

Rapport

R4:1970

TEKNISKA HOGSKOLAN I LUND
SEKTIONEN FOR VAG- OCH VATTEN
BIBLIOTEKET

**Reparation av gjutsår
hos betongkonstruk-
tioner medelst injek-
tering under tryck**

Lars-Erik Larsson

Emilis Purins

Byggforskningen

Reparation av gjutsår hos betongkonstruktioner medelst injektering under tryck

Lars-Erik Larsson & Emilis Purins

Föreliggande undersökning har kommit till stånd med anledning av de gjutsår som konstaterades vid avformning av betongfarbanan till en av de i Tingstadsleden ingående vägportarna. För att undersöka möjligheten att reparera ifrågavarande skador uppgjordes ett provningsprogram. Reparationen skulle utföras genom att injektera gjutsåren med injektionsbetong under tryck dels med och dels utan plastlimning i gränsytan mellan injekteringsbetong och ursprunglig betong. Försöken utfördes under våren och sommaren 1966.

Undersökningen har i allt väsentligt följt det uppgjorda provningsprogrammet, som omfattade reparation av åtta provplattor med arrangerade gjutsår. Provplattorna utfördes med måtten $1 \times b \times h = 250 \times 100 \times 30$ cm och armerades enligt programmet. Undersökningen kompletterades med förförsök på två stycken extra provplattor. De extra provplattorna hade samma mått och armering som övriga men göts med snabbcement.

Resultatet från provningarna framgår av tabeller och diagram i rapporten. De senare visar resultatet från provning av draghållfastheten bestämd genom provdragning i Alpha-

maskin av borrhärnor resp. lossdragning från provplattan av borrhärnor medelst Hilti-Tester. Draghållfasthetsprovningarna utfördes programenligt. Försöksresultatet visar att reparation med plastlimmat utförande ger högre hållfasthetsvärden än lagning utan användning av plastlim. En del försök utfördes med sandblästring av den ursprungliga betongytan före plastlimningen eller (vid utförande utan plastlim) före injekteringen. Vid användning av plastlim synes sandblästringen icke ha inneburit någon förbättring av hållfasthetsegenskaperna, medan den däremot vid förförande utan plastlim förefaller att i någon mån ha förhöjt vidhäftningen mellan ursprunglig betong och injekteringsbetong. Medelvärde för hållfastheten i samtliga försök med plastlim uppgick till 15,2 kg/cm² vid dragprovning i Alpha-maskin och 12,9 kg/cm² vid dragprovning med Hilti-Tester. Motsvarande värden för utförande utan plastlim uppgick till 9,6 kg/cm² resp. 11,3 kg/cm². Vid beräkning av det sistnämnda värdet har dock undantagits 4 prov med mycket låga hållfasthetsvärden. Orsaken till de låga värdena synes vara uppträdande böjning i borrhärnorna vid provdragning till

Vid stora betongarbeten är det ofta viktigt att kunna gjuta även mycket stora enheter i en följd utan att behöva anordna gjutfogar. Ett exempel är farbaneplattor till broar. Vid gjutning av en i Tingstadsleden (Göta älv) ingående vägport uppträdde sårigheter på plattans undersida. Skadorna reparerades på grundval av de forskningsresultat som redovisas i denna rapport. Undersökningarna hade verkställts vid Chalmers Tekniska högskolas institution för byggnadsteknik. För de praktiska arbetena svarade Stabilator AB, Stockholm.



Exempel på gjutsador som efter formrivning konstaterades på undersidan av en vägport och som reparerades i enlighet med den i rapporten angivna metoden.

UDK 693.546.3
693.548

Sammanfattning av:

Larsson, L-E, & Purins, E, 1970, *Reparation av gjutsår hos betongkonstruktioner medelst injektering under tryck* (Statens institut för byggnadsforskning) Stockholm. Rapport R4: 1970. 60 s., ill. 13 kr.

Distribution: Svensk Byggtjänst, Box 1403, 111 84 Stockholm. 08-24 28 60.

Abonnemangsgrupp: (k) konstruktion

följd av excentricitetsmoment. Vid de programenligt utförda skjuvproven har högre hållfasthetsvärden erhållits med plastlimmat utförande än i försök utan plastlim, se tabell 3 där medelvärden på skjuvhållfastheten för utförande med plastlim uppgick till $\tau = 33,0 \text{ kg/cm}^2$ och utan plastlim till $\tau = 13,7 \text{ kg/cm}^2$.

I efterhand sågades provkropparna sönder för okulär besiktning av limfogarna. Vid okulär besiktning av provplattornas underytter efter injektering har en del oregelbundenheter kunnat iakttagas. En del stenar som under injekteringen vilade direkt mot formen hade icke fullständigt omslutits av injekteringsbruk. Av försöken framgår att en effektiv vibrering av formen vid injektering ger ett gott resultat. I de fall där vibreringen varit

effektiv har hela den injekterade betongmassan uppvisat mindre förekomst av porositeter än eljest.

En del undersökningar har samtidigt utförts för att utröna inverkan av förfarande med plastlim på armeringsjärnens ytegenskaper. Det visade sig förenat med vissa svårigheter vid påstrykning av plastlimmet att hindra att en del plastlim droppade ned på armeringsjärnen och fastnade där. Genom utdragsprov konstaterades att järnens vidhäftningsförmåga i någon mån nedsattes (försämring i försöken maximalt 33 %) genom det neddropade plastlimmet.

Sammanfattningsvis kan följande anföras. En fördel vid utförande med plastlim är att högre hållfasthetsvärden på vidhäftningen mellan ursprunglig betong och injekteringsbe-

tong erhålles. En nackdel är den strängare och svårare kontroll av arbetsutförandet, som erfordras vid plastlimmat utförande med hänsyn till att vissa krav på temperatur och tid för arbetsutförandet måste uppfyllas. Därtill kommer en något försämrad vidhäftningsförmåga för armeringsjärnen. Till fördel för förfarande utan plastlim talar att ett enklare och tillförlitligare arbetsutförande möjliggöres. Ett utförande med reparation av gjutsåren utan användning av plastlim i fogningen mellan ursprunglig betong och injekteringsbetong vore att föredra under förutsättning att de uppnådda värdena på draghållfastheten och skjuvhållfastheten i skiljeytan mellan ursprunglig betong och injekteringsbetong bedöms tillräckligt höga.

Repair of honeycombed sections in concrete structures by pressure grouting

Lars-Erik Larsson & Emilis Purins

This survey was conducted on account of the honeycombing found when formwork was struck from the concrete deck of one of the bridges on Tingstadsleden. A test programme was set up, in order to investigate the possibility of repairing this damage. The repair was to be carried out by pressure grouting the honeycombed sections both with and without the application of a plastic adhesive at the boundary surface between the grout and the original concrete. The tests were carried out during the spring and summer of 1966.

The investigation conformed in all essentials to the test programme which comprised repair of 8 test slabs with simulated casting blemishes. The test slabs had the dimension of $1 \times b \times h = 250 \times 100 \times 30$ cm and were reinforced in accordance with the programme. The investigation was complemented by preliminary tests on two additional test slabs. These additional test slabs had the same dimensions and reinforcement but were made with rapid-hardening cement.

The results of the tests are shown in tables and diagrams in the report. The latter show the results of tests on the tensile strength determined by means of testing cores in the Alpha tester and by

pulling cores out of the test slab with the Hilti-Tester. Tensile tests were carried out in accordance with the programme. The results of the tests prove that repair using a plastic adhesive produces higher strengths than that without the use of a plastic adhesive. A number of tests were performed in which the original concrete surface was sand blasted prior to application of the plastic adhesive or (when no plastic adhesive was applied) prior to pressure grouting. Sand blasting does not appear to have resulted in an improvement in the strength properties when the plastic adhesive was applied, while on the other hand it seems to have increased to some extent the adhesion between the original concrete and the grout when no plastic adhesive was used. The mean strength in all tests with plastic adhesive was 15.2 kg/cm^2 in tensile testing in the Alpha tester and 12.9 kg/cm^2 in tensile testing in the Hilti-Tester. Corresponding figures for grouting without the application of plastic adhesive were 9.6 kg/cm^2 and 11.3 kg/cm^2 respectively. In calculating the last of these strengths, however, four tests which showed very low strengths were not counted. The reason for the low figures appears to have been bending in the test cores



Example of honeycombing found on the soffit of a bridge after the formwork has been removed. This was repaired using the method described in the report.

National Swedish Building Research Summaries

R4:1970

In large concrete works, it is often important to be able to pour even very large units continuously without having to provide construction joints. One example of this is provided by the deck slabs of bridges. In the course of casting a bridge in Tingstadsleden (over the Göta River), honeycombing occurred at the soffit of the slab. This damage was repaired on the basis of research results of which an account is given in the report. The investigations were carried out at the Department of Building Technology of Chalmers Institute of Technology, while Stabilator AB, Stockholm, was responsible for the practical side of the work.

UDC 693.546.3
693.548

Summary of:

Larsson, L-E & Purins, E, 1970, Reparation av gjutsår hos betongkonstruktioner medelst injektering under tryck |Repair of honeycombed sections in concrete structures by pressure grouting |(Statens institut för byggnadsforskning) Stockholm. Rapport R4:1970. 60 p., ill. 13 Sw. kr.

Distribution: Svensk Byggtjänst, Box 1403, S-111 84 Stockholm, Sweden.

while under test as a result of eccentricity. In the shear tests performed in accordance with the programme, higher strengths were obtained when plastic adhesive had been used than when it had not. See Table 3, which shows that the mean shear strength with the application of plastic adhesive was $\tau = 33.0$ kg/cm² and was $\tau = 13.7$ kg/cm² when no plastic adhesive had been used.

The test specimens were subsequently sawn apart in order to enable visual examination of the adhesion joint to be carried out. A number of irregularities were observed in the course of visual inspection of the soffits of the test slabs after grouting. Several stones which during the grouting operation rested directly on the formwork had not been completely embedded in the grout. The tests showed that effective vibration of the formwork when grouting gives good results. In cases where vibration had been

effective, the whole of the grout mass exhibited a lesser degree of porosity than was the case otherwise.

A number of investigations were carried out at the same time in order to find out what effect application of the plastic adhesive had on the surface properties of the reinforcement. It was found difficult in applying the plastic adhesive to the concrete surface to prevent a quantity of plastic adhesive from dropping down onto the reinforcement and remaining there. It was shown by means of pull-out tests that the adhesion properties of the reinforcement were reduced to some extent (maximum reduction in the tests 33 %) as a result of contamination by the plastic adhesive.

The following may be stated in summing up. One advantage in using a plastic adhesive in pressure grouting is that the bond strength between the original concrete and the grout is increas-

ed. A disadvantage is the more stringent supervision of the grouting process required when plastic adhesive is used in order to ensure that certain conditions regarding the temperature at which the adhesive is applied, and the time taken over it, are satisfied. This causes difficulties. Another drawback is that the bond adhesion properties of the reinforcement are somewhat less satisfactory as a result. The advantage of performing the process without the use of a plastic adhesive is that the procedure is simpler and more reliable. Repair of honeycombed sections without the use of a plastic adhesive at the joint between the original concrete and the grout is to be preferred, provided that values of the tensile strength and shear strength at the interface between the original concrete and the grout are considered sufficiently high.

Rapport R4:1970

REPARATION AV GJUTSÅR HOS BETONGKONSTRUKTIONER MEDELST INJEKTERING UNDER TRYCK

REPAIR OF HONEYCOMBED SECTIONS IN CONCRETE STRUCTURES BY PRESSURE GROUTING

av professor Lars-Erik Larsson & civilingenjör Emilis Purins,
Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg

Statens institut för byggnadsforskning, Stockholm

Rotbeckman 1970 10 8504 0

Innehållsförteckning.

	Sid.
1. Inledning.	1
2. Provningsprogram.	2
3. Tillverkning av provplattor samt utprovning av injekteringsbruk.	4
Gjutning av provplattor.	4
Utprovning av injekteringsbruk.	5
Studium av injekteringsbetongens egenskaper.	5
4. Reparation av arrangerade gjutskador medelst injektering under tryck.	7
Bilning av gjutsår hos provplattor.	7
Sandblästring av det bearbetade gjutsåret.	8
Plastlimning av fogen mellan ursprunglig betong och injekteringsbetong.	8
Studium av vidhäftningen mellan armeringsstål belagt med plastlim och betong.	9
Uppsättning av form för stenfyllning och injektering.	10
Stenfyllningens utförande.	11
Injektering av gjutsåret.	12
Eftertryckning.	13
Ytvibrering av formen vid injektering.	13
5. Försöksresultat.	15
Okulärbesiktning av plattornas undersida.	15
Uttagning av borrhärdar och provdragning i Alphaskin.	15
Borrning av kärnor och provdragning med hjälp av Hilti-Tester.	17
Kontroll av borrhårdens inverkan på den borrade kärnans draghållfasthet.	18

	Sid.
Sågning av snitt i plattorna jämte okulärbesiktning av de lagade gjutsåren.	18
Bestämning av skjuvhållfasthet hos limfogen mellan ursprunglig betong och injekteringsbetong.	19
Tabeller.	21
Figurer.	31

1. INLEDNING.

En strävan vid stora betongarbeten är stundom att kunna gjuta även mycket stora enheter i en följd utan att behöva anordna gjutfogar. Exempel härpå utgör farbaneplattor till broar. I sammanhanget kan nämnas att var och en av de 1,20 m tjocka bottenplattorna till de fem olika ca 90 m långa och 32 m breda tunnelsegmenten vid byggandet av den stora tunneln under Göta Älv vid Tingstad, göts utan uppehåll. Vid sådana arbeten ställs stora krav på arbetenas organisation. Den ofta hela 20 à 30 m långa gjutfrenten måste hela tiden hållas levande vilket vanligen sker med tillhjälp av särskilda tillsatsmedel, s.k. retarders, som fördröjer betongens härdningsprocess i erforderlig utsträckning. Man måste nämligen hinna med att vibrera betongen så att man uppnår en effektiv kringgjutning av den starkt koncentrerade armeringen vid brobaneplattans botten. Erfarenheten visar att man trots stora ansträngningar ibland misslyckas med kringstoppningen. Vid rivning av formen på brobaneplattans undersida kan man då observera sårigheter i betongen, och armeringsjärnen på bronns undersida är ibland fullt synliga. Man ställs inför valet att antingen riva den aktuella konstruktionen och uppföra en ny, eller att på något sätt reparera de uppkomna skadorna.

I samband med gjutning av en av de i Tingstadsleden ingående vägportarna uppstod ovan nämnda typ av skador på farbaneplattans undersida, se fig. 1. Bron reparerades på så sätt att all dålig betong bortbilades. Hålrummen fylldes med makadam och injekterades med cementbruk under tryck. På ganska stora ytor med mindre djupgående skador utfördes reparationen med sprutbetong. Det angivna lagningsförfarandet godkändes av byggherren på grundval av resultatet från föreliggande undersökning som utfördes vid Chalmers Tekniska Högskolas laboratorium för Byggnadsteknik. Injekteringsarbetena vid laboratorieundersökningen och vid reparation av den aktuella vägporten utfördes av Stabilator AB, Stockholm.

2. PROVNINGSPROGRAM.

Programmet bestod av följande punkter:

- 1) a. 2 st. provplattor utföres med måtten $l \times b \times h = 250 \times 100 \times 30$ cm för förberedande undersökningar av lagningsmetoden.
b. 8 st. provplattor utföres med samma mått som ovan för slutlig utprovning av lagningsmetoden. Samtliga plattor armeras i enlighet med fig. 2 och 3.
- 2) I varje platta anordnas en skada liknande de verkliga skadorna i bron. Måtten på denna skada göres $l \times b \times h = 200 \times 75 \times \text{ca } 15$ cm. Skadorna anordnas genom att i formen inlägga makadam som efter gjutningen avlägsnas, varefter skadans ytor avjämnas genom bilning med tryckmejsel. Man bör eftersträva att utföra makadamfyllningens begränsningslinjer naturligt oregelbundna. Även makadamfyllningens överyta bör vara oregelbunden med berg och dalar (fig. 2 och 4). På några ställen i varje platta och ovanför armeringen placeras betongskelett (betong med stora hålrum) för att efterlikna i den aktuella betongkonstruktionen förekommande eventuella svaghetszoner. Även dessa svaghetszoner bilas bort före injekteringen och skall utfyllas med injekteringsbruk.

I två av provplattorna anordnas en del av skadan $l \times b \times h = 50 \times 75 \times 15$ cm med hjälp av råspont för erhållande av en jämn yta (fig. 2). Denna yta erfordras för åstadkommande av skjuvprov enligt nedan (punkt 4 c).
- 3) Lagningar av de anordnade skadorna utföres enligt speciellt utarbetade arbetsbeskrivningar. Härvid utföres 4 st. lagningar utan och 4 st. med plastlimmad injekteringsbetong enligt respektive arbetsbeskrivning. Vid lagningarna bultas formen fast med bultar som gjutes fast i provplattorna (fig. 2).
- 4) Provtagning utföres enligt följande:
 - a. Ur varje provplatta borrar 4 st. kärnor med diameter ca 5 cm, som provas genom lossdragning från underlaget med hjälp av Hilti-Tester.

