



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**

**R85:1984**

# **Undervattensbetong**

**Undersökningar i fältmässig skala**

**Johan Nygårds**

**Christer Svensson-Ljungkrantz**

R  
APL

INSTITUTET FÖR BYGGDOKUMENTATION  
Accnr                      Plac *SU*

**Byggforskningsrådet**

R85:1984

UNDERVATTENSBETONG

Undersökningar i fältmässig skala

Johan Nygårds  
Christer Svensson-Ljungkrantz

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag  
780115-1 från Statens råd för byggnadsforskning  
till Skånska Cementgjuteriet, Tekn. Avd. Danderyd.

I Byggforskningsrådets rapportserie redovisar forskaren sitt anslagsprojekt. Publiceringen innebär inte att rådet tagit ställning till åsikter, slutsatser och resultat.

R85:1984

ISBN 91-540-4168-6  
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Liber Tryck Stockholm 1984

Rättelse till R85:1984

UNDERVATTENSBETONG

Undersökningar i fältmässig skala

Johan Nygård

Christer Svensson-Ljungkrantz

I rapporten är bildkvaliteten dålig. Detta bildblad kompletterar rapporten och kan läggas in i den. (Erhålls utan kostnad)

Byggforskningsrådet

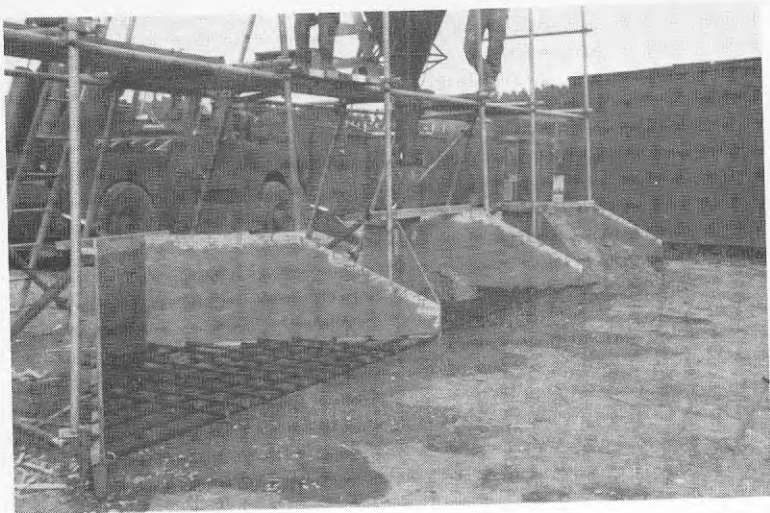


FIG 1

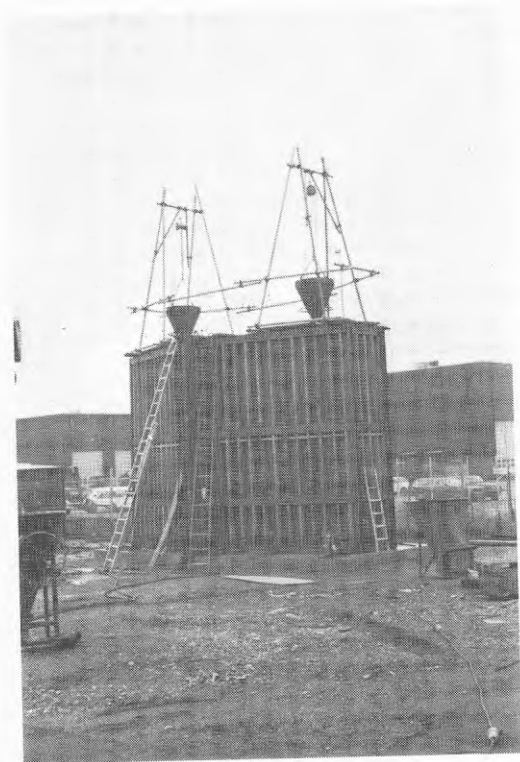


FIG 3. Form arrangerad för gjutningar  
med två rör.

