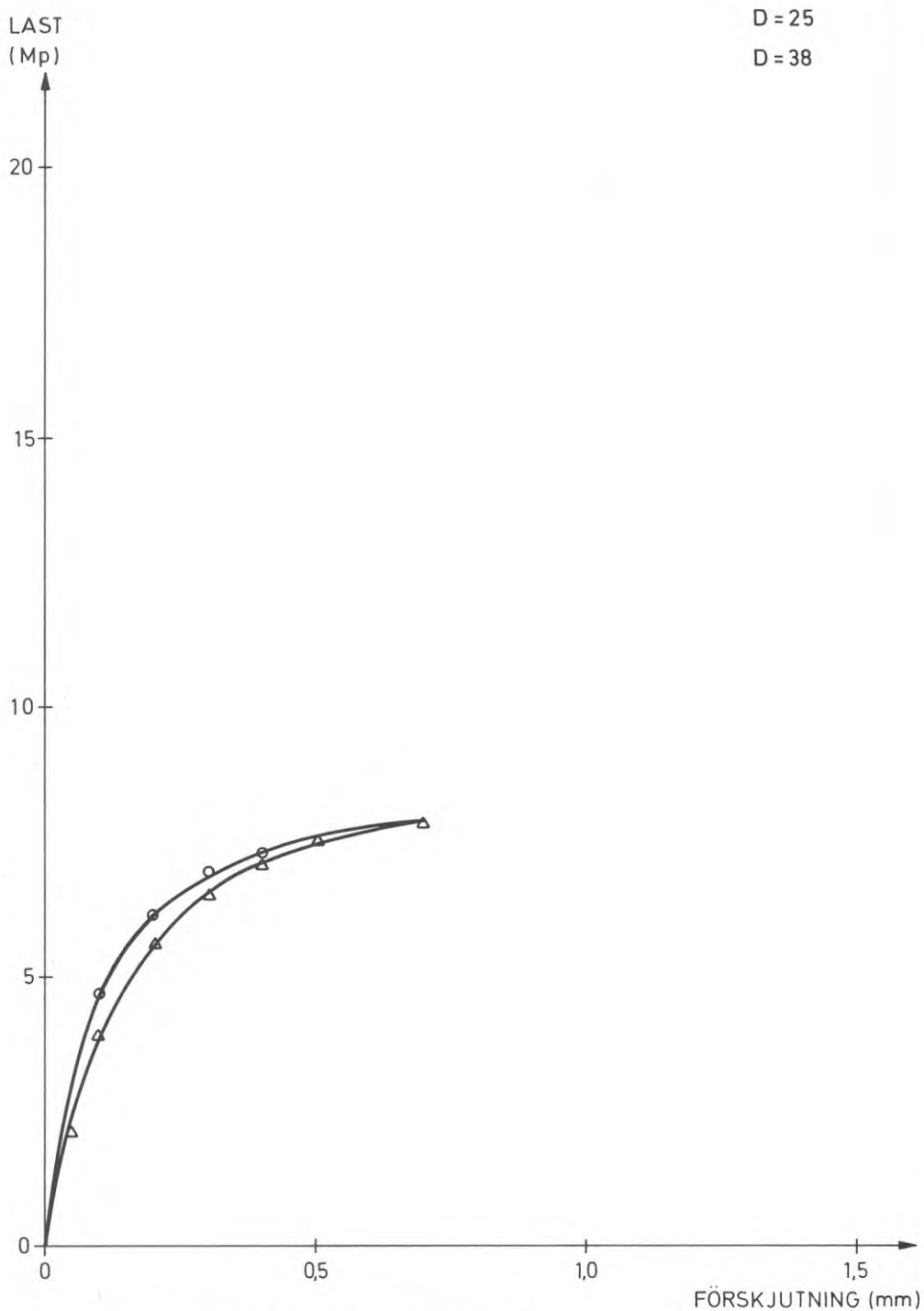


FIGUR 64

LAST-FÖRSKJUTNINGSDIAGRAM

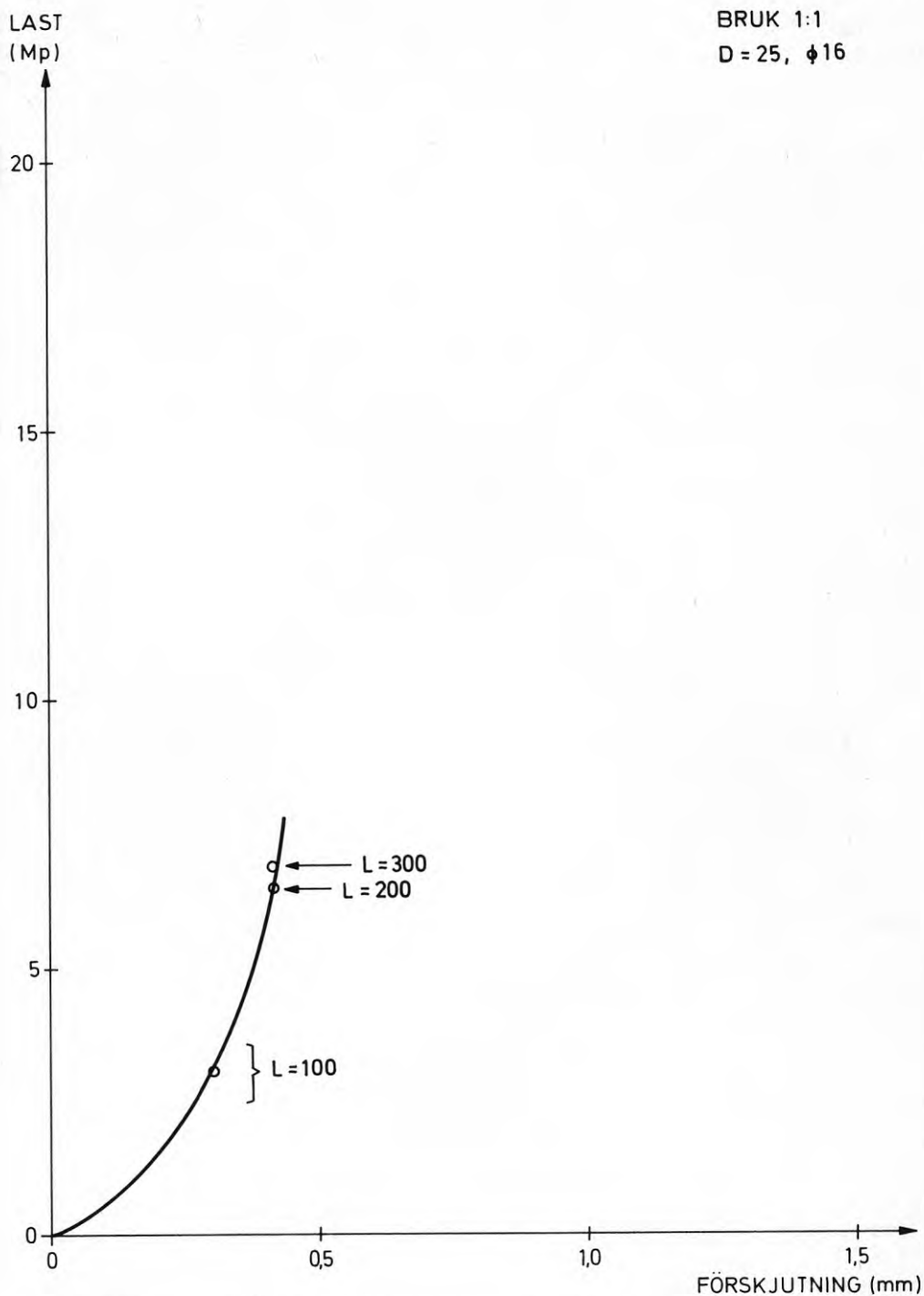
 $\delta = F(16, 200, 1:1, 0,50, D, f, P)$