Det skall vid provningen klart framgå att man borrarat genom gränsvytan mellan ursprunglig betong och injekteringsbetong. Ur varje provplatta borraras vidare 6 st. genomgående kärnor, som sedan provdrages i Alpha-maskin.

- b. I varje provplatta skäres ett eller flera snitt för okulärbesiktning av resultatet från injekteringen.
- c. Ur den del av provplattorna där skadan anordnas med jämn övertyta utsågas tre fyrkantiga kärnor, som provas med avseende på skjuvhållfastheten i skiktet mellan injekteringsbetong och ursprunglig betong (fig. 24).
- d. Injekteringen utföres ca 14 dygn efter gjutning av provplattorna och dragprov, tryckprov, skjuvprov samt snittning utföres 28 dygn efter injekteringen.

3. TILLVERKNING AV PROVPLATTOR SAMT UTPROVNING AV INJEKTERINGSBRUK.

Provplattorna med anordnade gjutskador tillverkades i överensstämmelse med programmet och göts i två omgångar, nämligen

- 1) platta nr 1 - 3, med Standard cement K 400, platta nr 9 - 10, med Snabbcement K 400 (för förberedande försök).
- 2) platta nr 4 - 8, med Standard cement K 400.

Plattornas och gjutskadornas utseende samt armeringen framgår av fig. 2. Plattorna armerades i båda riktningar med armeringsjärn ϕ 16 Ks 60 ordnade i buntar om vardera 3 stänger. I plattorna nr 5 och 6 anordnades en del av skadan med hjälp av råspont, se fig. 2, för erhallande av jämn yta för studium av fogens skjuvhållfasthet.

Gjutning av provplattor.

Avsedd betongkvalitet i provplattorna var klass I, grupp a, P, K 400. Cementsort var Gullhögens Standardcement resp. Snabbcement och föreskriven minsta cementmängd 445 kg/m^3 . Arbetsblandningens viktsdelar cement: sand: makadam var 1:1,66:2,03 och dess vct 0,40. Stenstorleken var 16/35 mm. Betongen levererades från AB Färdig Betong, Ringön. Plattorna avformades 2 - 3 dygn efter gjutningen och deras överyta täcktes först med sågspån och vattnades de första dagarna efter gjutningen, varefter de lagrades uppstaplade under plastduk. Undersidan av platta nr 3, 5 och 6 efter avformningen framgår av fig. 7.

Vid gjutningen uttagna provkuber förvarades ca 5 dygn efter avformningen i vattenbad och därefter fram till provningen i rumsluft vid $\sim 22^\circ\text{C}$. Hållfasthetsutvecklingen studerades genom provtryckning efter 14, 28 resp. 90 dygn av dessa kuber. Draghållfasthetstillväxten studerades genom spräckprov på någon av kuberna. Tryckhållfastheten efter 14, 28 och 90 dygn var för de olika satserna i medeltal 541 (9 prov), 577 (7 prov) resp. 660 (7 prov) kg/cm^2 . Draghållfastheten efter 14 och 28 dygn var i medeltal 41 (2 prov) resp. 45 (2 prov) kg/cm^2 . Kubhållfastheten var redan efter 14 dygn i samtliga enskilda prover betydligt högre än önskade 400 kg/cm^2 .

Utprovning av injekteringsbruk.

Sandens lämplighet för injekteringsbruk utprovades för två olika sandsorter, nämligen

- 1) dels för sand från fyndighet vid Lilla Edet, levererad av Lilla Edets grusbolag,
- 2) dels för Silversand 6B, ren kvartssand, tagen ur havet och levererad av A. H. Ågren, Stockholm.

Siktkurvor för båda sandtyperna anges å fig. 5. De teoretiska blandningsproportionerna var 50 kg cement, 50 kg torr sand, 500 gr Intrusion Aid samt ca 20 kg vatten. Vid denna vattenhalt som varierade något från sats till sats erhöles en konsistens av 7 - 10 cm Jukko eller 15 - 35 sek i uttriningsstid (flow cone). Vattenseparationen uppmättes till 0,6 à 0,7 % och svällningen till 5 à 8 %.

Tryckhållfasthetsutvecklingen hos bruket studerades genom provtryckning efter 7, 14 resp. 28 dygn av

- a) 7 x 7 x 7 cm kuber
- b) 2,5 x 2,5 x 17 cm prismor (standardprov).

Proverna förvarades efter avformningen ca 5 dygn i vattenbad (vattentemperatur $\sim 20^{\circ}\text{C}$) och den återstående tiden fram till provningen i klimatrum vid 20°C och ca 50 % relativ fuktighet.

Tryckhållfastheten efter 28 dygn var i medeltal 548 och 586 kg/cm^2 för sand från Lilla Edet och 719 och 696 kg/cm^2 för Silversand vid kub- resp. prismaprov. Varje angivet värde utgör medeltalet av 3 prov. Efter 7 dygn var motsvarande siffror 454 och 473 kg/cm^2 för sand från Lilla Edet och 494 och 614 kg/cm^2 för Silversand. Jämföres de båda sandtyperna finner man att Silversanden gav ca 22 % högre kubhållfasthet efter 28 dygn än sanden från Lilla Edet.

Studium av injekteringsbetongens egenskaper.

Det framprovade brukets lämplighet för injektering studerades genom injektering av 6 st. 100 cm höga formar med kvadratisk tvärsnitt 20 x 20 cm som fylldes med 16 - 25 mm singel. Tre stycken pelare

injekterades med den ena och tre med den andra av de två undersökta brukssorterna. Pelarna avformades efter något dygn och bevarades ca 5 dygn i vatten av temperaturen 18°C. Därefter lagrades pelarna i laboratorielokalen fram till provningen. Före provningen sågades pelarna i kuber med 20 cm sida som provtrycktes efter 14, 28 och 90 dygn. Kuberna provtrycktes i kubpress med tryckriktning vinkelrätt mot gjutriktningen. Man kunde konstatera att injekteringsbetong med Silversand hade högre tryckhållfasthet än betong med Lilla Edets sand. Tryckhållfastheten vid 14, 28 och 90 dygn var 21 %, 17 % resp. 25 % högre för betong med Silversand jämfört med sand från Lilla Edet. Tryckhållfasthetens variation med höjdläget i pelaren vid provning efter 14 dygn (P1 och P4), 28 dygn (P2 och P5) och 90 dygn (P3 och P6) för Lilla Edets sand resp. Silversand framgår av fig. 6. Högsta hållfastheten uppvisar pelarens nedre del, varefter den minskar i riktning mot pelartoppen.

Då sand från Lilla Edet gav tillfredsställande tryckhållfasthet, beslöt man att använda injekteringsbruk med denna sandsort vid provlagning av plattor. Sanden från Lilla Edet var nämligen billigare att anskaffa.

Det använda injekteringsbruket kontrollerades sedan under arbetets gång genom bestämning av konsistens enligt Jukko samt även enligt uttriningsmetod (flow cone). Man eftersträvade att erhålla en konsistens motsvarande 7-8 cm Jukko. I verkligheten varierade konsistensen från 7,4 till 8,7 cm Jukko och uttrinningstiden från 20 till 30 sek för de olika satserna. Vattenseparationen uppmättes och varierade mellan 0,6 och 0,9 % och svällningen mellan 4,1 och 5,4 %.

Tryckhållfasthetsutvecklingen hos bruket studerades genom att man provtryckte samtidigt med injektering av provplattorna gjutna bruksprover (7 x 7 x 7 cm kuber och 2,5 x 2,5 x 17 cm bruksprismor) efter 7, 14 och 28 dygn. I övervägande antalet prov erhöles lika höga eller högre tryckhållfasthetsvärden på bruksproverna gjutna i samband med provlagningen jämfört med den föregående utprovningen av injekteringsbruket enligt ovan.

4. REPARATION AV ARRANGERADE GJUTSKADOR MEDELST INJEKTERING UNDER TRYCK.

Reparationen utfördes enligt Prepactmetoden och två lagningsmetoder utprovades, nämligen dels med och dels utan plastlimning i fogen mellan injekteringsbetong K 400 och ursprunglig betong K 400. Det utförda försöksprogrammet omfattade följande försök:

- 1) Utprovning av lagningsmetoderna i förberedande försök, platta nr 9 och 10.
- 2) Lagning av anordnade skador hos 4 st. plattor med plastlimmad injekteringsbetong, platta nr 1, 2, 4 och 5.
- 3) Lagning av anordnade skador hos 4 st. plattor utan plastlimning i fogen mellan injekteringsbetong och ursprunglig betong, platta nr 3, 6, 7 och 8.

Härnedan följer en utförlig beskrivning av de olika arbetsmomenten. Vid påförandet av plastlimmet på gjutsårets yta kunde man ej undvika att den frilagda buntade armeringen belades med plastlim, vilket kunde nedsätta samverkan mellan armering och betong. Nedan följer även en redogörelse för resultatet från utdragsprover med kort vidhäftningslängd för att utröna effekten av limbeläggningen på vidhäftningen mellan armering och betong.

Bilning av gjutsår hos provplattor.

Arrangerade skador, se fig. 7, uppbilades med tryckluftsmejsel. Ytan mejslades tills all dålig betong avlägsnats. Minsta fria avstånd mellan betong och befintligt armeringsjärn var ~ 5 cm. Vid bilningen ställdes plattorna på långsidan och bilningen utfördes från sidan. Efter mejsling rengjordes ytorna noga. Först avlägsnades alla under tryckluftsmejslingen spruckna betongrester med vanlig handmejsel och hammare och därefter rengjordes ytorna med oljefri tryckluft. Gjutsårens utseende för platta nr 10 efter bilningen framgår av fig. 8. Detaljbilden visar tydligt betongytans små ojämnheter.

Sandblästring av det bearbetade gjutsåret.

För att undersöka om sandblästring av såret kan förbättra limfogen mellan den ursprungliga betongen och injekteringsbetongen, sandblästrades det bearbetade gjutsåret hos plattorna nr 1, 2, 3 och 6.

Plastlimning av fogen mellan ursprunglig betong och injekteringsbetong.

För plattorna nr 9 och 10 limmades fogen mellan gammal betong och injekteringsbetong med epoxiplast. Under arbetets gång hölls temperaturen vid $\sim 15^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}$. Plastlimningen utfördes i två moment. Som primärskikt till limningen användes lågviskös epoxiplast med reaktivt lösningsmedel, anilinaldehydhärdare och mjukgörare av Tiokoltyp, med beteckning I. B - Pox 3 P, A:B = 110:85. Limskiktet bestod av normalviskös epoxiplast med anilinaldehydhärdare och mjukgörare av Tiokoltyp, med beteckning I. B - Pox 1 L, A:B = 1:1. För att underlätta blandningen bör komponenterna ha en temperatur av 20 - 25°C. De uppvägdes och blandades noggrant. Blandningen skedde maskinellt.

Gjutsårens ytor bör vara rena och torra innan behandlingen påbörjas. Först påfördes ett tunt primärskikt som inarbetades omsorgsfullt i den torra ytan med hjälp av borstar. Plaståtgången var 0,2 - 0,4 kg/m². Limskiktet för platta nr 9 och 10 (förberedande försök) påfördes med pensel efter ett uppehåll på 10 - 15 timmar. Plaståtgången var även nu 0,2 - 0,4 kg/m². Hos plattorna nr 1, 2, 4 och 5 skedde limskiktets applicering genom sprutning, varvid hela armeringen belades med plasten. Skiktet var dock relativt tunt och utfyllde ej helt utrymmet mellan armeringsjärnens kammar. I de förberedande försöken behandlades provplatta nr 9 helt med plastlim före inläggningen av singel och injektering. Vid provplatta nr 10 påfördes plastlim på halva plattan, medan den andra halvan lämnades obehandlad för jämförelse.

Studium av vidhäftningen mellan armeringsstål belagt med plastlim och betong.

Vid påförandet av plastlimmet belades även den frilagda buntade armeringen med plastlim, vilket förmodades kunde nedsätta samverkan mellan armering och betong. Utdragsprover med kort vidhäftningslängd tillverkades för att utröna effekten av limbeläggningen på vidhäftningen mellan buntad armering och betong. Två serier kuber 20 x 20 x 20 cm med ingjuten buntad armering i knippe om 3 ϕ 16 Ks 60 tillverkades med

- a) armeringsjärnet obehandlat (1 - 2)
- b) armeringsjärnet behandlat med primärskikt (3 - 4)
- c) armeringsjärnet behandlat med primärskikt och limskikt (5 - 6).

Även provkuber 15 x 15 x 15 cm uttogs för bestämning av betongens tryckhållfasthet. Medeltryckhållfasthet $\sigma_{\text{kub}}^{\text{medel}} = 513 \text{ kg/cm}^2$. Armeringens utseende före utdragsprov jämte den frilagda armeringens utseende efter provdragning framgår av fig. 9. Ingjutningslängden var $\sim 5 \text{ cm}$. För att undvika att kuben spjälkades vid provdragning, armerades kuben med 3 byglar ϕ 6 St 44. Provkropparna lagrades efter avformningen ca 5 dygn i vatten med temperaturen 18°C . Den återstående tiden fram till provningen bevarades proverna i rumsluft vid $\sim 22^\circ\text{C}$.

Utdragsprover utfördes vid 28 dygns ålder. Provningen skedde i universalprovningssmaskinen Alpha (max. last 10 ton). Kuben placerades ovanpå maskinen enligt fig. 10 a och järnändan fastklämdes för dragning. Deformationerna mellan betong och järn uppmättes med hjälp av en ovanpå armeringsändan ställd mätklocka. Vid stegvis påförd belastning registrerades lasten P samt järnets rörelse relativt betongen.

Vidhäftningsspänningen beräknades enligt formeln

$$\tau_{\text{vidh}} = \frac{P}{A}$$

där $A = o \cdot l$

o = armeringsbuntens omkrets enligt fig. 10 b

l = armeringens ingjutningslängd

Provningsresultaten framgår i diagramform av fig. 11 och visar för:

- a) obehandlat armeringsjärn $\tau_{\text{vidh}}^{\text{max}} = 270 - 277 \text{ kg/cm}^2$
- b) med primärskikt behandlat armeringsjärn $\tau_{\text{vidh}}^{\text{max}} = 241 - 272 \text{ kg/cm}^2$
- c) med primärskikt + limskikt behandlade prover $\tau_{\text{vidh}}^{\text{max}} = 186 - 251 \text{ kg/cm}^2$

Som synes erhöles högsta värden på vidhäftningen för obehandlat armeringsstål och de lägsta för armeringsstål behandlat både med primärskikt och limskikt. Vid dessa försök var järnen fullständigt täckta med plastlim, vilket ej var fallet vid provplattornas plastbehandling. Även de plastbehandlade utdragsproverna uppvisade som framgått mycket goda vidhäftningsegenskaper hos armeringsstålet. Man torde i praktiken kunna bortse från limbeläggningens inverkan på armeringsjärnets vidhäftningsegenskaper. Fig. 9 b visar armeringsbuntar efter verkställt utdragsprov. Man kan mellan kammarna utskilja kvarsittande betong.

Uppsättning av form för stenfyllning och injektering.

För att provlagningen i möjligaste mån skulle efterlikna en reparation i verkligheten, placerades plattorna på ~2,5 m höga träbockar, och såväl formsättning som stenfyllning och injektering m. m. utfördes underifrån. Omedelbart efter limskiktets påförande utfördes formsättning och stenfyllning.

Formen utfördes av spåntat virke, ty den skulle vara tät och tåla ett injekteringstryck av 2 kg/cm^2 . Formen vattnades före gjutningen och därmed kunde man på grund av träets svällning erhålla en tillräcklig täthet hos formen. Vid lagningen bultades formen fast med genomgående injutna bultar. Vid reparation av konstruktioner i verkligheten där platttjockleken är tillräckligt stor, kan man förslagsvis använda expanderbultar eller formstämp från mark för att hålla formen i läge under injekte-

ringens gång. Bultarnas placering i formen före ingjutningen framgår av fig. 2 och 3.

Stenfyllningens utförande.

Material till stenfyllningen utgjordes för plattorna 9 och 10 av natursingel 16 - 25 mm och för plattorna 1 - 8 av natursingel 20 - 32 mm. Allt stenmaterial till injekteringsbruket tvättades väl i en 150 l betongblandare. Stenmaterialet innehöll en del stenar innehållande glimmer. Denna art av stenar brast vid nedan beskrivna dragprov tvärs över stenen, medan brotten i andra fall skedde i gränsytan mellan sten och betong. Singel 16 - 25 mm innehöll en del lerbitar som var svåra att tvätta bort och krävde manuell sortering. Valet av singel i stället för makadam till injekteringsbetongen berodde på att användning av natursingel underlättar injekteringen.

Formsättningen påbörjades från ena kortsidan och gjutsåret utfylldes med torrt stenmaterial i samband med successiv inbrädning av formen för erhållande av bästa möjliga packningsgrad. Stenarnas ifyllning och packning skedde med luftkanon. En springa på ca 2 cm lämnades kvar vid den formsida, där fyllningen påbörjades för att underlätta luftgenomströmning. Efter avslutad stenfyllning tätades springan med en extra formbräda. Okulärbesiktning under påfyllningens gång skedde med spegel. Under stenfyllningens gång insattes erforderliga injekterings- och luftningsrör (fig. 12 och 13).