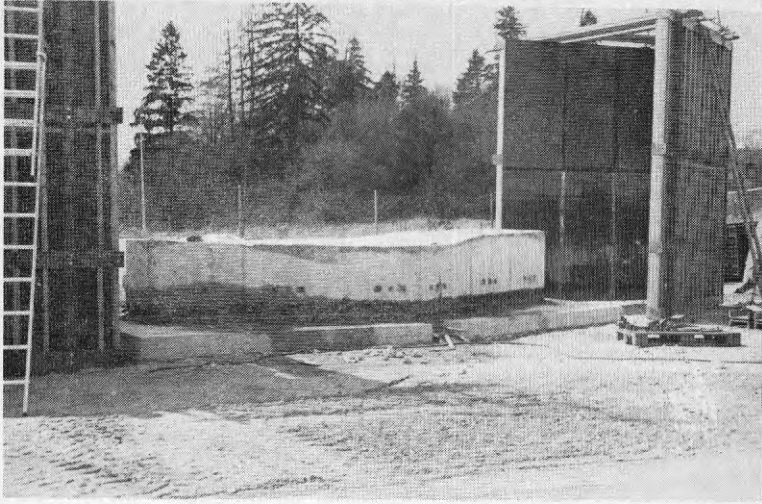


FIG 4



FIG 9



FIG 39



FIG 40

Rättelseblad till R85:1984  
ISBN 91-540-4168-6  
Statens råd för byggnadsforskning,  
Stockholm.

Art.nr: 6704085  
Distribution:  
Svensk Byggtjänst  
Box 7853  
103 99 Stockholm



## INNEHÅLLSFÖRTECKNING

SAMMANFATTNING . . . . .	5
1	BESKRIVNING AV PROJEKTET I SIN HELHET . . . . . 7
1.1	Bakgrund . . . . . 7
1.2	Utgångspunkter vid projektets planering . . . . . 7
1.3	Preliminärt program . . . . . 8
1.4	Omfattning . . . . . 8
2	DEL 1. LITTERATURINVENTERING, RESUMÉ . . . . . 9
3	DEL 2. UNDERSÖKNINGAR PÅ LABORATORIUM, RESUMÉ . . 10
3.1	Betongmassans rörlighet och sammansättning . . . 10
3.2	Gjutning av betong under vatten. Studium av strömningsbild, hållfasthet och armerings vidhäftning . . . . . 12
4	OARMERAD OCH ARMERAD UNDERVATTENS BETONG - EN TEORETISK JÄMFÖRELSE AV MATERIALÅTGÅNG . . . . . 13
5	FÖRBEREDANDE FÖRSÖK TILL GJUTNINGAR I FÄLTMÄSSIG SKALA . . . . . 15
5.1	Betongens rörlighet på stort djup . . . . . 15
5.2	Utflytningsförsök vid olika täckskikt och avstånd mellan armeringsstänger . . . . . 15
6	DEL 3. GJUTNINGAR I FÄLTMÄSSIG SKALA . . . . . 18
6.1	Översikt . . . . . 18
6.2	Form och arrangemang för gjutning . . . . . 19
6.3	Vibrering . . . . . 19
6.4	Betong . . . . . 20
6.5	Armering . . . . . 21
6.6	Kontroll- och provningsförfarande . . . . . 21
6.6.1	Pejling . . . . . 21
6.6.2	Betonghållfasthet - utborrade cylindrar . . . . . 21
6.6.3	Vidhäftning hos ingjuten armering . . . . . 22
6.6.4	Spräckning - inspektion av brottytor . . . . . 22
6.7	Gjutprogram . . . . . 23
6.8	Provningsresultat . . . . . 24
7	UTVÄRDERING - REKOMMENDATIONER . . . . . 26
7.1	Gjutmetod. Öppna rör eller direktpumpning . . . . . 26
7.2	Vibrering . . . . . 27
7.3	Konstruktionstjocklek . . . . . 28
7.4	Tät armering . . . . . 29
7.5	Överkantsarmering . . . . . 30
7.6	Betonghållfasthet . . . . . 30
7.6.1	Betongkvalitet i hörnpartier . . . . . 32
7.7	Armeringens vidhäftning . . . . . 32
7.8	Konsistens - Retarder - Flyttillsats . . . . . 33
7.9	Utformning av statiskt verksam plattarmering . . 35
7.10	Slutord . . . . . 36
FIGURER . . . . .	38



## SAMMANFATTNING

I forskningsprojektet UNDERVATTENSBETONG ingår undersökningar av olika betongsammansättningar, studier av strömningsbild och inverkan av vibrering samt provning av betongens tryckhållfasthet och vidhäftning mot armering. Projektet omfattar i sin helhet följande tre delar, av vilka de två första är avslutade och rapporterade.

Del 1. Litteraturinventering, BFR rapport R 38:1976.

Del 2. Undersökningar på laboratorium, BFR rapport R 2:1979.

Del 3. Undersökningar i fältmässig skala. Föreliggande rapport.