FÖR OLIKA HÅLDIAMETRAR



FIGUR 65 LAST-FÖRSKJUTNINGSDIAGRAM
 $\sigma = F(16, 300, 1:1, 0,50, D, f, P)$
FÖR OLIKA HÅLDIAMETRAR

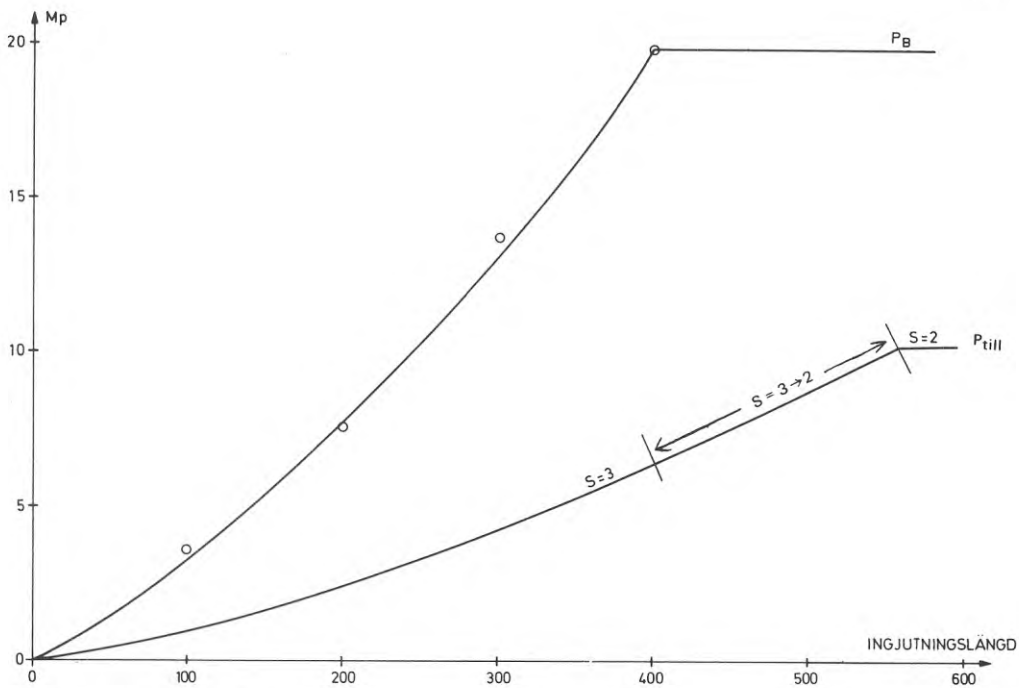
BRUK 1:1
D = 25, ϕ 16



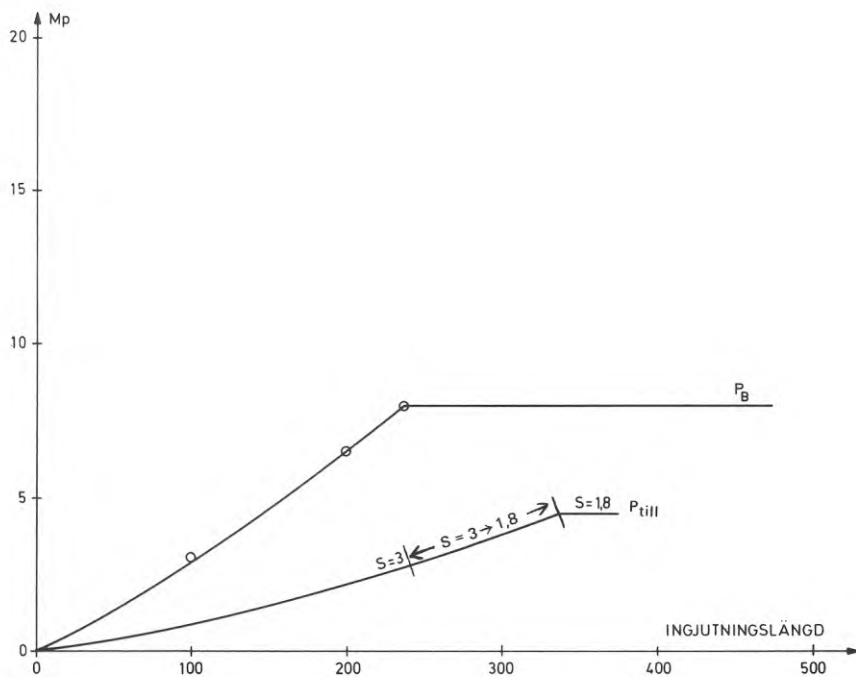
FIGUR 66 LASTFÖRSKJUTNINGSDIAGRAM FÖR FIKTIV BROTTLAST