Rörplaceringen bestämdes med hänsyn till bilningens omfattning. Avståndet mellan injekteringsrören fick ej överskrida 1 m. För att stenarna ej skulle täppa till injekteringsröret och hindra injekteringen spikade man en spik tvärs över hålet. För att ytterligare eliminera denna olägenhet ökades stenstorleken till 20 - 32 mm för plattorna 1 - 8. Luftningsrörens överända placerades i gjutsårets högst belägna punkter för att all instängd luft skulle kunna bortföras under injekteringens gång. Luftningsrörets överända kryssågades för att erhålla bättre avluftning. Slutligen spändes formen mot betongen med de ingjutna bultarna (fig. 13).

Såväl formsättnings- som stenfyllningsförfarandet samt andra arbeten gällde för samtliga provplattor. Arbetsmetodiken förbättrades dock successivt under arbetets gång.

Injektering av gjutsåret.

För injekteringsbruket användes sand från Lilla Edet vid injektering av samtliga plattor. Följande sammansättning användes vid proportioneringen:

Standardcement (Limhamn)	100 viktsdelar
Sand (torr vikt)	100 viktsdelar
Intrusion Aid	1 viktsdel
Vatten	40 - 45 viktsdelar

Vattentillsatsen reglerades på arbetsplatsen, så att en konsistens motsvarande 7-8 cm Jukko erhöles, vilket innebär att bruket praktiskt taget inte får någon vattenseparation. Injektering av plattorna utfördes ca 14 dygn efter gjutning av provplattorna. Injekteringen påbörjades omedelbart efter avslutad formsättning och skulle vara avslutad senast 9 timmar efter limskiktets tillblandning vid 15°C temperatur. Innan sista formbrändan sattes på plats kontrollerades att plastlimmet fortfarande hade full limeffekt. Temperaturen vid arbetsstället skulle vara lägst +5°C under gjutning och minst en vecka därefter.

Injekteringsbruket blandades i en blandare lämplig för Prepac-bruk. För injekteringen användes kolvpump, som möjliggjorde ett jämnt flöde vid låg kapacitet. Bruksytans läge under injekteringen bestämdes med hjälp av injekterings- och luftningsrören. Exempel på rörplacering se fig. 12.

Injekteringen påbörjades från ena plattändan. Slangen från bruksblandaren kopplades till första injekteringsröret och med jämn hastighet pumpades bruk in i såret. Genom intilliggande luftningsrör avleddes befintlig luft och utrymmet fylldes med bruk, som successivt steg upp i plattan. När bruket hade uppnått avluftningsrörets nivå började bruket rinna ut genom luftningsröret. Då avluftningsrörens överända var place-

rad på de högst belägna ställena i gjutsåret, samlades all luft där och kunde avledas. När all luft ansågs vara bortledd, tilltäcktes luftningsröret med en träplugg och ledningen kopplades till nästa injekteringsrör och det ovan beskrivna förfarandet upprepades. Injekteringsförloppet vid lagning av gjutsåret framgår i princip av fig. 14.

För att erhålla bättre utfyllning med injekteringsbruk av utrymmen mellan stenmaterialet, verkställdes vibrering av gjutformen för plattor nr 1 - 8 och 10, som utförligare beskrives nedan. Efter avslutad vibrering av formen utfördes förnyad kontroll av att injekteringsbruket helt fyllt ut gjutsåret på samma sätt som under injekteringens gång.

Eftertryckning.

Då gjutsåret ansågs vara väl utfyllt med injekteringsbetong, applicerades ett injekteringstryck av 2 kg/cm^2 , som man bibehöll under en tid av ca 2 timmar. Injekteringstrycket applicerades genom att fylla en bestämd mängd bruk i ett kärl, som sedan tätt tillslöts och med hjälp av tryckluft hölls under det önskade trycket. Trycket mättes med manometer och var reglerbart med en ventil. Eftertryckningstiden bestämdes av brukets bindningshastighet. När bruket började stelna i ledningarna, avslutades eftertryckningen.

Ytvibrering av formen vid injektering.

Den första provplattan nr 9 injekterades utan ytvibrering av formen. Efter avformning kunde man på plattans underyta på vissa ställen observera icke kringgjutna stenanhopningar. På ställen där de mindre stenfraktionerna hade packats väl mellan de större stenarna, hade bruket icke kunnat tryckas in. Delvis var även den del av stenen som låg mot formen, ej kringgjuten med bruk.

För att förbättra utseendet hos plattans underyta utfördes efter avslutad första injekteringsomgång punktvis vibrering av formytan med 50 mm stavvibrator. Detta gav en viss förbättring när det gäller utfyllning av hålrum mellan stenen. Även förbättrad kringgjutning av mot for-

men liggande stenmaterial erhöills.

Man beslöt ytterligare höja vibreringseffekten. Därför utfördes vid plattorna 1 - 8 ytvibrering med 70 mm stavvibrator, som ansattes på ca var 400 cm² yta. Vid plattorna 1 - 2 placerades stavvibratörn snett mot formytan. På grund av injekterings- och luftningsrörens täta placering var det svårt att på vissa ställen komma åt formen med vibratörn och utseendet av underytan på dessa plattor blev inte fullt tillfredsställande. För att ytterligare höja vibreringens effekt vibrerades plattorna 3, 6 - 8 så att stavvibratörn placerades liggande med ett påmonterat förlängningsrör enligt bild 15. Detta förfarande gav en god kringgjutning av stenarna och utseendemässigt vacker underyta på plattorna.

5. FÖRSÖKSRESULTAT.

Kontroll av provlagningarna utfördes på följande sätt:

- a) Genom okulärbesiktning av plattornas undersida efter injektering och avformning.
- b) Genom uttagning av minst 6 st. borrhärnor på lämpligt valda ställen av varje platta samt provdragning av borrhärnorna (rena dragprov).
- c) Genom utborrnig av minst 4 st. provkärnor på anvisade ställen i plattan för lossdragning med s. k. Hilti-Tester.
- d) Genom sågning av snitt i plattorna och okulärbesiktning av de injekterade gjutsåren.
- e) Ur den del av provplattorna nr 5 och 6 där skadan anordnades med jämn överyta, utsågades fyrkantiga kärnor som provades med avseende på skjuvhållfastheten i skiktet mellan injekteringsbetong och ursprunglig betong (se fig. 2).

Okulärbesiktning av plattornas undersida.

Brukets omslutning kring stenar mot formbotten var mycket ofullständig för plattor nr 1 och 2 jämfört med de övriga plattorna 3 - 8. Underytan hos plattorna 1 och 2 uppvisade på några ställen stenanhopningar, som saknade bruk (analogt med platta nr 9). Dessa plattor hade formvibrerats med 70 mm snedställd stavvibrator, som dock ej gav tillfredsställande hålrumsutfyllning mellan stenmaterial. För att uppnå omslutning av bruk kring stenar tillämpades vid plattorna 4 och 5 mycket kraftig vibrering med 70 mm snedställd stavvibrator. Plattorna nr 4 och 5 uppvisade en märkbar förbättring av utseendet hos plattornas undersida. Plattorna nr 3, 6, 7 och 8 vibrerades via ett vertikalt förlängningsrör som var monterat på den horisontellt placerade 70 mm stavvibratoren. Detta förfarande gav det bästa resultatet. Undersidan hos några av plattorna efter avformning framgår av fig. 17.

Uttagning av borrhärnor och provdragning i Alphamaskin.

Provtagning skedde 28 dygn efter injektering av plattorna. Ur varje provplatta uttogs minst 6 st. borrhärnor med diametern 7,5 cm. Kärnorna borrades med diamantborr (se fig. 18). I de fall när man vid borrnig råka-

de borra mot armeringen avbröts borrarngen och man borrade en ny kärna intill. I några fall hände det vid upptagning av borren, att denna fastkilades och att kärnan bröts. Vid icke plastbehandlade plattor bröts även några prover i limfogen under borrarngen och man fick borra reservprover.

Båda ändarna på kärnan plansågades så att de blev parallella med varandra. Mot var och en av dessa ytor limmades en planslipad stålplatta. Limningen utfördes med Plastic Padding, som endast krävde ca 1 timmes härdningstid. Noggrann rengöring av limytorna var nödvändig. Provdraening av borrar kärnorna utfördes i Alphamaskin.

Vid var och en av de påklistrade stålplattorna fästes ett lagrat motstycke med bultar så att provet i båda ändarna var ledat, se fig. 19. Provet fästes i Alphamaskin, centrerades noggrant och provdraeningen verkställdes. Brottlasten noterades på Alphamaskinens vågarm, genom utbalansering av vågarmen under provningens gång. Provningsresultaten framgår av tabell nr 1 och är grafiskt sammanställda för samtliga plattor i diagram fig. 20.

I tabellen anges även brottorsaken och beskrivning av brottytan för varje provkärna. Även medelvärdet för varje platta beräknades och avvikelser angavs. Av provningsresultaten framgår att draghållfastheten vid plastlimmade kärnor i medeltal uppgick till ca 15 kg/cm^2 . För plastlimmade kärnor kunde brott uppkomma såväl i den ursprungliga betongen som i injekteringsbetongen. Brott i limfogen förekom i något enstaka fall. För icke plastlimmade plattor uppträdde som regel brottet i cementfogen och den uppmätta draghållfastheten varierade mellan 7 - 11 kg/cm^2 . Sandblästringen synes ej ha förbättrat hållfastheten hos den plastlimmade fogen. Däremot förefaller sandblästringen resultera i en något förbättrad fog (se fig. 20, platta nr 3 och 6) vid icke plastlimmat utförande.

Borrkärnans utseende efter provdraening till brott, limfogens samt brottets läge framgår av fig. 22 för plattor nr 3 och 4. I de fall där brottet ägde rum i injekteringsbetongen, gick brottytan i fogen mellan stenyta och cementbruk. Det svagaste snittet var i allmänhet det som innehöll den största stenprocenten, som i vissa brottytor uppskattades till ca

80 % av snittytan. Om brottsnittet innehöll glimmerstenar, gick som regel brottytan genom dessa stenar. I vissa fall kunde man i brottytan även observera luftblåsor, som samlades under större stenar. I några fall uppträdde brott i den ursprungliga betongen i närheten av limfogen. I nämnda fall kan man fråga sig om ej den ursprungliga betongen möjligen hade försvagats vid bilningen i gränssonen.

Borrning av kärnor och provdragning med hjälp av Hilti-Tester.

I varje platta utborrades 4 st. prover för s.k. Hilti-Tester. Kärnan borrades med diamantbergborr ca 20 cm djupt in i provplattan så att man med säkerhet passerade limfogen, och provades genom lossdragning från underlaget med Hilti-Tester. Kärnans diameter var 7,5 cm. Vad själva borrningen beträffar gäller samma som sagts om genomgående borrkärnor.

Mot de i provplattan borrade kärnorna limmades speciella dragplattor med Plastic Padding. Efter limmets härdning under ca 1 timme påmonterades och centrerades noggrant en apparat typ Hilti-Tester på dragplattans gängade skaft. Provning skedde genom lossdragning av kärnan från underlaget. Metoden kräver noggrann centrering vid provdragning av kärnan. Detta villkor är ej alltid lätt att uppfylla. Ofta är plattans yta ojämn och kräver utfyllning med lim, som efter dragplattans pålimning kan ändra läge före härdningen. Om dragplattan ej är tillfredsställande centrerad kan man vid provning erhålla böjspänningar i kärnan som resulterar i böjbrott vid mycket låg dragspänning.

Provningsresultaten framgår av tabell nr 2 och diagram fig. 21. I övrigt kunde man vid okulärbesiktning av brottytorna göra motsvarande observationer som konstaterades vid analys av de borrkärnor som belastades i Alphamaskinen. Av provningsresultaten framgår att draghållfastheten vid plastlimmade kärnor i medeltal uppgick till ca 13 kg/cm^2 . För icke plastlimmade plattor uppträdde som regel brottet i cementfogen och den uppmätta draghållfastheten varierade i medeltal mellan 8 och 12 kg/cm^2 för olika plattor.

Kontroll av borrningens inverkan på den borrade kärnans draghållfasthet.

Vid borrning av kärnor ur betongen uppstod med all sannolikhet stora påfrestningar i gränsytorna med eventuell sprickbildning i kärnans ytskikt, som följde. För att studera denna fråga injekterades samtidigt med plattorna nr 2 och 8 och med samma injekteringsbruk som för var och en av plattorna ett stenfyllt plaströr med 7,5 cm diameter och längden 1 m. Plaströren fylldes med samma singel som plattorna, varefter ett ihåligt lock påsattes. Sedan ställdes röret vertikalt och injekterades. Extra tryck applicerades ej.

Efter ca 5 dygns härdning tillsågades de gjutna cylindrarna G2 och K6 i 28 cm långa dragprover. Man erhöll ur varje provcylinder 4 dragprover och 2 tryckprover. Proverna bevarades 5 dygn i vattenbad och återstående tiden till provning i konstant rumsluft vid $\sim 20^{\circ}\text{C}$. Provdragning skedde i Alphasmaskin på samma sätt som för borkärnorna. Provningsresultaten framgår av tabell nr 1 och fig. 20 och visar, att de injekterade kärnorna i medeltal gav något högre draghållfasthet ($\sigma_{dr}^{\text{medel}} = 17 - 21 \text{ kg/cm}^2$) än de borrade kärnorna. Brott bilden var analog med brott i injekteringsbetongen hos borrade kärnor.

Sågning av snitt i plattorna jämte okulärbesiktning av de lagade gjutsåren.

För okulärbesiktning av det lagade gjutsåret sågades i varje platta ett längsgående snitt samt två tvärsnitt. Av fig. 23 framgår sågsnittens utseende för provplatta nr 1. Man kan tydligt urskilja limfogens läge. Vid några plattor kunde man i snittets fogyta observera luftblåsor, vilka i regel var små.

Platta 3 hade en relativt stor blåsa i fogytan vid provkärna nr 3:1. Snittet för platta 7 visade flera och större lufthål just i fogytan. Platta 10 hade lufthål i fogen vid sårets ena kant och platta 9 vid luftningsrörets topp.

Betongens omslutning kring buntade armeringen var i allmänhet mycket god. Platta nr 7 uppvisade dock vid några armeringsbuntar en större

anhopning av luftblåsor. Den ursprungliga betongen var i allmänhet av god kvalitet med relativt små luftporer.

Injekteringsbetongen hos flera plattor innehöll en del lufthål. Luftporerna låg i stor utsträckning under stenarna, särskilt om stenformen var avlång. Även mellan stenarna förekom vissa med bruk ej utfyllda partier. Bäst injekteringsbetong föreföll plattorna 3, 6 och 8 ha. Plattorna 9 och 10, som hade mindre stenstorlek (16 - 25 mm), uppvisade på vissa ställen ansamling av mindre luftporer. Stenar närmast formytan var tätt packade (en del små stenar i materialet) och stenen mot formytan var ej fullständigt omgjuten.

Bestämning av skjuvhållfasthet hos limfogen mellan ursprunglig betong och injekteringsbetong.

Ur den del av provplattorna nr 5 och 6, där skadan anordnades med jämn överyta utsågades några stycken fyrkantiga kärnor, som provades med avseende på skjuvhållfastheten i skiktet mellan injekteringsbetong och ursprunglig betong. Två stycken skjuvprov gjordes även på den ursprungliga betongen och i ett fall erhöles skjuvbrott i injekteringsbetongen. Provningsens utförande framgår av fig. 24 och resultaten anges i tabell nr 3.

Proverna ur platta nr 5 hade plastlimmad fog och gav $\tau_{\text{skjuv}}^{\text{medel}} = 33 \text{ kg/cm}^2$. Limfogen hos platta nr 6 var inte plastlimmad och man erhöles $\tau_{\text{skjuv}}^{\text{medel}} = 13,7 \text{ kg/cm}^2$.

Tabell 1.

Borrkärnor (dragprov).