I DEL 1, som i huvudsak sammanställts vid CBI (Cement- och Betonginstitutet, Stockholm) ingår referat av artiklar i 25 tidskrifter världen runt, varav 6 svenska. Utförande, rekommendationer och undersökningar behandlas. Läsningen ger synnerligen intressant om än inte entydig information. I samtliga referat framhålles bl a den färskas betongens egenskaper som mycket viktiga för gjutningens förlopp.

I DEL 2 ingår försök som vi till större delen genomförde på CBI, där personal och lokaler ställdes till vårt förfogande. Försöken var uppdelade i två avsnitt. - Dels mätning av olika betongtypers rörlighet och rörlighetens avtagande med tiden (dvs betongtypernas lämplighet). Härvid användes en för ändamålet speciellt framtagen apparat. Antalet försök uppgick till 35. Enligt vår bedömning erhöles säkra indikationer på lämpliga och olämpliga betongtyper. - Dels gjutning av monoliter, betongvolym  $1,2 \text{ m}^3$ , under vatten. Antalet monoliter var 14, varav 10 med ett gjutrör och 4 med två. Betongtyperna varierades med ledning av rörlighetsmätningarna. Fyra av monoliterna vibrerades. Samtliga monoliter var armerade med såväl vertikala som horisontella stänger. Betongens tryckhållfasthet bestämdes på utborrade kärnor och vidhäftningen med utdragsprov. Gjutsatserna, volym  $0,15 \text{ m}^3$ , tillsattes olika färger, varigenom strömningsbilden efter avformning tydligt framträdde. Med lättrorliga betongtyper, främst sådana med retarder, erhöles den under vatten gjutna betongen en hög och jämn kvali-

tet, såväl ifråga om tryckhållfasthet som vidhäftning mot armering.

DEL 3 omfattar gjutning i fältmässig skala av sju monoliter i en form med höjden 4,0 m och arean  $12,0 \text{ m}^2$ , fylld med vatten. Tre monoliter hade tjockleken 0,75 m och fyra 1,5 m. Betongvolym sålunda 9,0 respektive  $18,0 \text{ m}^3$ . Betong med god rörlighet eftersträvades. Retarder tillsattes i alla monoliter, i en dessutom flyttillsatsmedel. Monoliterna armerades med horisontella stänger. Vissa partier av monoliterna vibrerades, andra lämnades utan bearbetning. Strömbild och släntlutningar kontrollerades genom pejling. Gjutningarna utfördes antingen med öppna rör, ett eller två, eller med direkt pumpning i formen, ett, två eller tre nedstick. Betongens tryckhållfasthet bestämdes också här på utborrade kärnor och armeringens vidhäftning med utdragsprov. Före borttransport spräcktes monoliterna i mindre delar. Brottyorna gav ett unikt tillfälle att studera det inre av en under vatten gjuten betongkonstruktion. Av försöken framgår att det med kvalitetsmässigt gott resultat är fullt möjligt att under vatten gjuta inte bara betong i allmänhet utan också armerade konstruktioner, typ plattor, med konstruktivt utnyttjad armering. En ofrånkomlig förutsättning är dock en lämplig betong och ett riktigt utförande samt en med hänsyn till gjutningsmetoden anpassad utformning av armeringen. Rekommendationer härvidlag lämnas i rapporten.

# 1 BESKRIVNING AV PROJEKTET I SIN HELHET

## 1.1 Bakgrund

Gjutning av betong under vatten förekom redan på 1800-talet. I början på innevarande sekel utfördes de första stora gjutningarna. Under årens lopp har metoden utvecklats och varierats på många sätt, mer eller mindre säkra. Misslyckanden vars orsaker man ibland kunnat spåra, ibland inte, har inträffat och inträffar fortfarande. Gjutningstekniken är en helt annan än den som tillämpas i torrhet och man ser ingenting av det man håller på med. Under gjutningens gång kan felaktigheter uppträda som man inte observerar och därför ej heller rättar till. Också möjligheten att i efterhand bedöma hur en gjutning utfallit och därigenom skaffa sig erfarenheter är, i jämförelse med gjutning i torrhet, i de flesta fall begränsad och osäker. Arbetsobjekten är ofta stora och så belägna att det kan bli mycket kostsamt att återställa en dåligt utförd gjutning i fullgott skick, om detta överhuvudtaget är möjligt. Ökad kännedom om hur olika faktorer inverkar vid gjutning under vatten borde förhoppningsvis kunna minska riskerna och nedbringa antalet misslyckanden. En klarläggande undersökning syntes vara väl motiverad.