$\delta = F (16, L, 1:1, 0,50, 25, f, P_B)$

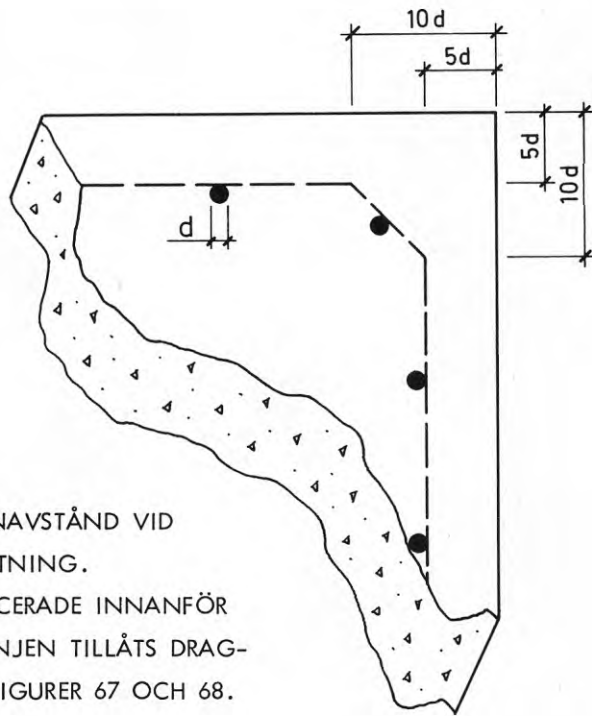
FÖR OLIKA INGJUTNINGSLÄNGDER



FIGUR 67 FIKTIV BROTTLAST P_B SOM FUNKTION AV INGJUTNINGSLÄNGDEN.
DIMENSIONERINGSDIAGRAM FÖR TILLÅTEN UDRAGSLAST P_{till} FÖR KAMSTÅNG K_s 40 \varnothing 25



FIGUR 68 FIKTIV BROTTLAST P_B SOM FUNKTION AV INGJUTNINGSLÄNGDEN.
DIMENSIONERINGSDIAGRAM FÖR TILLÅTEN UDRAGSLAST P_{till} FÖR KAMSTÅNG K_s 40 \varnothing 16



KANT- OCH HÖRNAVSTÅND VID
DRAGKRAFTSBELASTNING.
FÖR SKRUVAR PLACERADE INNANFÖR
BEGRÄNSNINGSLINJEN TILLÅTS DRAG-
KRAFTER ENLIGT FIGURER 67 OCH 68.

D = BORRHÅLSDIAMETER

FIGUR 69 TILLÅTNA KANT- OCH HÖRNAVSTÅND VID DRAGBELASTNING

6.2 Säkerhetsbedömning

Eftersom de svenska bestämmelserna är baserade på tillåtna påkänningar framgår inte uttryckligen vilka brottsäkerhetsövertäckanden som gjorts för olika slag av konstruktioner. Att ange marginalen utöver tillåten last av en säkerhetsfaktor från fall till fall låter sig inte göra, då en rad föreskrifter påverkar denna såsom med avseende på konstruktiv utformning, utförande, kontroll, provningsförfarande, belastning och ogynnsam lastställning.

Förenklat kan sägas att förhållandet mellan observerad snittkraft vid brott och tillåten snittkraft vid känd last, kända dimensioner och materialhållfasthet valts till lägst ca 1,8 då armeringen är avgörande för brottet och till större värde då betongen är avgörande. Bestämmelserna tar hänsyn till i huvudsak följande osäkerheter.

- a. osäkerheter i lastantaganden
- b. osäkerheter i geometriskt avseende
- c. osäkerheter i materialhållfasthet
- d. osäkerhet i beräkningsförutsättningarna.

I en amerikansk forskningsrapport [4] av R.F. CONARD har föreslagits att säkerhetsfaktorn skall sättas lika med 4. Man utgår då ifrån en last som ger förskjutningen 1,27 mm och lägger på denna definierade brottlast säkerhetsfaktorn enligt ovan. Det finns med de antaganden som gjorts i denna rapport om förbandets brottlast och därav maximerad deformation anledning att minska säkerheten jämfört med den av CONARD föreslagna.

Om säkerhetsfaktorn sätts till 3 och man överför den i rapporten föreslagna brottlasten till ungefär samma brottlast som legat till grund för säkerhetsbedömningen i den amerikanska forskningsrapporten, befinnes att säkerhetsfaktorn är $3/0,7 = 4,3$. För i Sverige typgodkända expander-skruv, har tillåtna laster lagt på ett karakteristiskt brottvärde bestämt på statistisk väg baserat på säkerhetsfaktorn 3 för dragbelastade skruvar.

Med beaktande av att de förband som provats under långtidslast, visserligen vid höga påkänningar, visat tendens till kvarstående deformationer kan en säkerhetsfaktor omkring 3 synas befogad när injekteringens och betongens hållfasthet är avgörande. Däremot då armeringen är avgörande för brottet kan det anses befogat att tillämpa de efter svenska betongbestämmelserna föreslagna säkerheterna 2 för kamstål \varnothing 25 och 1,8 för kamstål \varnothing 16.

Om ovanstående skisserade säkerhetsövertväganden appliceras på brottlasterna P_B erhålls tillåtna laster P_{till} som approximativt kan tecknas $P_{till} \approx k_1 \cdot L$.

För kamstål Ks 40 armeringsdiameter \varnothing 25 är $k_1 = 18,2$ kp/mm och för armeringsdiameter \varnothing 16 är $k_1 = 13,2$ kp/mm. Maximalt tillåten last för injekterade armeringsstänger bestäms dock av gränslasten P_s .

6.3 Rekommendationer och anvisningar

För i betongkonstruktioner förankrade stänger via injektering kan i figurer 67 och 68 angivna tillåtna laster för kamstål $\varnothing 25$ och $\varnothing 16$ tillämpas. Kurvorna har begränsad giltighet beroende på hur injekteringen utförts. De tillåtna lasterna äger giltighet om nedan angivna förutsättningar och anvisningar kan anses uppfyllda.

Förutsättningar för kurvornas giltighet:

1. Borrhålsdiameter för $\varnothing 25$ $40 \leq D \leq 50$ mm
 $\varnothing 16$ $25 \leq D \leq 30$ mm
2. Brukskvalitet: blandning 1:1, vct 0,5, övre kornstorleksgräns 2 mm.
3. Armeringskvalitet $K_s 40$
4. Kant- och hörnavstånd se figur 69.
5. Armeringen monteras i betong av lägst hållfasthetsklass K 250.
6. Minsta inbördes avstånd $c \geq 5D$
7. Vid injekteringen bör företrädesvis sådant cement väljas, som ger ringa vattenseparation och ej har speciellt kort bindetid. Vidare bör ett cement användas som har god volymbeständighet.
8. Tillåtna laster avser statisk last vid vanligt belastningsfall enligt SBN. Vid exceptionellt belastningsfall tillåts 20 % högre laster.
9. Injekteringen skall till största delen vara utförd i sådana delar som ligger utanför konstruktionens dragzoner.