Platta nr	Dragprov nr	σ_{drag} kg/cm ²	Brottets art
1 Sandblästrad Plastbehandlad	1:1	14,27	Brott i injekteringsbetong, delvis genom sten. Blåsor.
	1:2	19,75	Brott längs sten - injekteringsbetong. Blåsor.
	1:3	11,78	Brott i injekteringsbetongen. Ca 50 % längs stenyta. Blåsbildning under sten.
	1:4	14,50	Brott i injekteringsbetongen. Ca 50 % längs stenyta. Blåsbildning under sten.
	1:5	7,72	Brott 45 % i limfogyta, 55 % i gamla betongen. Luftblåsor.
	1:6	14,95	Brott i injekteringsbetong längs stenytor.
	Medelvärde	13,8	M. v. utan prov 1:5 $\sigma_{\text{dr}} = 15,1$.
	Avvikelse i %	+43,1 -45,1	
	2 Sandblästrad Plastbehandlad	2:1	17,25
2:2		14,42	Brott i injekteringsbetongen.
2:3		14,72	Brott i injekteringsbetongen, längs stenytor, (50 - 60 %).
2:4		18,16	Brott i injekteringsbetongen, längs stenytor (~ 80 %). Luftblåsor.
2:5		14,07	Brott i injekteringsbetongen, längs stenytor och genom glimmersten. Blåsor.
2:6		13,59	Brott i gamla betongen längs stenytor-na (vidhäftning sten - betong avgörande).
Medelvärde		15,4	
Avvikelse i %		+17,9 -11,8	

Platta nr	Dragprov nr	σ_{drag} kg/cm ²	Brottets art
3 Sandblästrad	3:1	- x1)	Ej provad. Hållighet och spricka vid cementfog.
	3:2b	-	Brast i cementfogen vid avsågning av ändarna.
	3:3	12,71	Brott i cementfogen.
	3:4a	8,13	Brast i cementfogen. Armeringsjärn vid kärnkanten.
	3:5	12,18	Brott i cementfogen.
	3:6	8,99	Brott i cementfogen. Hål vid cementfogen.
	Medelvärde	10,5	
	Avvikelse i %	+21,0 -22,6	
4 Plastbehandlad	4:1	17,67	Brott i gamla betongen ca 1 cm från limfogen.
	4:2	11,58	Brott i injekteringsbetongen och genom glimmersten, ~ 70 % sten i brottytan.
	4:3	16,23	Brott i injekteringsbetongen. I snittet små sten, ~ 40 % sten i brottytan.
	4:4	20,89	Brott i injekteringsbetongen.
	4:5	9,74	Brott i limfogen.
	4:6	16,99	Brott i injekteringsbetongen, glimmer, ~ 70 % sten i brottytan.
	Medelvärde	15,5	
	Avvikelse i %	+34,8 -37,2	
5 Plastbehandlad	5:1	12,94	Brott vid limfog. Brottanvisning - hålen. Hålrum i injekteringsytan, ~ 50 % av tvärsnittet.
	5:2	17,55	Brott i injekteringsbetongen längs en stor sten.
	5:3	17,48	Brott i injekteringsbetongen nära limfogen.
	5:4	16,23	Brott i gamla betongen nära limfog.
	5:5	19,41	Brott i gamla betongen nära limfog.

x1) Några kärnor av platta nr 3 hade lufthål vid limfogen, se prov 3:1 fig. 22. Provet hade även en synlig spricka i limfogen, som troligen uppkommit vid borring av kärnan, varför provet ej provades.

Platta nr	Dragprov nr	σ_{drag} kg/cm ²	Brottets art
	5:6	15,18	Brott i injekteringsbetongen.
	Medelvärde	16,5	
	Avvikelse i %	+17,6 -21,6	
6 Sandblästrad	6:1	12,68	Brott i cementfogen.
	6:2	8,85	Brott i cementfogen. Litet hål vid cementfog.
	6:3	11,35	Brott i cementfogen.
	6:4	12,03	Brott i gamla betongen nära cementfogen.
	6:1R	13,62	Brott i cementfog, gamla betongen.
	6:6	9,79	Brott i cementfogen.
	Medelvärde	11,4	
	Avvikelse i %	+19,5 -22,4	
7	7:1	-	Brott i cementfog vid borring.
	7:2	7,47	Brott i gamla betongen nära cementfog.
	7:3	7,81	Brott i cementfogen.
	7:4	8,97	Brott i cementfogen.
	7:5	7,95	Brott i cementfogen. Luftblåsor.
	7:6	5,89	Brott i cementfogen. Luftblåsor.
	Medelvärde	7,6	
	Avvikelse i %	+18,0 -22,5	
8	8:1	-	Brott i cementfog vid sågning.
	8:2	11,33	Brott i cementfogen.
	8:3	11,10	Brott i cementfogen.
	8:4	9,51	Brott i cementfogen.
	8:5a	7,15	Brott i cementfogen.
	8:6	6,98	Brott i cementfogen.
	Medelvärde	9,2	
	Avvikelse i %	+23,2 -24,1	

Platta nr	Dragprov nr	σ_{drag} kg/cm ²	Brottets art
9 Plastbehandlad	9:1	9,89	Limfogbrott.
	9:2-I	14,15	Brott i injekteringsbetong.
	9:2-II	20,61	Brott i injekteringsbetong.
	9:3-I	18,82	Brott mellan armeringsjärn.
	9:3-II	20,67	Brott i ursprunglig betong.
	9:4	11,20	Brott i ursprunglig betong ca 0,5 - 1 cm från fog. Hålrums synligt i limfogen ca 2 cm djupt.
	9:5	13,11	Brott i injekteringsbetongen. Synliga hålrums.
	9:6	16,72	Brott i injekteringsbetong.
	Medelvärde	15,7	
	Avvikelse i %	+31,7 -28,7	
10 1/2 platta plastbehandlad	10:1	7,51	Brott i cementfog.
	10:2b	11,13	Brott i cementfogytan.
	10:3	9,82	Brott i cementfogytan, ca 30 % i ursprunglig betong.
	Pl. 10:4-I	17,89	Brott i injekteringsbetongen.
	Pl. 10:4-II	14,57	Brott i ursprunglig betong 2 cm från limfog.
	Pl. 10:5	15,06	Brott i ursprunglig betong.
	Pl. 10:6	11,58	Brott i ursprunglig betong nära limfogen.
	Medelvärde för cementfog	9,5	
	Avvikelse i %	+17,1 -21,0	
	Medelvärde för limfog (plast)	14,8	
Avvikelse i %	+20,1 -21,8		
G2 (cylinder)	G2:2	19,2	Brott i injekteringsbetongen, längs stenytor, ~ 75 %.
	G2:3	18,7	Brott längs stenytor, ~ 70 %, och genom glimmersten.

Platta nr	Dragprov nr	σ drag kg/cm ²	Brottets art
	G2:4	10,9	Brott längs sten - betong, ~ 70 %.
	G2:5	19,3	Brott längs sten - betong.
	Medelvärde	17,0	
	Avvikelse i %	+13,5 -35,9	
K6 (cylinder)	K:2	17,4	Brott genom glimmersten, ~ 40 % längs sten.
	K:3	22,2	Brott genom tre glimmerstenar, ~ 10 % längs sten.
	K:4	22,9	Brott längs stenytor, ~ 60 %.
	K:5	23,2	Brott längs sten, ~ 20 %, genom glimmer
	Medelvärde	21,4	
	Avvikelse i %	+ 8,4 - 18,7	
	G2:1	σ tryck 236	Proverna är framställda av injekteringsrör G.
	G2:6	416	
	Medelvärde	326 ^{x)}	
	Avvikelse i %	+27,6 -27,6	
K6 (cylinder)	K:1	291	Proverna är framställda av injekteringsrör K.
	K:6	289	
	Medelvärde	290 ^{x)}	
	Avvikelse i %	+ 0,34 - 0,35	

x) Tryckhållfastheten är bestämd på cylindrar framställda genom injektering av stenfyllt plaströr med $\phi \sim 7,5$ cm. Då stenstorleken 20 - 32 mm var stor i förhållande till rörets dimension, var de framställda tryckproven på grund av stenens orientering i röret inte lämplig för tryckhållfasthetsbestämning.

Cylindrar spjälkades vid provtryckning längs stenar i längsgående strimlor, varför tryckprovets resultat inte kan anses som representativt för injekteringsbetong.

Tabell 2.

Hilti- Tester.

Platta nr	Dragprov nr	σ drag kg/cm ²	Brottets art
1 Plastbehandlad Sandblästrad	H1:1	17,59	Brott i gamla betongen.
	H1:2	11,89	Brott i gamla betongen ~ 1,5 cm.
	H1:3	15,29	Brott i injekteringsbetong längs stenbruk. Blåsor.
	H1:4	16,53	Brott i injekteringsbetong längs stenbruk.
	Medelvärde	15,3	
	Avvikelse i %	+15,0 -22,3	
2 Plastbehandlad Sandblästrad	H2:1	15,21	Brott i injekteringsbetong längs stenbruk, ~ 90 % längs stenytter.
	H2:2	2,85 ^{x)}	Brott i gamla betongen nära limfogen. Eventuellt skadad vid bilningen.
	H2:3	2,85 ^{x)}	Brott i gamla betongen vid "kyrka".
	H2:4	11,33	Brott i injekteringsbetongen. Hög stenprocent i brottytan.
	Medelvärde	13,3	
	Avvikelse i %	+14,4 -14,9	
3 Sandblästrad	H3:1	10,22	Brott i och nära cementfogen i gamla betongen.
	H3:2	8,38	Brott i cementfogen.
	H3:3	14,16	Brott i injekteringsbetongen, nära cementfogen.
	H3:4	14,27	Brott i injekteringsbetongen, nära cementfogen.
	Medelvärde	11,8	
	Avvikelse i %	+20,9 -29,0	

x) Böjbrott, medräknas ej.

Platta nr	Dragprov nr	σ drag kg/cm ²	Brottets art
Plastbehandlad	H4:1	2,27 ^x)	Brott i gamla betongen nära limfogen.
	H4:2	10,76	Brott i gamla betongen nära limytan.
	H4:3	10,42	Brott i injekteringsbetongen.
	H4:4	9,08	Brott i limfogen.
	Medelvärde	10,1	
	Avvikelse i %	+ 6,53 -11,1	
Plastbehandlad	H5:1	13,36	Brott i injekteringsbetongen.
	H5:2	10,76	Brott i injekteringsbetongen.
	H5:3	15,18	Brott i injekteringsbetongen.
	H5:4	11,89	Brott i injekteringsbetongen.
	Medelvärde	12,8	
	Avvikelse i %	+18,6 -15,9	
Sandblästrad	H6:1	9,06	Brott i cementfogen.
	H6:2	14,04	Brott i injekteringsbetongen nära cementfogen.
	H6:3	12,46	Brott i injekteringsbetongen, ~70 % längs stenytan.
	H6:4	14,04	Brott nära cementfogen i injekteringsbetongen.
	Medelvärde	12,4	
	Avvikelse i %	+13,2 -26,9	
7	H7:1	7,25	Brott i cementfogen.
	H7:2	6,91	Brott i cementfogen.
	H7:3	9,63	Brott i cementfogen.
	H7:4	10,08	Brott i cementfogen.
	Medelvärde	8,5	
	Avvikelse i %	+18,6 -18,7	

Platta nr	Dragprov nr	σ_{drag} kg/cm ²	Brottets art
8	H8:1	12,18	Brott i cementfogen.
	H8:2	15,29	Brott i cementfogen.
	H8:3	3,06 ^{x)}	Brott i cementfogen.
	H8:4	9,63	Brott i cementfogen.
	Medelvärde	12,4	
	Avvikelse i %	+23,3 -22,3	
9 Plastbehandlad	CHP 9:7	17,03	75 % i limfog, 25 % i ursprunglig betong.
10 Plastbehandlad	CHP 10:7	16,98	Nära limfogen i ursprunglig betong.

x) Böjbrott, medräknas ej.

Tabell 3.

Platta	Dragprov	τ skjuv kg/cm ²	Medel- värde	Avvikelse i %	Brottsorsak
5 Plastbehand- lad Sandblästrad	1	31,91	33,1	+ 6,8 - 3,6	Brott i limfog.
	2 II	35,34			Lastens påförande av- bröts och provet avlasta- des.
	2 II	33,91			Vid upprepad belastning av samma prov, brott i limfogen.
	3	32,86			Brott i limfogen (ca 50 % brottyta i injekteringsbe- tongen).
	4	32,39			Brott i limfogen.
6 Sandblästrad	1	15,25	13,65	+11,7 -11,8	Brott i cementfogen (spår av slam synes i brottytan).
	3	12,04			Brott i cementfogen (spår av slam synes i brottytan).
5	5:2 I Inj. betong	19,23	19,23		Brott i injekteringsbe- tongen längs stenytor.
6	Ursprungl. betong 1	46,65	45,56	+ 4,9 - 2,4	
	Ursprungl. betong 2	44,48			

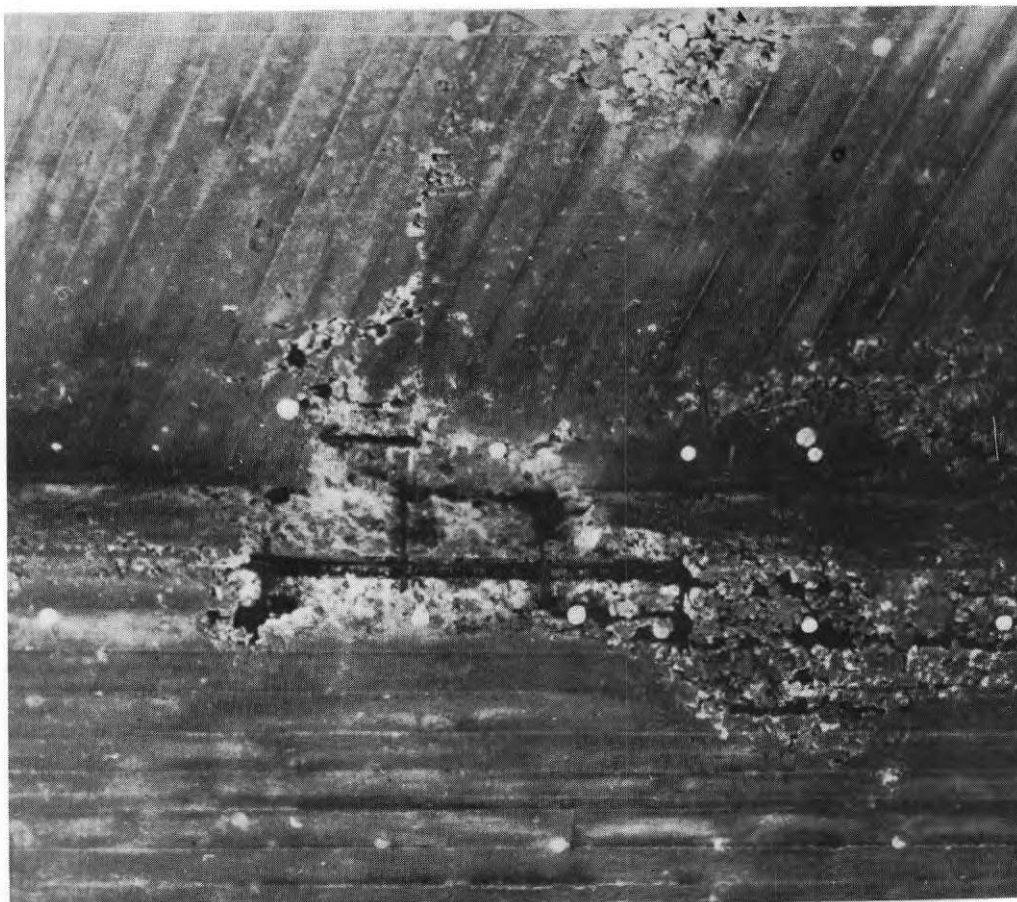
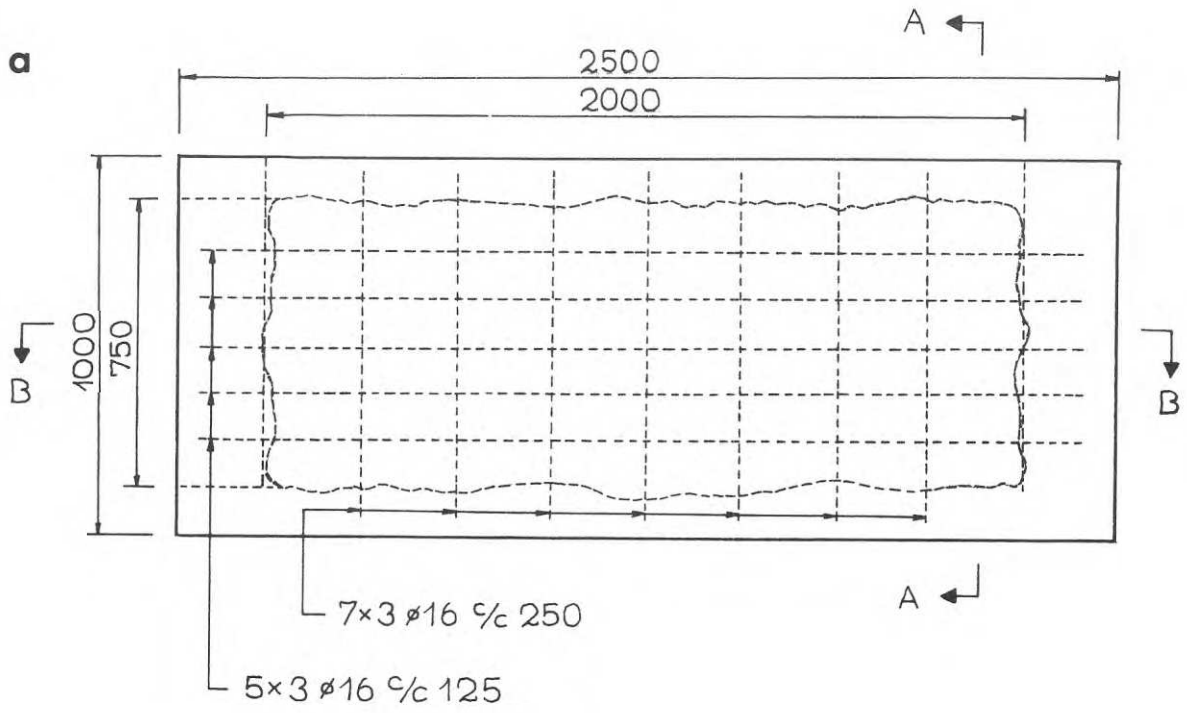
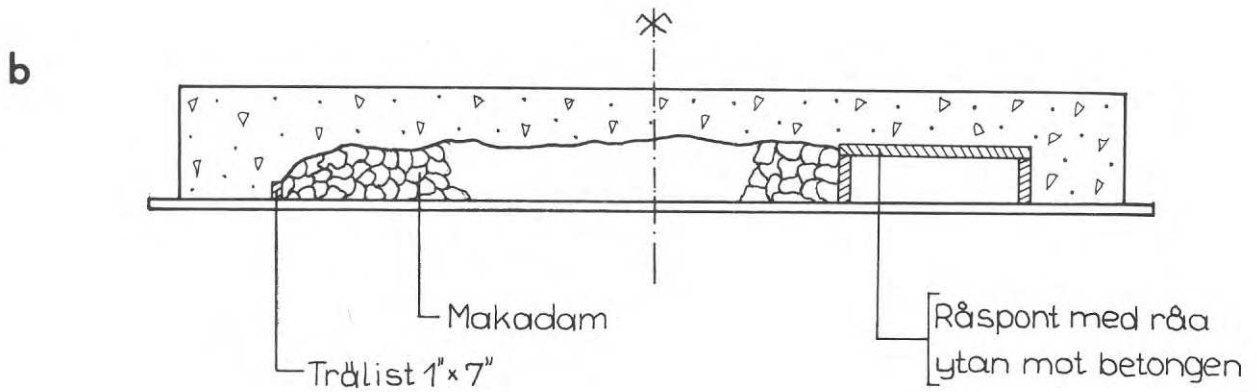


FIG. 1. Exempel på gjutskador som efter formrivning konstaterades på undersidan av en vägport och som reparerades i enlighet med den i avhandlingen framlagda metoden.