Kurvorna är beräknade från provningsmaterial där ett visst arbetsutförande tillämpats. Avvikelser från rekommenderat arbetsutförande enligt nedan, kan om det ej tillämpas helt spoliära förbandets hållfasthet. Arbetsutförandet bör inte frångås om inte särskild utredning visar att förbandet erhåller likvärdig hållfasthet.

Förarbeten

Innan injekteringsbruk anbringas, skall tillses att snö, is eller vatten liksom lös betong, borrhåll och andra föroreningar noggrant avlägsnas ur borrhålen.

Samtliga hål skall tryckluftsblåsas.

Ytan skall vidare vara rå och ojämn så att bästa möjliga vidhäftning erhålles.

Slagborrning är att föredra framför diamantborrning.

Före injektering skall betongfundamentet vara noga genomvattnat. Eventuellt överskottsvatten avlägsnas dock före injekteringen.

Injekteringsbrukets bearbetning

Injekteringsbruket skall ifyllas och bearbetas på sådant sätt, att separation av delmaterialen undvikas.

Efterbehandling

Nygjutna hål skall noga skyddas mot regn, snö, uttorkning och kyla. Vid gjutning i torr och varm väderlek eller när injekteringsmassans vattencementtal är lågt bör härdning ske med vattenbegjutning.

Gjutning vid kall väderlek

Vid gjutning i kall väderlek får injekteringsbrukets temperatur inte på något ställe understiga 0°C , förrän erforderlig härdning uppnåtts. Arbeten får inte företas om den omgivande luftens temperatur är lägre än $+5^{\circ}\text{C}$, såvida inte sådana anordningar vidtages att injekteringsbruket vid gjutning har en temperatur av lägst $+5^{\circ}\text{C}$. Injektering får ej heller verkställas mot yta, vars temperatur understiger $+5^{\circ}\text{C}$, såvida ej särskild utredning visar att injekteringsbruket i gränsytan likväl uppnår föreskriven härdning enligt Statens Betongkommittés utgåva Bestämmelser för betongkonstruktioner B5, 1965.

Fortlöpande provning

För att kontrollera att det injekterade förbandet uppfyller ställda fordringar på lastupptagningsförmågan skall fortlöpande provning utföras.

Provning utföres på byggnadsplatsen då särskild betongkontrollant eller annan av vederbörande myndighet utsedd person finnes och denne är närvarande vid provningen.

Om antalet injekterade stänger är mindre än 10 skall minst 5 stänger provdras. Är antalet injekterade stänger mindre än 5 skall samtliga stänger provdras.

Om antalet stänger överstiger 10 skall för varje påbörjad grupp om 20 stänger uttas ytterligare 2 stänger för kompletterad provning.

Provdragning utföres med speciell domkraft som är försedd med ett centriskt hål. Till domkraften ansluten manometer skall vara noggrant kalibrerad före provdragning. Provdragning utföres då injekteringsbruket uppnått lägst 85 % av normaltidshållfastheten (28 dygns härdning). De utvalda stängerna provdras till 1,5 ggr dimensionerad last som skall anges på ritning.

Om vid provdragning släpp kan konstateras i igjutningen skall ytterligare järn provdras. Om lossdragning förekommer skall samtliga förankringsstänger provdras.

När provningen utföres på byggnadsplatsen, skall provningsjournal föras, av vilken såväl provningsresultat som uppgifter enligt B5 5:32 i tillämpliga delar skall framgå.

7. PRAKTISK ANVÄNDNING AV INJEKTERINGSFÖRBAND INOM BYGGNADSVERSAMHETEN

7.1 Allmänt om metodens möjligheter och en jämförelse med kon- ventionella metoder

Utvecklingen inom byggnadsverksamheten går mot rationellare enklare arbetsmetoder. Från att ha varit en hantverksbetonad verksamhet har byggandet i dag utvecklats till en alltmer högmekaniserad industri. Det mest påtagliga beviset härpå är prefabricering av byggdelskomponenter (småhus, våtrum, bjälklagselement, ytterväggsselement o.s.v.). Men det gäller även i hög grad för platsbyggda byggdelar. När en ny mekaniserad arbetsmetod har lanserats i byggindustrin har den många gånger till en början visat sig kostsam. Allteftersom metoden vidareutvecklats och anpassats till att bli en praktiskt användbar metod har den också vunnit ökad användning. Från början insåg man inte alla positiva bieffekter som sammantaget gett ekonomiska besparingar och inneburit rationellare, enklare och mer tidsbesparande arbetsmetoder.

Genom att använda metoden med injekteringsförankring kommer en rad arbetsmetoder att påverkas och förändras. Lika väl som håltagningsmetoder med diamantbormaskiner vunnit allt större användning eller tekniken att utföra infästningar för måttliga laster med expander-skrivar gjort stora framsteg så bör även injekteringsförankring av olika typer för förankring av stora krafter vara intressant.

De mest påtagliga orsakerna till att den konventionella metoden (förankringsjärnen ingjutes i samband med gjutningen av själva betongkonstruktionen) i jämförelse med injekteringsförankring i efterhand har olägenheter redovisas i det följande;

Utsättning och kontrollinmätning är besvärligare och mer tidsödande att genomföra bland armeringsjärn och formar vilket man gör enligt det konventionella utförandet. I injekteringsalternativet göres utsättningen på den färdiggjutna betongkonstruktionen varvid man har ett stadigt och jämnt underlag som dessutom är lätt att göra markeringar på.

Toleransnoggrannheten blir avsevärt bättre med injekteringsförankringsmetoden. Med den konventionella metoden däremot inträffar det alltför ofta att förankringsjärn har gjutits in med så dålig noggrannhet att de måste skäras av och en ny injekterad förankring måste borraras och injekteras fast i det riktiga läget. När det gäller förankringsbultar för stålpelare som gjutits in med för dålig tolerans brukar man mestadels skära upp större hål i pelarens fotplåt för att kunna montera pelaren i avsett läge.

Det är alltid besvärligt och kräver ofta specialarrangemang att montera förankringsjärn tillräckligt stabilt bland armering och betongformar före gjutningen vilket man måste göra när man tillämpar den konventionella metoden. Betonggjutningarna måste dessutom utföras med en viss försiktighet och de uppstickande järnen utgör alltid ett visst hinder vid gjutningen.