Example of honeycombing found on the soffit of a bridge after the formwork had been removed. This was repaired using the method described in the report.



PLAN
1:20



Sektion B-B
1:20

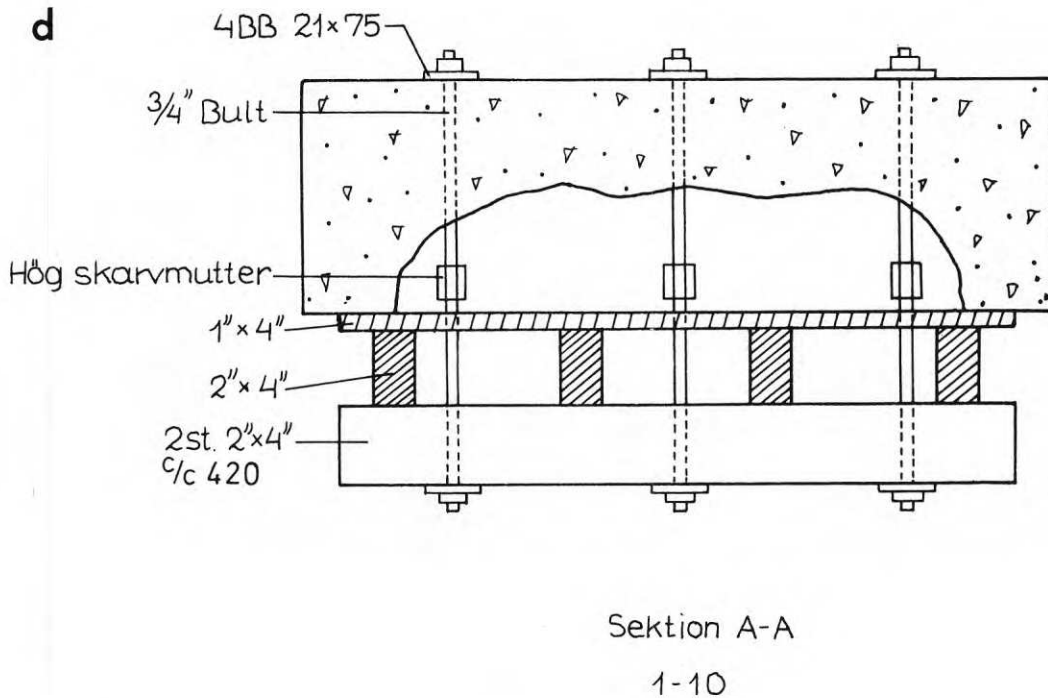
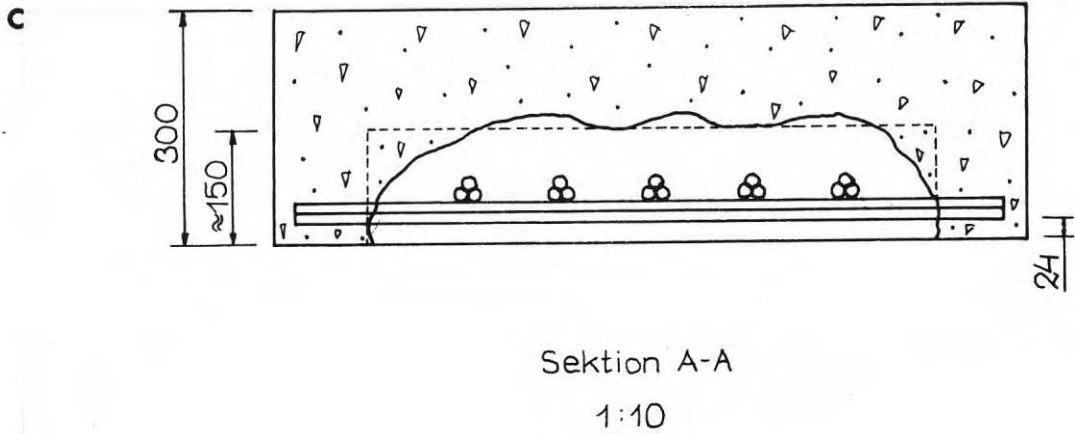


FIG. 2. Figuren visar provplattornas dimensioner, armering och formsättning jämte anordningen av gjutskador. Provplattor nr 5 och 6 försågs med formsättning av råspont med råa ytan mot ursprunglig betong i enlighet med delfigur b för utlagning av provkroppar för skjuvprov.

The figure shows the dimensions and reinforcement of the test slabs and the arrangement of the formwork, as well as simulation of honeycombing. Test slabs 5 and 6 were boxed out with formwork of tongued and grooved rough timber with the rough surface towards the original concrete, as shown in detail b, to facilitate taking out test specimens for shear tests.

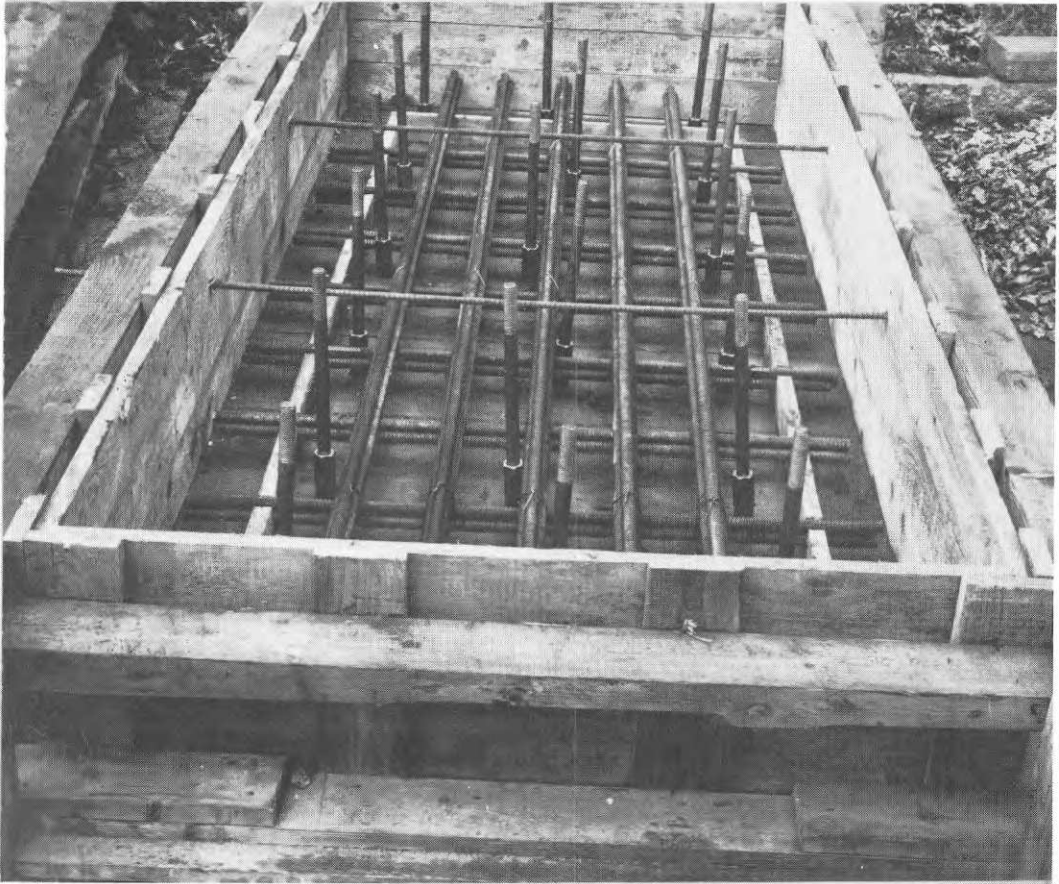


FIG. 3. Formsättning och armering av provplattor.
Test slab reinforcement and formwork.



FIG. 4. Detalj av stenfyllningens och spännbultarnas montering i formen. Av bilden framgår stenyttans ojämna utformning samt topparnas anordning.

Detail showing arrangement of stone filling and fixing bolts in the formwork. The photograph shows the uneven surface of the stone filling and the arrangement at the top.

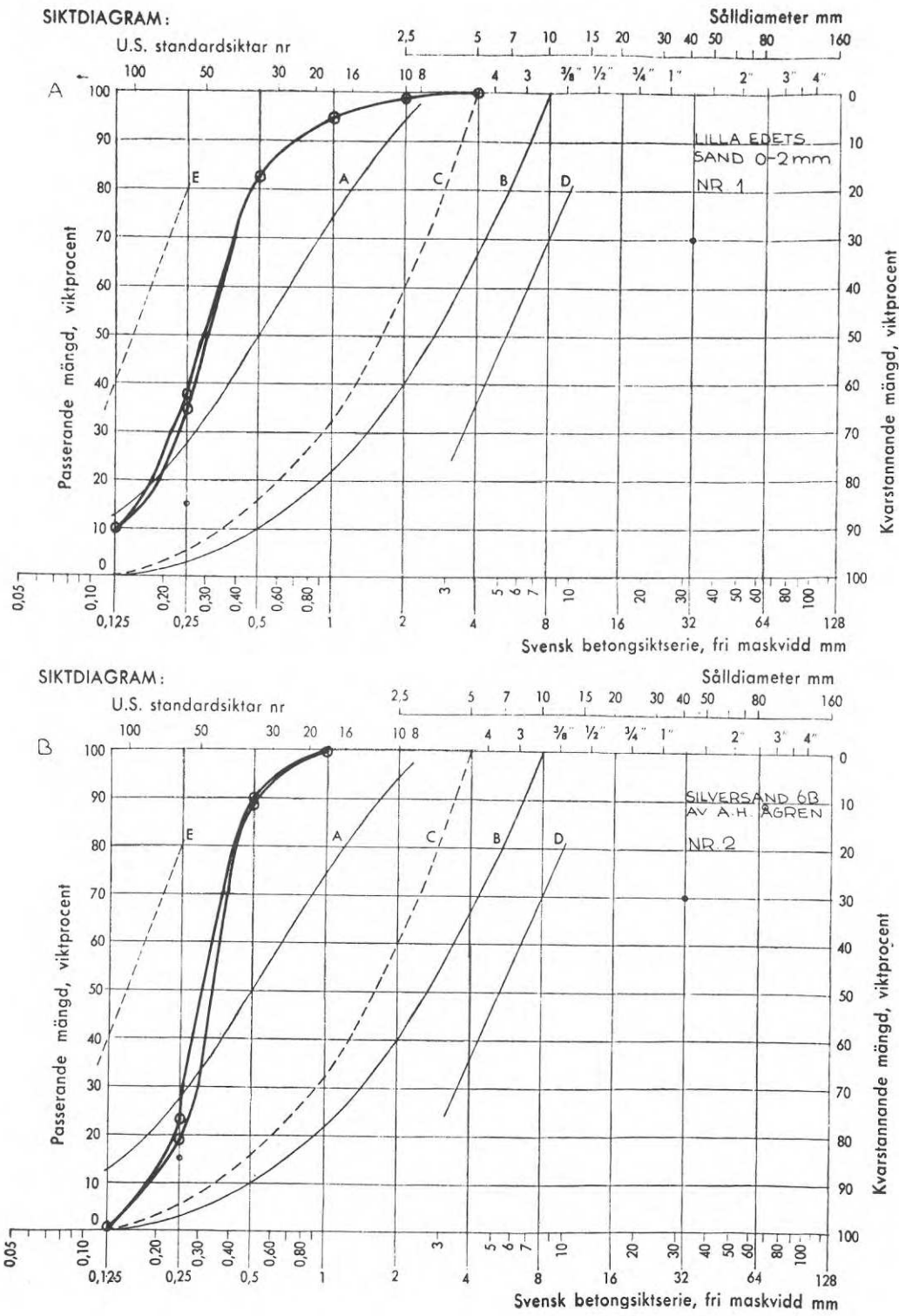


FIG. 5. Siktkurvor för undersökta sandsorter vid utprovning av injekteringsbruket.
 Grading curves for sands examined in designing the grout.

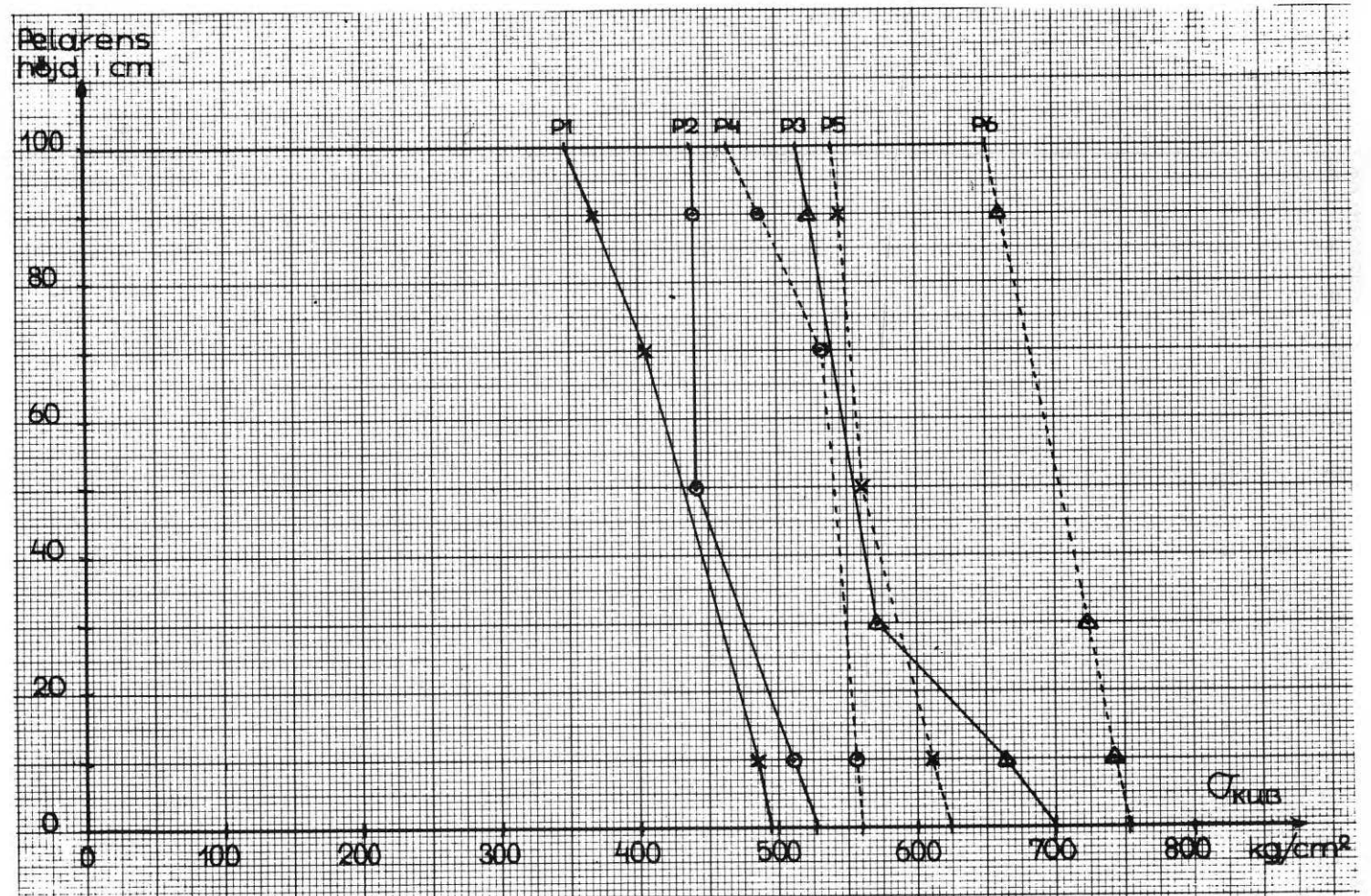


FIG. 6. Tryckhållfasthetens variation i höjdriktningen hos 100 cm höga injekterade betongpelare med kvadratisk sektion 20 x 20 cm.

Vertical variation of compressive strength in a 100-cm high grouted concrete column with a 20 x 20 cm square section.

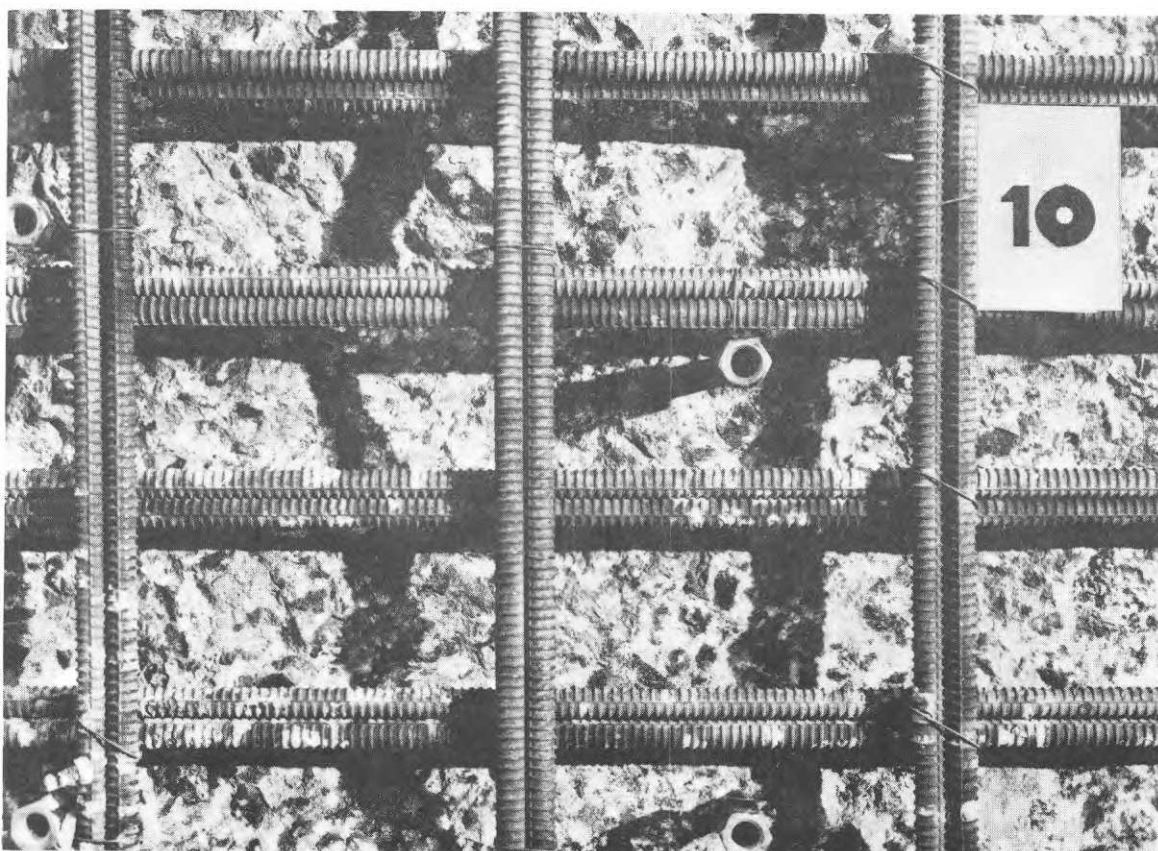
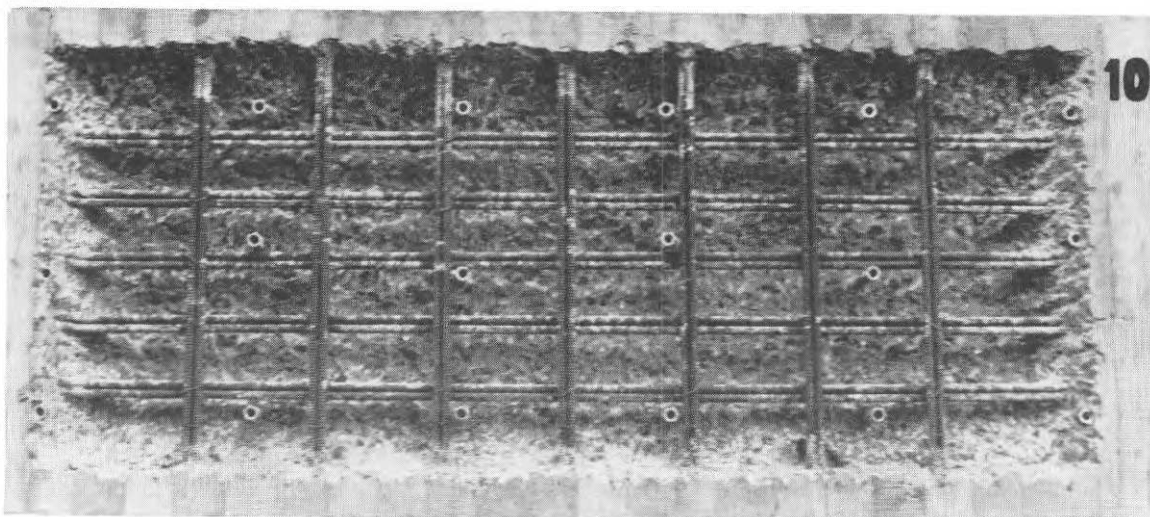


FIG. 8. Utseendet av arrangerad gjutskada hos provplatta 10. Betongytan före injektering framgår i detalj av delfigur b. Bilningen har skett till ungefär 5 cm ovanför armeringsjärnets överkant.

Appearance of simulated casting defect in test slab No 10. The surface of the concrete prior to grouting is shown in detail b. The concrete was cut back to a depth of about 5 cm above the top of the reinforcement.

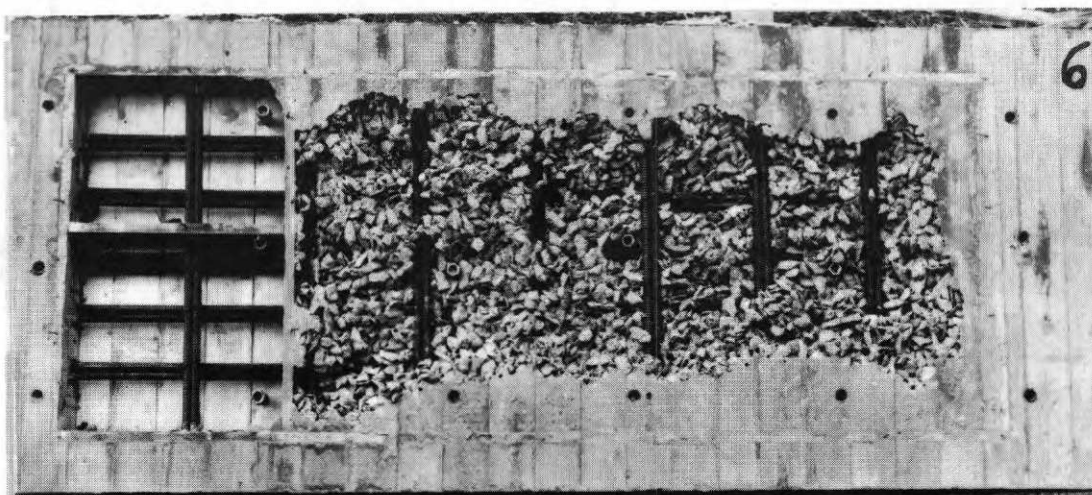
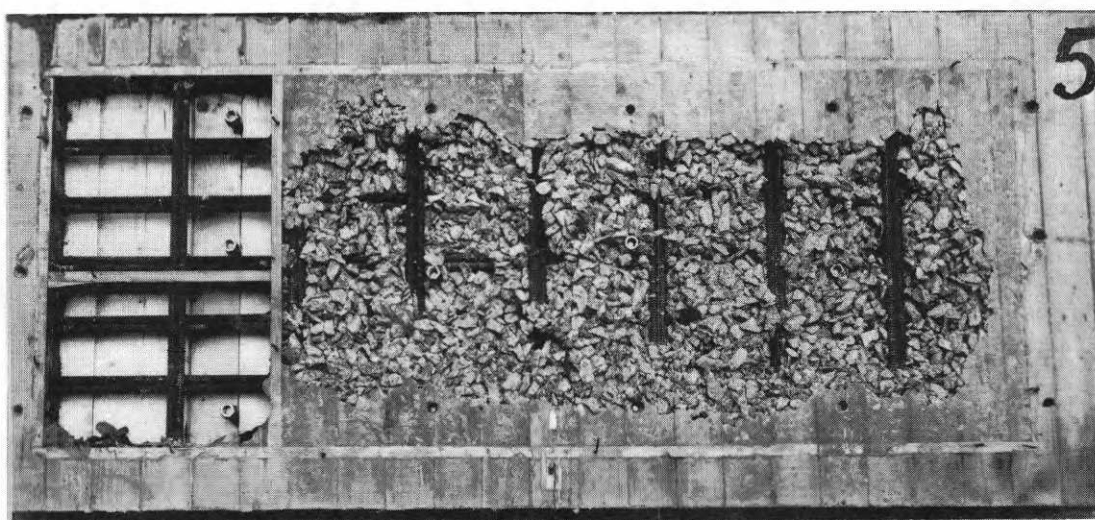


FIG. 7. Utseendet hos provplattornas undersida efter avformning men före bilning av arrangerade gjutskador.

Appearance of the soffits of the test slabs after removal of the formwork but before cutting back of the simulated honeycombed sections.

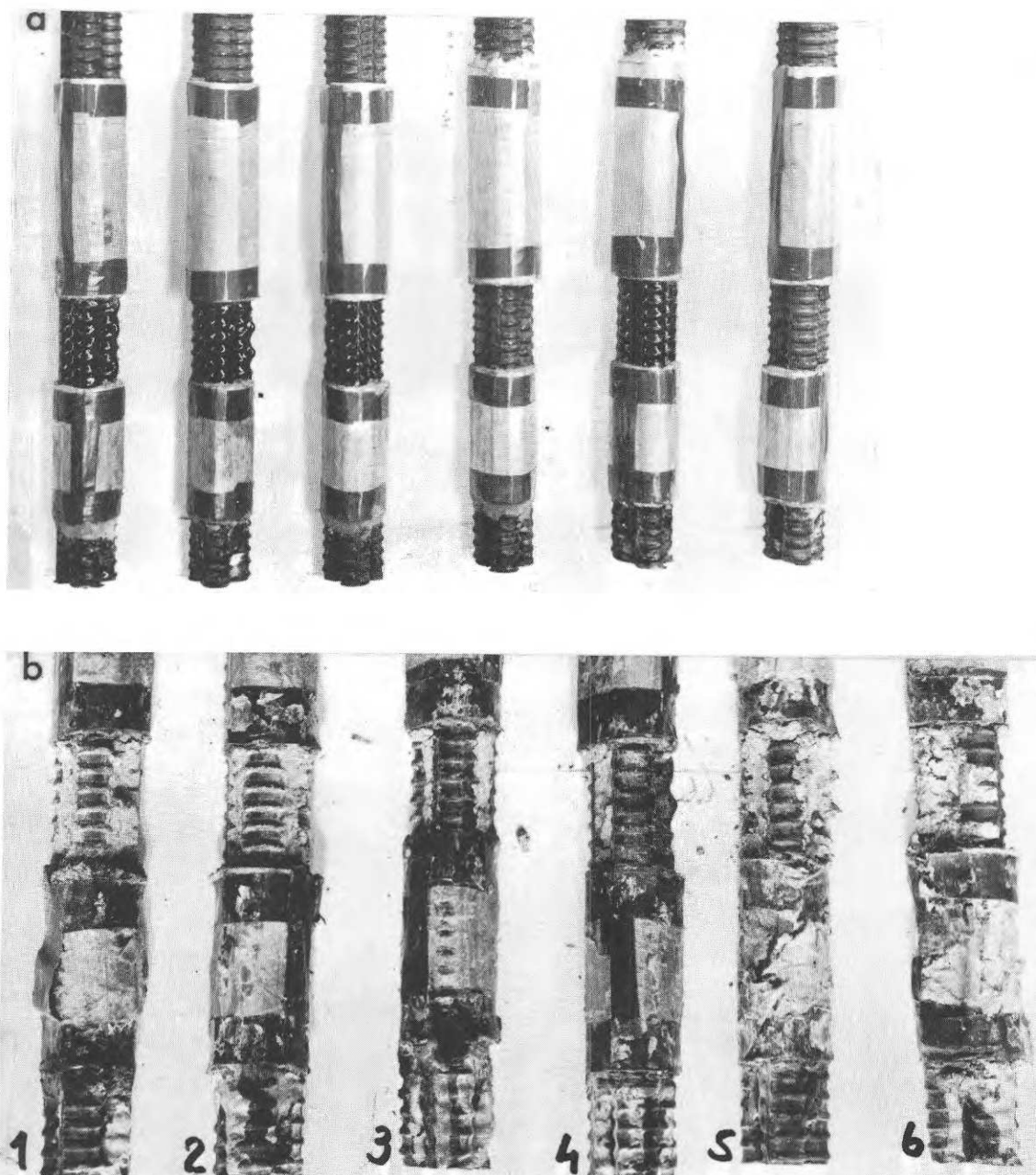


FIG. 9. a) Buntad armering i knippen om 3 ϕ 16 Ks 60 före ingjutningen. Två buntar är obehandlade, två är behandlade med primärskikt och två med primärskikt + limskikt.

b) Vidhäftningsområden i utdragsprov med kort vidhäftningslängd efter friläggning. Brottytan går i betongen utmed kammarnas ytterkanter. Brottytan för den buntade armeringen följer inte alltid den omkrets som bildas av en tråd som spännes runt buntens utmed kammarnas ytterkanter, utan tenderar att följa kammarnas ytterkanter.

a) Bunched reinforcement in bundles of 3 ϕ 16 Ks 60 bars prior to casting. Two bundles are untreated, two are treated with a primer and two with primer and adhesive.

b) Adhesion zones in pull-out tests with short bond length shown after exposure. The fracture surface in the concrete follows the outer edges of the deformations in the bars. The fracture surface with bunched reinforcement does not always follow the envelope described by a wire drawn round the bundle along the outer edges of the deformations but tends to follow the outer edges of the deformations.

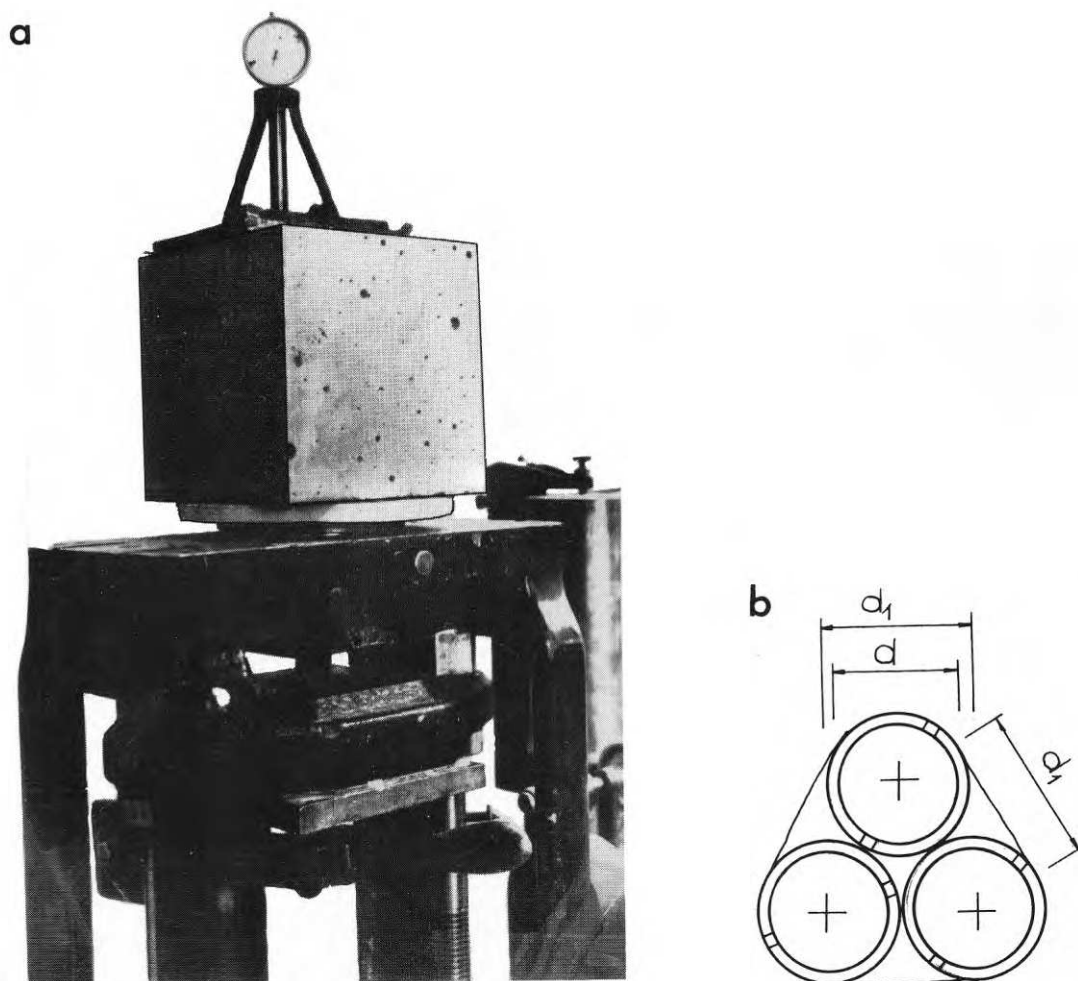


FIG. 10. a) Utdragsprov med kort vidhäftningslängd färdig för provning i vågmaskin. Den fria armeringsändens rörelse relativt betongkuben mätes.
 b) Beräkning av vidhäftande area för buntad armering i knippen om 3 stänger skedde enligt angiven formel $o_j = 1,1 d (\pi + 3)$.

a) Pull-out test with short bond length set up in a balance-type testing machine. The movement of the free end of the reinforcement is measured relative to the concrete cube.

b) Calculation of the adhesion area for bunched reinforcement in bundles of 3 bars was carried out by the formula $o_j = 1.1 d (\pi + 3)$.