De ur den färdiggjutna betongkonstruktionen uppstickande förankringarna utgör alltid ett hinder för alla de arbeten som skall utföras fram till dess den anslutande konstruktionen skall formas eller monteras. Framkomligheten på arbetsplatsen blir något begränsad. Vissa arbetsmaskiner kan hindras att arbeta störningsfritt. Uppstickande armering utgör också alltid ett hinder där den aktuella betongytan skall avjämnas med vibrobrygga. Dessutom utgör den ingjutna uppstickande armeringen alltid en risk för personskador och olycksfall. Arbetskyddstekniskt är det således en fördel med i efterhand injekterad förankring.

Om metoden med injekteringsförankring har någon belastning så torde det vara att man inför nya arbetsoperationer som kräver en speciell maskinell utrustning. Borrningen utföres lämpligast med en kedjematad tryckluftsdreven slaghammarborr. Om det är frågan om mindre omfattande borrningar som utföres successivt utspritt under byggnadstiden kan handstyrd tryckluftsborr mycket väl användas. Själva injekteringen däremot är mycket enkel att utföra och kräver ingen speciell utrustning.

7.2 Utformning av injekteringsförband

Säkerhetsaspekter

Normalt borde injekteringsförbandet vara så utformat och utfört att brott uppstår i järnet innan någon form av utdragsbrott inträffar. Olika faktorerers inverkan på brotthållfastheten har utprovats och utvärderats i de tidigare avsnitten.

Det är endast vidhäftningsutdragsbrott som analyserats i denna forskningsrapport. När det gäller konutstansningsbrott finns detta behandlat i en rad andra utredningar. För injekteringsförband med koncentrerade långsträckta dubbelradiga förankringsjärn kan konutstansningen vara dimensionerande för injekteringslängden. Detta kan förekomma för skorstenar, kraftiga pelare och liknande som alltid måste kontrolleras för konutstansningsbrott.

Utdragshållfastheten är dock ytterligt beroende av noggrannheten i utförandet. Försöksresultaten vid torra, dammiga hål visar att låga och ojämna värden på utdragshållfastheten erhålles. Om man således ställer höga krav på utförandet och kontrollen kan de värden, som redovisas i figur 67 och 68 på erforderligt borrhålsdjup tillämpas.

Frågan man ställer sig då är; Är det rimligt att kunna ställa dessa höga krav på noggrannheten i arbetsutförande och kontroll ute på en arbetsplats. Slutliga hållfastheten i ett injekteringsförband är beroende av kvaliteten i material och i än högre grad arbetsutförandet. Sannolikheten för att fullgod säkerhet skall innehållas är mindre ju fler faktorer som det färdiga förbandet är beroende av.

Utdragshållfastheten i ett injekteringsförband beror på ett tiotal olika faktorer.

1. Borrhålsdjup
2. Borrhålsdiametern
3. Rengörning av borrarat hål
4. Nedsmutsning av borrarat hål
5. Fuktning av hål före injekteringen
6. Betongkvalitet i fundament

7. Injekteringsbrukets kvalitet
8. Injekteringens noggrannhet (risk för dålig utfyllnad, utvibrering av bruksmassan)
9. Låsning av järnet efter injekteringen och intill dess bruket erhållit erforderlig härdning.
10. Frysingsrisk av bruket före härdningen.
11. Spänningstillstånd i den aktuella delen av betongkonstruktionen.

Sannolikheten för att de olika arbetstempona inte skall bli tillräckligt noggrant utförda varierar sinsemellan och beror inte enbart på den enskilde arbetarens ansvarskänsla utan även av arbetsplatsförhållanden och väderlek. För vissa arbetstempon 1, 6 och 7 torde risken för undermåligt utförande vara låg. För andra 4 och 10 torde risken för undermåligt utförande bero på yttre omständigheter.

(Större risk i lerig grund än uppe på ett betongvalv,

" " vid regnig väderlek än vid uppehållsväder,

" " under vinterhalvåret än under sommarhalvåret).

Slutligen övriga faktorer (2, 3, 5, 8 och 9) beror på **arbetarnas noggrannhet** vid utförandet och är således omöjligt att generellt bedöma.

Med omfattande kontroll kan naturligtvis säkerheten öka och med efterkontroll i form av provdragning kan ända upp till fullständig förvisning erhållas.

Kravet på säkerhet kan variera beroende på vilken typ av konstruktion det är fråga om. Sådana förankrade konstruktioner, som i färdigbyggt skick verkligen är beroende av fullgod förankring (för att säkerheten mot allvarliga skador eller kollaps skall vara tillräcklig), måste kravet på tillförlitligheten i förankringarna vara mycket hög. Som exempel på denna typ av konstruktioner kan nämnas torn, skorstenar, master, hängande infästningar, för stomstabilisering erforderliga inspända pelare o. likn.

Det finns en annan typ av förankrade konstruktioner där man skäligen inte skulle behöva kräva samma höga säkerhet. Dessa förankringar kännetecknas av låga påkänningar i färdigbyggt skick. De har sin främsta uppgift under byggnadstiden då de stabiliserar enskilda byggdelar intill dess

anslutande konstruktioner kommit på plats. Dimensionerande överkande krafter utgöres av vindtryck på den enskilda delen, stötar från svängande laster o. likn. Säkerheten mot kullstjälpling av enskild byggnadsdel under byggnadstiden skall givetvis vara helt betryggande gentemot vindlaster. Om endast detta krav skall vara dimensionerande utnyttjas i flertalet fall inte de praktiskt förekommande infästningsjärnen mer än till en mindre del och därmed skulle man inte behöva ha full säkerhet på varje enskilt förankringsjärn. Som exempel på denna typ av konstruktioner kan nämnas infästning av pelare och väggar med normal våningshöjd, förankring emellan prefabricerade ytelement o. likn.

Erforderligt borrhålsdjup

Försöksresultaten visar att utdragshållfastheten är beroende av injekteringsdjupet upp till ett visst djup. Vid större djup har - om förbandet utförts noggran i försöken - järnets hållfasthet varit dimensionerande för förbandets brotthållfasthet. Om förbanden ute i praktiken kan erhålla samma goda utförande som vid försöken så skulle borrhålsdjupen enligt figurer 67 och 68 kunna tillämpas. Beroende på konstruktionstyp, omfattningen av kontroll vid utförandet, arbetsplatsförhållanden, väderlek och omfattningen av provdragning kan man tänka sig olika grader av ökning av erforderligt borrhålsdjup.

Lämplig borrhålsdiameter samt minsta borrhålsavstånd

Provningarna utvisar att om alltför stor håldiameter i förhållande till stängdiametern väljes så minskar brotlasten. Detta beror sannolikt på krympning i injekteringsbruket. Lämpliga håldiameterintervall för förankring av kamstänger är;

Kamstångsdiameter	Ø 12	Ø 16	Ø 20	Ø 25	Ø 32
Håldiameterintervall	20-25	25-30	30-40	40-50	45-60

Toleranserna i hålets lutning bestämmer erforderligt minsta hålavstånd. Man kan antaga att avvikelser från lodräta linjen ej överstiger 1:10. Vidare bör tjockleken av betongväggen mellan två intilliggande hål vara minst = borrhålsdiametern för att inte betongväggen mellan hålen

skall skadas vid borrningen.

$$\begin{aligned} \text{Ovanstående skulle medföra att minsta hålavstånd blir} &= \\ &= 2 \cdot D + 2 \cdot \frac{1}{10} \cdot L \end{aligned}$$

$$\text{Håldiametern} = D$$

$$\text{Håldjupet} = L$$

$$\begin{aligned} \text{För 40 mm:s hål och 800 mm:s håldjup blir minsta c/c-avstånd} &= \\ &= 240 \text{ mm.} \end{aligned}$$

Om hålen kan borraras med någon avsiktlig lutning från varandra torde hålavståndet kunna minskas något.

Dock skall enligt kapitel 6 hålavståndet alltid vara minst = $5 \cdot D$.

Förankringsarmering. Dimensioner, kvaliteter och tillåtna krafter

De vanligaste dimensionerna för förankringsarmering kommer sannolikt att vara $\varnothing 16$ och $\varnothing 25$ mm i kvalitet Ks 40 eller Ks 60. Tillåtna belastningar vid betryggande förankring framgår av tabell 8. I tabellen har även medtagits dimensionerna $\varnothing 12$, $\varnothing 20$ och $\varnothing 32$ mm. I kvalitet Ks 60 finnes endast dimensioner upp till max $\varnothing 16$ och i kvalitet Ks 60s förekommer upp till max $\varnothing 25$ mm.

Som tillåtna spänningar i tabellen räknas med

2200	kp/cm ²	för $\varnothing \leq 16$	Ks 40	grupp A
2000	"	" $\varnothing \leq 16$	Ks 40	" B
2000	"	" $\varnothing > 16$	Ks 40	" A
1900	"	" $\varnothing > 16$	Ks 40	" B
3300	"	" $\varnothing \leq 16$	Ks 60	" A
2500	"	" $\varnothing \leq 16$	Ks 60	" B

Belastningsfall	Vanligt belastningsfall				Exceptionellt belastningsfall			
	12	16	20	32	12	16	20	32
Ammeringsdimension								
Ks 40, Gr A, P _{fill} (Mp)	2,49	4,42	6,28	9,82	16,08	5,30	7,54	11,78
Gr B, P _{fill} "	2,26	4,02	5,97	9,33	15,28	4,82	7,16	11,20
Ks 60, Gr A, P _{fill} "	3,73	6,63			4,48	7,95		
Gr B, P _{fill} "	2,83	5,03			3,39	6,03		

TABELL 8 TILLÅTNA BELASTNINGAR PÅ FÖRANKRINGSARMERING (VID BETRYGGADE FÖRANKRING VAD AVSER VIDHÄFTNING OCH KONUTSTANSNING.)

Förankringsskruvar. Dimensioner, kvaliteter, gängtyper och tillåtna krafter

De vanligaste dimensionerna för förankringsskruvar torde vara \emptyset 16 (5/8"), \emptyset 20 (3/4"), \emptyset 25 (1") och \emptyset 32 (1 1/4"). De för gängning lämpligaste armeringskvaliteterna är Ks 40s och Ks 60s.

Sannolikt kommer inom en nära framtid armeringskvaliteter som är lämpligare för gängning.

Dessutom förekommer mer höghållfasta stålqualiteter typ 85/105 och 90/110 som då kan vara valsgängad i hela sin längd.

Två typer av gängning förekommer. Dels skuren gäng, dels rullad eller valsad gäng. Den förra typen lämpar sig för statiskt belastade förband samt för förspända dynamiskt belastade förband. Rullad gäng bör alltid användas i dynamiskt belastade ej förspända förband.

Vid skuren gäng reduceras tvärsnittsarean till den s.k. spänningsarean, vilken är mellan 75 och 80 % av nominella arean.

För rullad gäng reduceras tvärsnittsarean till ca 90 % av nominella arean.

Tillåtna påkänningar på skruvförband av armeringsjärnsqualiteter Ks 40s och Ks 60s finns ej direkt utskrivna i någon gällande norm. Om stålqualiteten kan klassas enligt nuvarande förslag till skruvförbandsnorm så kan en tillåten spänning tagas fram.

Kval.	σ_{str}	σ_{Br}	Skruvqual.beteckn.	σ_{till}
Ks 40s	40	65 - 70	6 . 7	1.600
Ks 60s	60	85 - 90	8 . 8	2.400

Beträffande verksam tvärsnittsarea och tillåtna skruvkrafter för qualiteterna Ks 40s och Ks 60s se tabell 9.

Dimension		Verksam tvärsnittsarea				Tillåten skruvkraft (Mp)			
Armering	Gång	Nominell	Skuren gång	Rullad gång	Skuren gång		Rullad gång		
					Vanl.	Exc.	Vanl.	Exc.	
Ks 40s Ø 16 Ø 20 Ø 25 Ø 32	M 16	2,01	1,55	1,81	2,48	2,98	2,89	3,47	
	M 20	3,14	2,42	2,83	3,87	4,64	4,53	5,44	
	1"	4,92	3,91	4,42	6,25	7,50	7,07	8,48	
	1 1/4"	8,05	6,25	7,23	10,00	12,00	11,57	13,88	
Ks 60s Ø 16 Ø 20 Ø 25	M 16	2,01	1,55	1,81	3,72	4,46	4,34	5,21	
	M 20	3,14	2,42	2,83	5,81	6,97	6,79	8,15	
	1"	4,92	3,91	4,42	9,38	11,25	10,60	12,72	

TABELL 9 VERKSAM TVÄRSNITTSAREA OCH TILLÅTNA SKRUVKRAFTER PÅ FÖRANKRINGSSKRUVAR AV KVALITET Ks 40s OCH Ks 60s. (VID BETRYGGANDE FÖRANKRING VAD AVSER VIDHÄFTNING OCH KONUTSTANSNING.)