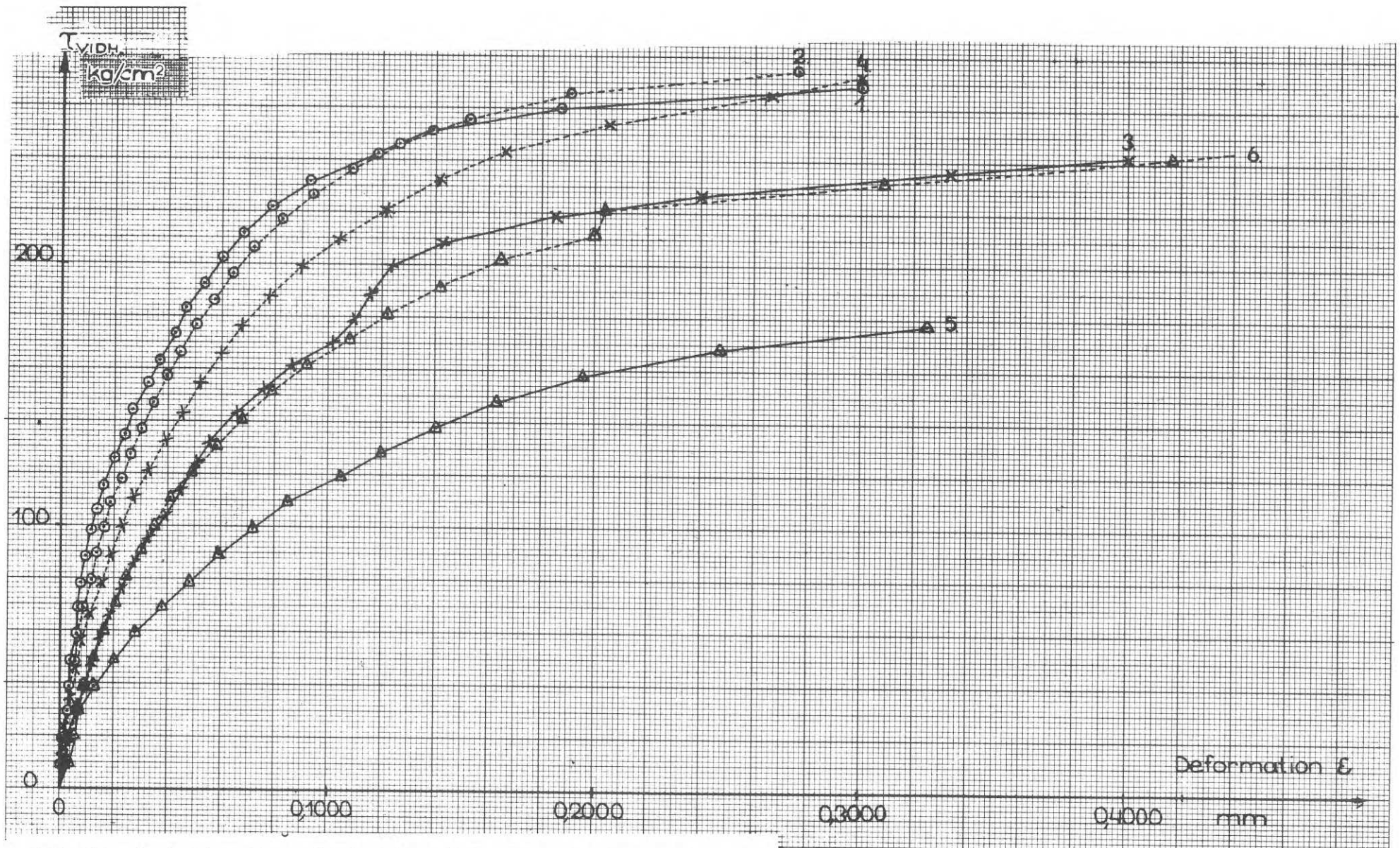


FIG. 11. Samband mellan vidhäftningspåkänning och deformation vid provdragning av buntad armering i knippen om tre stänger ϕ 16 Ks 60 vid utdragsprov med kort ingjutningslängd.

Kurvor 1 och 2	Obehandlad armering
" 3 och 4	Armeringsbuntens före ingjutning bestruken

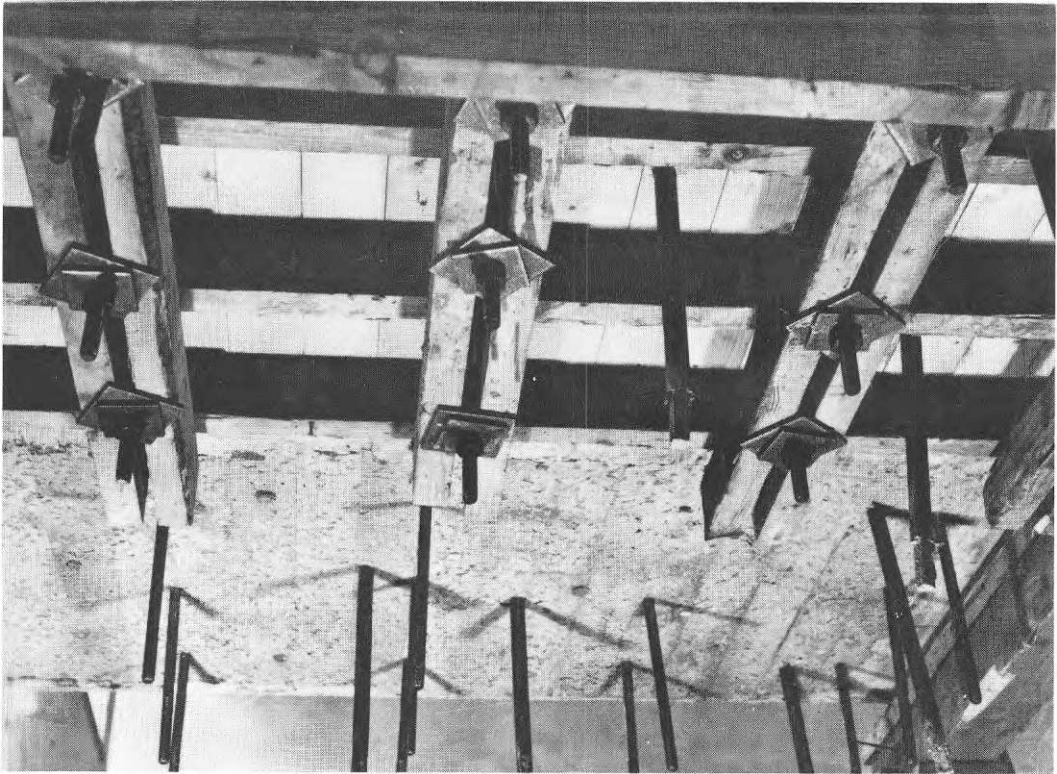


FIG. 13. Anordning för fastspänning av injekteringsformen mot gjutsåret på provplattornas undersida. Provp Plattorna var upplagda på bockar ca 2,5 m ovanför laboriegolvet under injekteringsarbetet.

Arrangement for fixing grouting form to the casting defect at the soffit of the test slab. The test slabs were supported on trestles about 2.5 m above the floor of the laboratory during the grouting process.

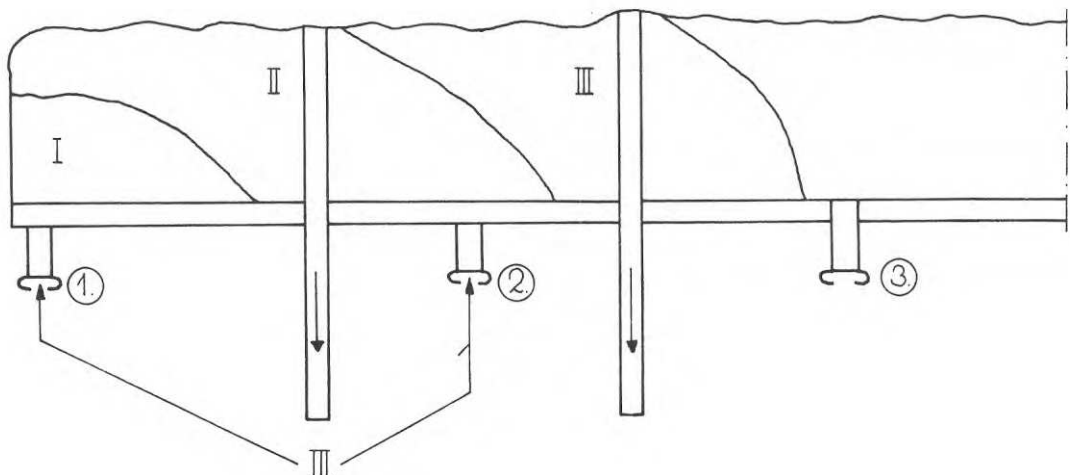


FIG. 14. Principskiss av injekteringsförloppet vid reparation av gjutsår.

Layout sketch showing grouting arrangement when repairing casting defects.

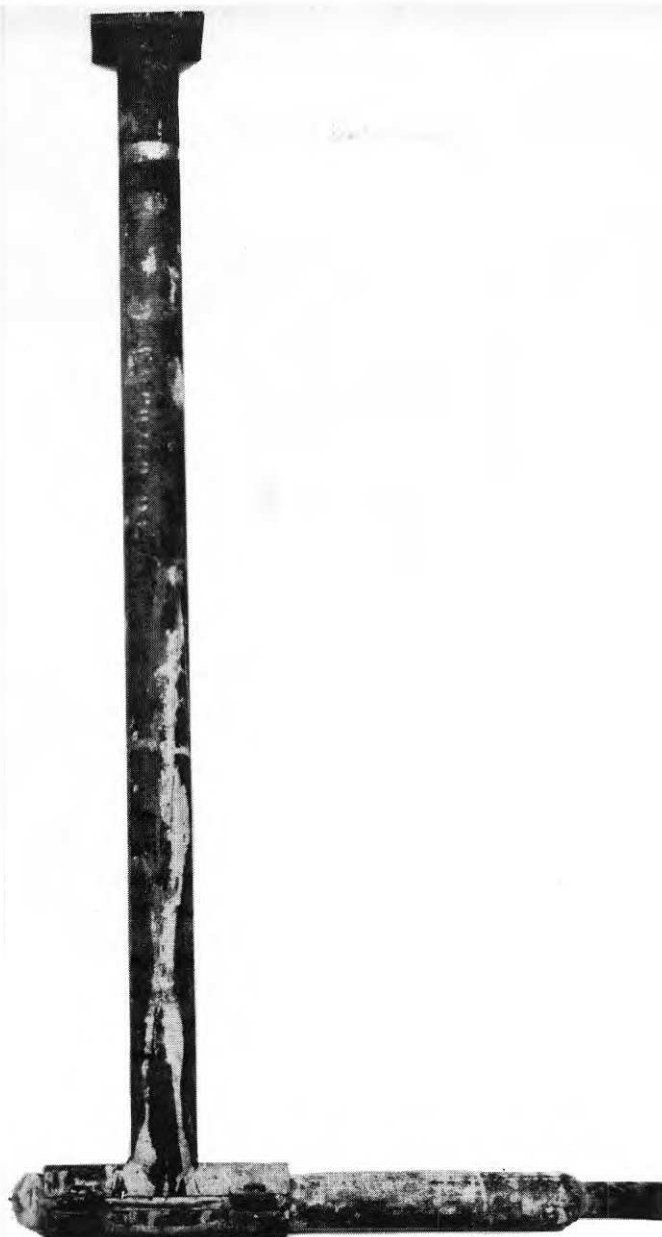
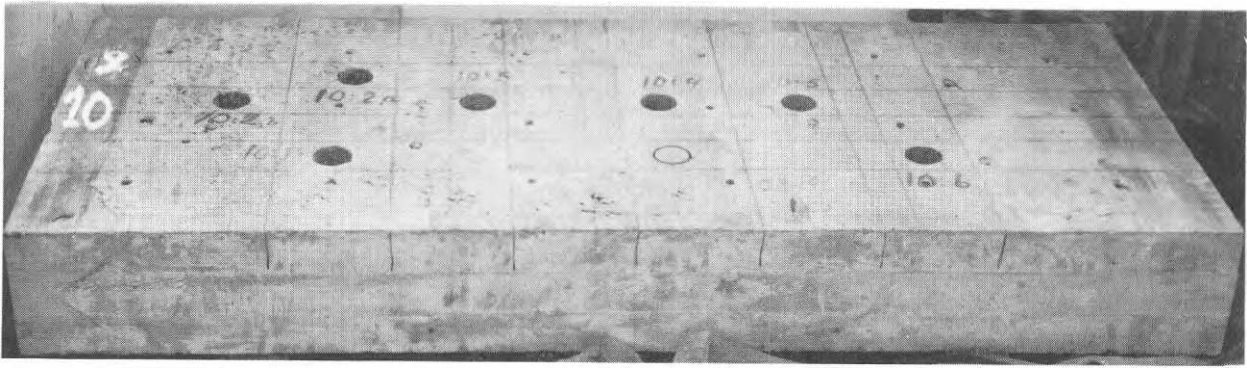


FIG. 15. Bild som visar 70 mm vibrostav med påbyggt förlängningsrör för vibrering av formytan hos plattor 3, 6-8.

Photograph showing 70-mm poker vibrator with an extension attached for vibration of the surface of the formwork on slabs Nos 3, 6-8.

a



b

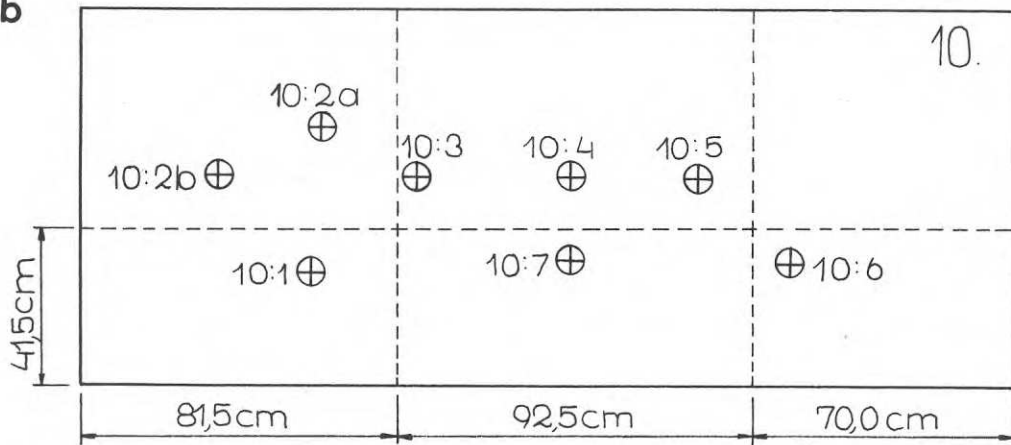


FIG. 16. Skiss och bild över provtagning av borrhärnor vid provplatta 10.

Sketch and photograph showing arrangement of cores in test slab No 10.



FIG. 17. Undersidan hos provplattor 1, 2 och 3 fotograferade efter lagning. Platta 3 vibrerades med liggande vibratorstav och påmonterad vertikal förlängningsarm. Plattorna 1 och 2 formvibrerades med 70 mm snedställd vibratorstav.

Soffits of test slabs Nos 1, 2 and 3 photographed after repair. Slab No 3 was vibrated by a horizontal poker vibrator provided with a vertical extension arm. Slabs Nos 1 and 2 were vibrated by a 70-mm poker vibrator held in an inclined position.