7.3 Arbetsutförande av injekteringsförband

Borring av hål

Enligt provningsresultaten uppnås högre utdragsvärden ju skrovligare hålväggsytan är. Av den anledningen bör hålen upptagas medelst borring med slaghammarborr. Borring med enbart roterande diamantbormaskin är således icke tillrädligt vid praktisk användning.

Flera metoder att i efterhand "rugga upp" eller skrovliggöra hålväggen har studerats. En idé är att använda ett snabbroterande verktyg med rivspetsar som av centrifugalkraften pressas ut mot hålväggen. En annan är ett långsamt roterande verktyg som genom neddrivning av kilar pressas mycket hårt mot hålväggen. Någon praktiskt användbar metod har dock ej kunnat tagas fram inom ramen för detta forskningsprojekt.

Rengörning och skyddande av upptagna hål

Av försöksresultaten framgår att utdragshållfastheten påverkas i mycket hög grad av mängden smuts som finns kvar i hålet vid injekteringstillfället. Av den anledningen måste hålen rengöras mycket noga för att man skall kunna få tillgodoräkna sig försöksresultatens höga utdragsvärden. Alternativt skulle man kunna tänka sig att öka säkerheten genom att göra hålen djupare.

Om man väljer rengörning - vilket man måste göra om den aktuella betongkonstruktionen har begränsad tjocklek och man samtidigt måste utnyttja järnets tillåtna draghållfasthet - så måste rengörningen utföras mycket noggrant och under stark kontroll t.ex. enligt följande förslag;

Direkt efter borring renblåses hålet medelst tryckluft, som matas ner till hålets botten med ett ca 10 mm tjockt metallrör. Tryckluftsblåsningen utföres under så lång tid att lösa partiklar hinner följa med strömmen upp över hålkanten.

När ett hål rengjorts plomberas det med en plastplugg el. likn. varefter rengörning av nästa hål påbörjas.

Fukthållning före injektering

Vidhäftningen mellan hålvägg och injekteringsbruk är i hög grad beroende av fukthållningen före injekteringen. Hålet hålles fyllt med vatten under minst 10 timmar före injekteringen. Borrhålen tömmas någon stund före injekteringen och det tillses att inget fritt vatten står kvar i hålet när injekteringen påbörjas.

Injektering

Hålet fylles med bruksmassa. Förankringsjärnet föres ner i det bruksfyllda hålet. Järnet stötes ett tiotal gånger mot botten. Bruksmassan vibreras genom att man slår många lätta slag med en hammare mot järnet. Bruksmängden i hålet måste från början vara så stor att någon del svämmar över hålmynningen. Översvämmat bruk avlägsnas från fundamentöverkant. Järnet måste fixeras centriskt i hålmynningen med hjälp av plastkilar eller likn. Fixeringen är nödvändig där det föreligger risk för att järnet kan stötas till under det fortsatta arbetet innan bruket erhållit tillräcklig härdning.

Injektering vid kall väderlek

Resultatet av injektering vid kall väderlek kan bli mycket dåligt. Det är temperaturen i injekteringsbruket under den första delen av härdningsprocessen som har avgörande inverkan på förbandets hållfasthet. Om frysning av bruket ej inträffar under de tre första dygnen efter injekteringen så torde inte förbandets hållfasthet påverkas i någon nämnvärd grad.

Även om det varit plusgrader under flera dygn så kan tidigare ackumulerad kyla i betongfundamentet göra att injekteringsbruket fryser efter en ganska kort tidsperiod. Visserligen utvecklas någon värme under injekteringsbrukets härdning men genom att injekteringsbrukets massa i regel är så mycket mindre än betongkonstruktionens så räcker det inte alls till för att förhindra frysning.

Man kan eliminera risken för frysning genom att värma hela fundamentet före injekteringen. Detta förfaringssätt förefaller dock att vara opraktiskt och inte helt tillförlitligt.

För att före injekteringen förvissa sig om frysrisk föreligger eller ej kan man låta borrhålen vara vattenfyllda något dygn. Därefter kan man om vattnet har frusit eller ej konstatera om fundamentets temperatur ligger över eller under frysstrecket.

Injektering som utföres under tid då temperaturen någon gång under dygnet kan understiga 0° måste skyddas med isolermattor eller genom värmeförsel under täckning.

Betongbestämmelsernas regel om förbud av betonggjutning mot ytor med temperatur understigande $+ 5^{\circ}$ gäller även förankringsinjektering.

Undersökning av hållfastheten i injekteringsförband utförda under kalla väderleksförhållanden ingår ej i denna rapport. Det finns olika tillsatsämnen att användas vid brukstillblandningen för att motverka hållfasthetsättning p.gr. av frysning i bruket. Även helt andra typer av injekteringsmassor (ex.vis 2 komponent epoximassor) kan vara säkrare ur frysningssynpunkt.

7.4 Kontroll av injekteringsförband

Kontroll måste utövas dels i samband med arbetsutförandet, dels genom att provdraga förankringsjärnen efter injekteringsbrukets härdning.

Hur omfattande kontrollen skall behöva vara beror på några olika faktorer.

Konstruktionstyper med högt utnyttjade injekteringsförband och med risk för skador vid undermålig förankring kräver omsorgsfull kontroll. För konstruktioner med endast lågt utnyttjade injekteringsförband kan man låta sig nöja med en viss begränsad kontroll.

Yttre förhållanden såsom förankringens belägenhet i byggnaden, väderleken o. likn. borde också vara styrande för omfattningen av erforderlig kontrollinsats.

Kontroll av noggrannheten vid utförandet är inte lika effektiv som en provdragningskontroll i efterhand. Därför synes det mest rationellt och säkrast att göra provdragningskontroll. Typ av konstruktion och yttre svårighetsförhållanden får bestämma kontrollens omfattning.

Övervakande kontroll av arbetsförfarandet utföres av kontrollant som själv får bära ansvaret för att utfärdade anvisningar efterföljs. Bästa resultat erhålles om kontrollen göres aktiv t.ex. genom att för varje injekterad stång skall en rad kontrollpunkter genomås och resultaten bokföras.

Provdragningskontroll kan göras 28 dygn efter injektering. Om tidsutrymme inte finns för detta kan provdragningskontroll utföras 7 eller t.o.m. 3 dygn efter injektering om injekteringsbrukets kvalitet tagits till så högt att man inte förstör injekteringsförankringen med provdragningskontroll efter så kort tid.

Provdragningskontroll utföres med manometerförsedd domkraft som har genomgående centriskt hål. Domkraften träs ner över förankringsstången och placeras på avväxlingsprofiler för att få ut trycklastytan ca 20 cm

utanför förankringsstången. Provdragningen utföres sedan till en last av förslagsvis 1,5 gånger tillåten belastning på förankringsjärnet.

7.5 Metodens inverkan på projektering

Allmänna synpunkter.

Man kan uppnå en rad fördelar i projekteringen av nybyggnader om man vid den tidpunkten bestämt sig för att tillämpa injekteringsförankring vid byggandet.

Det är möjligt att rita och även bygga grundkonstruktionerna utan att vertikalbärningens exakta utformning i understa våningsplanet är bestämt. Normalt måste byggnadens stomsystem, våningsantal o. likn. primära data vara kända ty man måste kunna ange läget och storleken på vertikallasterna för att kunna dimensionera själva grundkonstruktionerna. Denna möjlighet är fördelaktig att kunna använda om bygget måste startas hastigt eller om man på grund av exempelvis hyresgästönskemål önskar dröja i det längsta med besked om utformningen av vertikalbärverk i understa våningen.

Går man ytterligare ett steg och utformar grundkonstruktionen som en jämnstark mycket kraftig betongplatta på hela byggnadsytan så kan en fullständig frihet vad gäller vertikalbärningens placering uppnås. Denna metod innebär en viss fördyring jämfört med det fall att man dimensionerar grundkonstruktionerna efter exakt givna placeringar. Det högre priset får man således betala för flexibiliteten vid inplacering av stommens vertikalbärverk. Detta system för grundläggning, vilket förutsätter att man gör erforderliga förankringar medelst injekteringsförband i efterhand, kan benämnas "funktionsanonym grundläggning".

7.6 Möjliga användningsområden

Injekteringsförband kan tänkas komma till användning för en rad olika infästningsbehov inom byggnadsverksamheten.

1. Infästning av platsgjutna betongkonstruktioner

- 1a. Förankring av platsgjutna betongtorn och betongskorstenar som i normala fall förankras i kraftiga grundfundament för mycket stora krafter med tätt placerade grova armeringsjärn.
- 1b. Förankring av platsgjutna betongpelare som i normala fall förankras med 4 à 8 armeringsjärn med dimension $\varnothing 16 - \varnothing 25$.
- 1c. Förankring av platsgjutna betongväggar som i normala fall måste förankras med armeringsjärn med dimension $\varnothing 10 - \varnothing 16$ placerade på inbördes avstånd 150 - 300 mm.
- 1d. Förankring av säkerhetsarmering till betongväggar.

2. Infästning av prefabricerade betongkonstruktioner

- 2a. Förankring av prefabricerade torn och skorstenar utförda av stål eller betong som skall förankras i grundfundament med grova grundskruvar.
- 2b. Förankring av prefabricerade pelare utförda av stål eller betong som skall förankras i platsgjutna betongkonstruktioner, med grundskruvar i normala fall. 4 - 8 st $\varnothing 16 - 25$ mm.
- 2c. Förankring av kompletterande hophållningsförband i elementbyggen för att öka säkerheten gentemot serieras.
- 2d. Förankringar emellan prefabricerade betongelement
 - dels emellan olika bärande element ex.vis infästning av balk till pelare, infästning av bjälklagselement till balkar eller väggar
 - dels emellan olika ytelement för att erhålla vinkelement eller volymenheter.

- 2e. Infästning av provisoriska stagningar under montageskeden.
- 3. Förankringar av ombyggnader
 - 3a. Förankring för förstärkning av den bärande stomkonstruktionen vid om- och påbyggnad.
 - 3b. Förankring av kompletterande konstruktioner för avvaxlingar vid ombyggnader.
 - 3c. Förankring av kompletterande hophållningsförband för att öka säkerheten mot serieras i gamla byggnader.

4. Förankring av vertikalbärverk i valfria lägen på funktionsanonyma grundkonstruktioner

Detta förfaringssätt innebär att grundkonstruktionerna till en byggnad utformas så att vertikalbärverken kan placeras fritt inom vissa ytor. Därvid har man möjlighet att vänta i det längsta med beslutet om exakt lägesplacering av vertikalbärverken som då måste injekteringsförankras.

8. LITTERATUR

- 1 ANCHOR BOLTS SET IN DRILLED HOLES
Post C., L.
ACI journal proc., 43 (1947) nr 7, 882-4
- 2 ANCHOR BOLTS SET IN DRILLED HOLES
Richard E., L.
ACI journal proc., 44 (1947) nr 1, 81-2
- 3 MECHANICAL FASTENERS FOR CONCRETE
ACI special publication, (1969) nr 22
- 4 TESTS OF GROVTEG ANCHOR BOLTS IN TENSION AND SHEAR
Conard R., F.
ACI journal proc., 66 (1969) nr 9, 725-8
- 5 ERMITTLUNG DER HAFTFESTIGKEIT VON VI - VERGUSS-
MÖRTEL AN RIPPENTORSTAHL
Staatliches Materialprüfungsamt. Nordrhein-Westfalen
bericht nr. 23 - 20011/69, 1970
- 6 ON THE NEED TO CONSIDER THE INFLUENCE OF LATERAL
STRESSES ON BOND
Leonardt F.
RILEM SYMPOSIUM ON BOND AND CRACK FORMATION IN
REINFORCED CONCRETE, I (1957)
- 7 OM SAMMANSATTA BALKAR OCH PELARE MED SÄRSKILD
HÄNSYN TILL SPIKADE TRÄKONSTRUKTIONER
Granholm H.
CTH, (1949) handling nr 88
- 8 VIDHÄFTNINGENS BEROENDE AV KAMAREA OCH KAMAVSTÅND
HOS ARMERINGSSTÅL
Bernander K., H.
BETONG 1952 sid. 1

- 9 BETONBLANDNINGENS INVERKAN PÅ KRYMPNINGEN
Ödman S.T.A
Byggmästaren, (1969) nr 6
- 10 VERANKERUNG UND KALTSTRECKEN VON BEWEHRUNGS-
EISEN
Forsell C.
Schweizer Archiv für angewandte Wissenschaft und Technik,
(1950) juli

R 35: 1975

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag C 981 från Statens råd för byggnadsforskning till Arne Johnson Ingenjörbyrå, Stockholm.

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

Pris: 23 kronor + moms