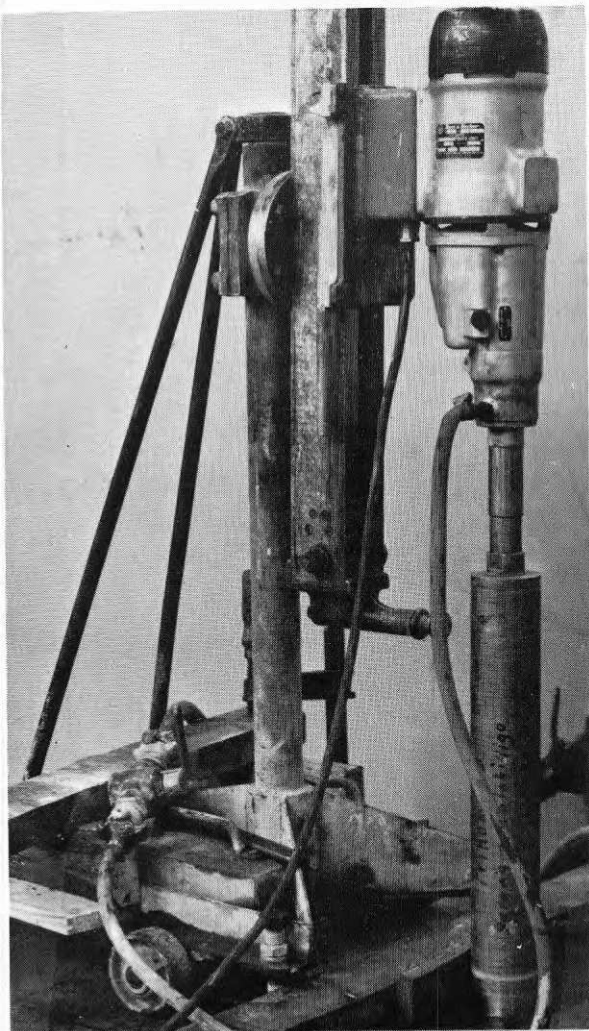


FIG. 18. Diamantborr för uttagning av borrhärnor ur plattor.

Diamond core driller used for taking cores out of the slabs.

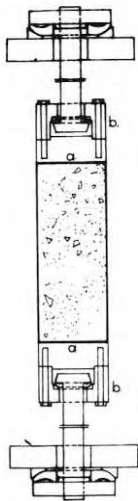
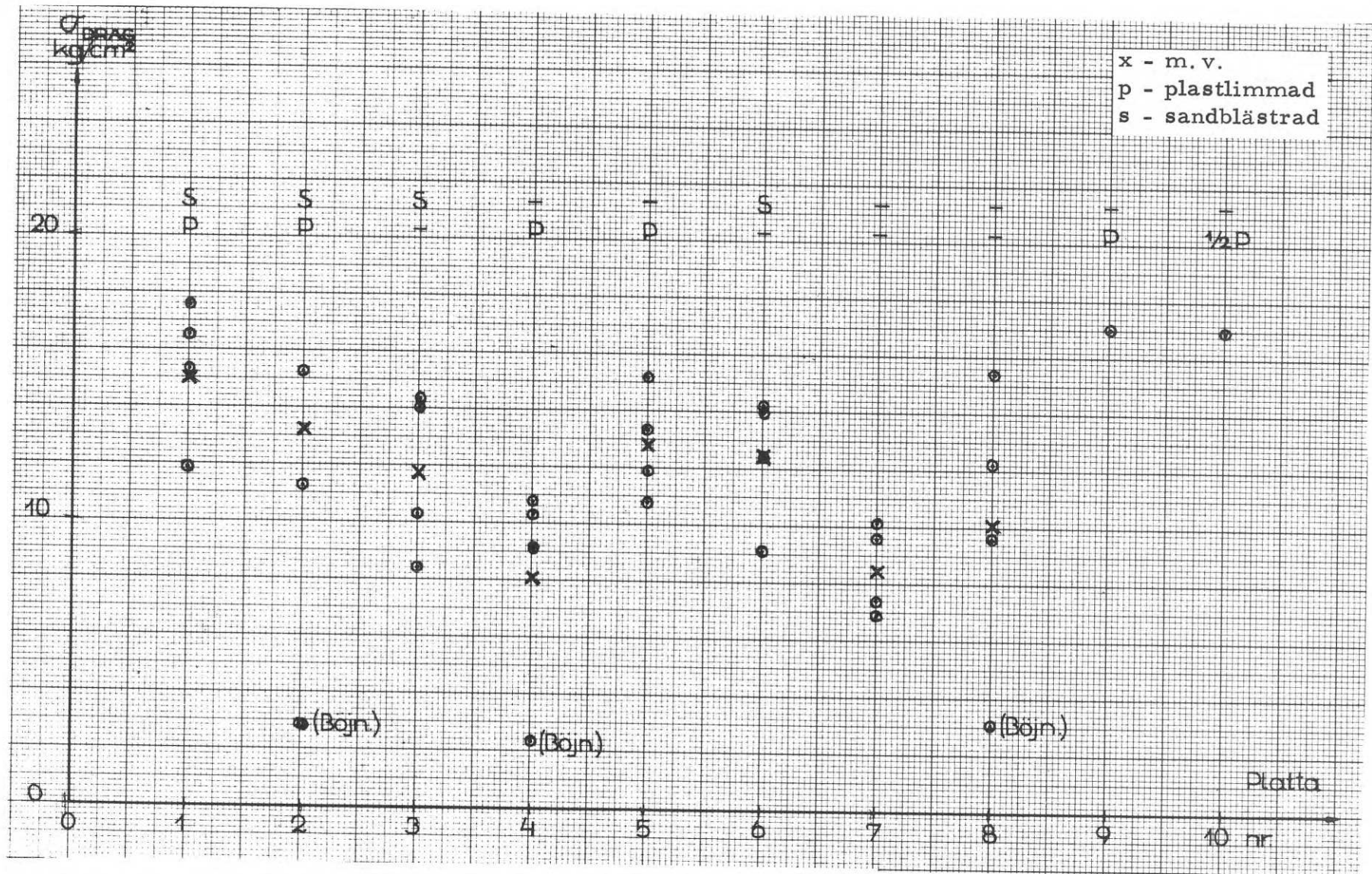


FIG. 19. Anordning (enligt Knutsson) vid provdragnig av borrhärnor. Mot varje kärnas ändyta limmades en planslipad stålplatta a. Vid dessa plattor fästes ett lagermotstycke b med bultar, så att de båda ändarna var ledat infästa vid provdragnig.

Arrangement (according to Knutsson) used in tensile tests on cores. A ground steel disc a was glued to each end of the core and bearing pieces b were then bolted to these discs. This ensured that both ends were pivoted during the tensile test.



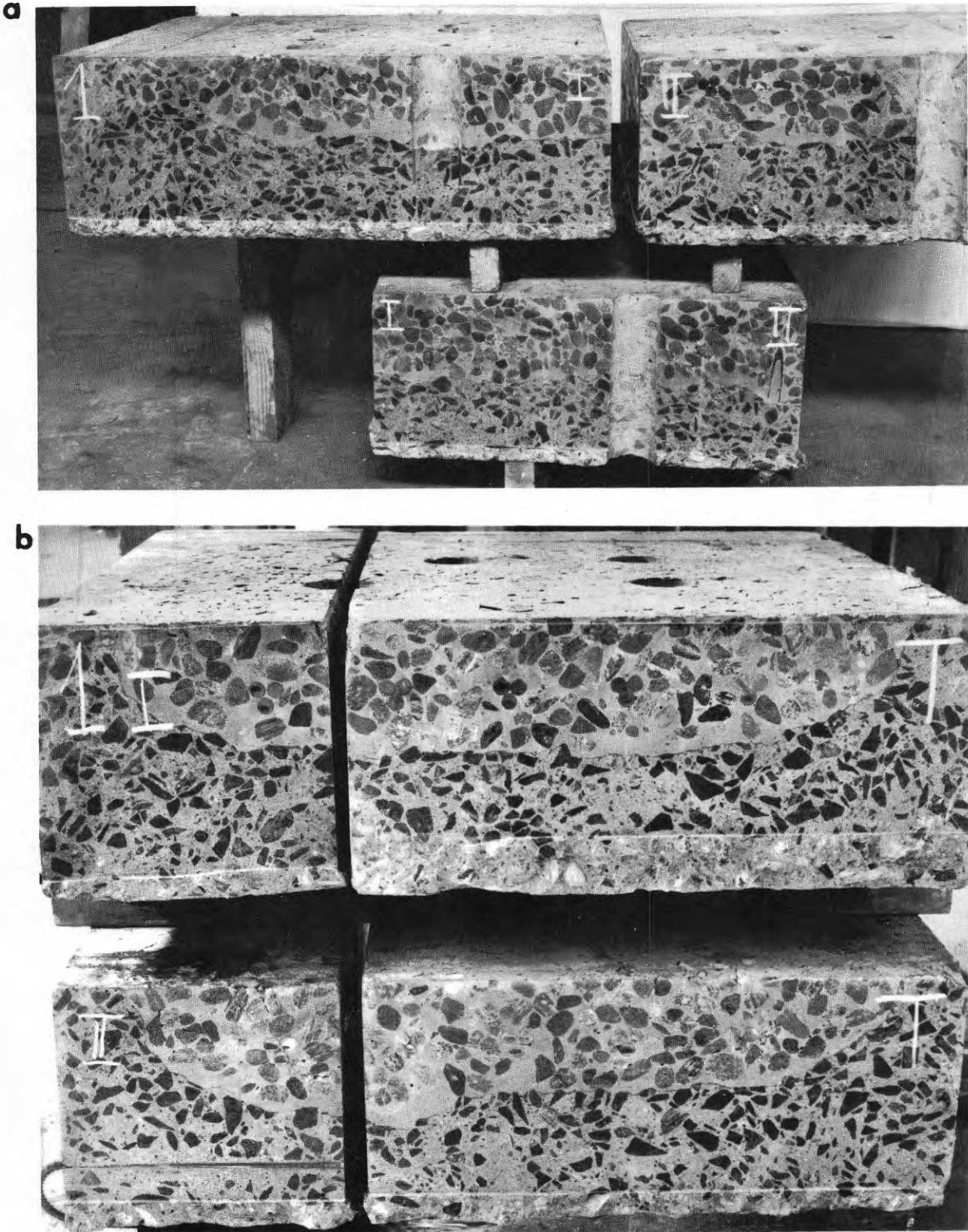


FIG. 23. Sågsnitt av injekteringsplatta 1:
a) längdsnitt b) tvärsnitt.

Saw cut through grouted slab No 1.
a) longitudinal cut b) transverse cut.

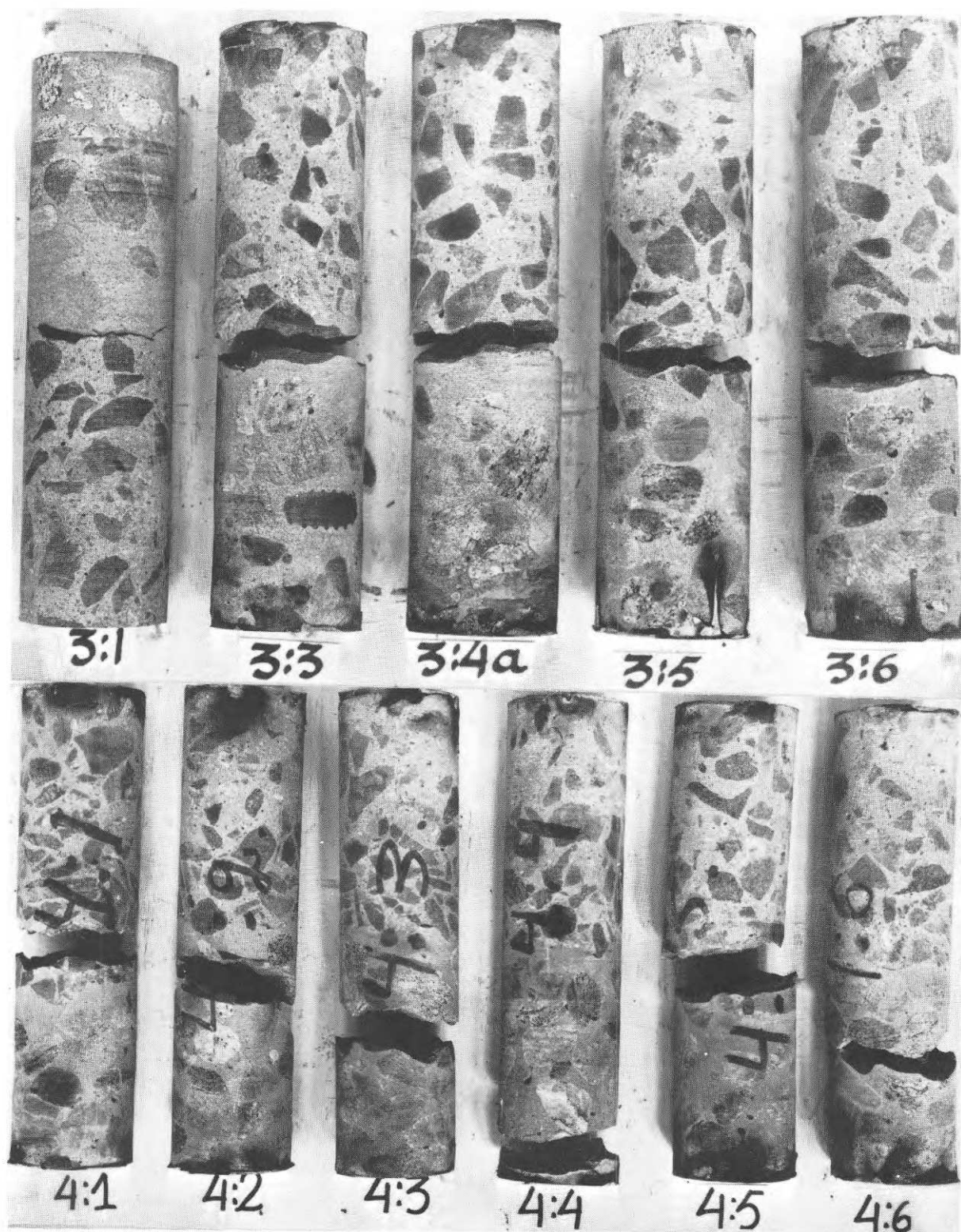


FIG. 22. Borrkärnor efter provdragning för plattor nr 3 och 4. Platta nr 3 injekterades utan och platta nr 4 med plastlimning. Vid plastlimning skedde brottet i allmänhet i injekteringsbetongen men utan plastlimning i fogen mellan ursprunglig betong och injekteringsbetong.

Cores from slabs Nos 3 and 4 after tensile testing. Slab No 3 had been grouted without and No 4 with the use of plastic adhesive. When the plastic adhesive had been used, fracture usually occurred in the grout while without the application of the plastic adhesive it arose in the joint between the original concrete and the grout.

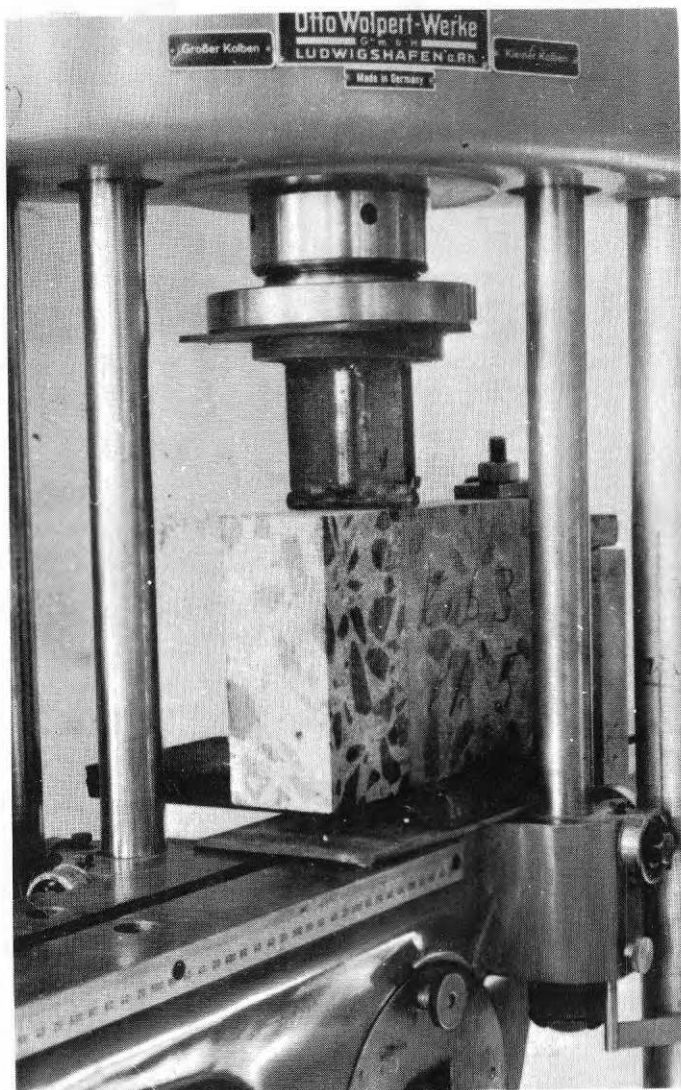


FIG. 24. Provanordning för skjuvprov. Den bakre provändan är fastklämd vid provningsmaskinens bord.

Test set-up for shear test. The far end of the test piece is attached to the table of the testing machine.

R:4 1970

Denna rapport avser anslag nr C 281 från Statens råd för byggnadsforskning till Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg

**Distribution: Svensk Byggtjänst, Box 1403, 111 84 Stockholm
Abonnemangsgrupp: k (konstruktion)**

Pris: 13 kronor