## 1.2 Utgångspunkter vid projektets planering

I den förberedande planeringen ingick en omfattande litteraturinventering. Av i denna refererade artiklar samt från samtal med i frågeställningen väl initierad expertis erhöles information, som i vissa avseenden var helt samstämmig och entydig, i andra avseenden icke. Entydigt framkom att betongmassans egenskaper har avgörande betydelse. Den skall kunna röra sig (strömma) en avsevärd sträcka, med ett eller flera, längre eller kortare upphåll i rörelsen. Kraven på stabilitet, sammanhållning och rörlighet blir då mycket höga. Också det sätt på vilket betongmassan placeras i formen, dvs arbetsförfarandet, har avgörande betydelse för strömningsbilden. T ex avstånd mellan gjutrör eller vid direkt pumpning, mellan nedstick, stighastighet, gjutningsförlopp, skiktjtjocklek, släntlutning m m.

Vid tidpunkten för projektets planering var det i Sverige inte tillåtet att vibrera betongen vid gjutning under vatten. Ej heller var det tillåtet att statistiskt utnyttja annat än stående förankringsarmering i under vatten gjutna konstruktioner. Det syntes motiverat att genom försök fastställa riktigheten av dessa restriktioner. Efterhand som projektet framskridit och en hel del praktiska försök utförts, har restriktionerna mjukats upp.

### 1.3 Preliminärt program

En del skulle omfatta undersökningar på laboratorium och avse lämplig betongsammansättning med noggrant studium av strömbilden vid gjutning i vatten under olika premisser, bl a med och utan vibrering. Hållfasthet och vidhäftning mot armering hos den i vatten gjutna betongen skulle provas. Provkropparnas storlek maximerades till ca  $1,2 \text{ m}^3$ .

Med ledning av dessa resultat skulle ett antal försök i fältmässig skala, omfattande gjutning av monoliter med upp till  $18 \text{ m}^3$  betong, genomföras. I dessa försök skulle endast en betongtyp ingå. Gjutning skulle ske med öppna gjutrör med tratt och med direktpumpning, samt med och utan vibrering. Strömbilden skulle noggrant följas, och betongens hållfasthet och vidhäftning mot armering provas.

### 1.4 Omfattning

I sin helhet omfattar forskningsprojektet följande tre delar av vilka de två första är avslutade och rapporterade.

- Del 1      Litteraturinventering  
            BFR rapport R 38 1976
  
- Del 2      Undersökningar på laboratorium  
            BFR rapport R 2 1979
  
- Del 3      Föreliggande rapport

I rapporten ingår referat av artiklar i 25 tidskrifter världen runt, varav 6 svenska. Utförande, rekommendationer och undersökningar behandlas. Läsningen ger synnerligen intressant, om än inte entydig, information. I samtliga referat framhålles den färskas betongens egenskaper som mycket viktiga för gjutningens förlopp. Genomgående framhålles också att gjutningen bör fortgå utan eller med endast korta avbrott. Asikterna i fråga om andra faktorer varierar inom vida gränser. En sammanställning i tabellform av väsentliga data från de flesta av artiklarna finns med i rapporten. Likaså en förteckning över litteratur avseende "Betongs gjutbarhet och konsistens" i allmänhet.

## 3 DEL 2 - UNDERSÖKNINGAR PÅ LABORATORIUM, RESUMÉ

Förberedande försök, bl a utveckling av mätmetod för bestämning av betongmassans rörlighet skedde på Cementgjuteriets laboratorium i Upplands Väsby. De egentliga försöken genomfördes på Cement- och Betonginstitutet i Stockholm (CBI), där lokaler och personal ställdes till vårt förfogande och där goda råd i olika frågor kunde erhållas. Försöken var uppdelade i två avsnitt.

## 3.1 Betongmassans rörlighet och sammansättning

Enligt en för ändamålet speciellt framtagen metod utfördes mätning av olika betongtypers lämplighet. Betong för gjutning i vatten skall ha god rörlighet inte bara i gjutningsögonblicket utan så länge som det under gjutningens gång är önskvärt att den skall kunna röra sig (strömma) i formen. Gjutning med flera fasta rör eller förflyttning av pumprör medför att betongen tvingas röra sig på nytt efter viss tid i vila, en eller flera gånger. Sträckan den har att förflytta sig kan vara tre, fyra meter, ibland ännu mer.

Vanligen använda metoder för mätning av betongens konsistens och gjutbarhet bedömdes som otillfredsställande för bedömningen i detta fall. Vid de förberedande försöken konstaterades att betongmassan vid mätning av rörlighet skall ha en reellt långsam rörelse och att mätningar som sker med vissa tidsintervall (intermittent rörelse) hela tiden skall göras på en och samma betongmassa.

Med dessa utgångspunkter konstruerades den apparat med vilken rörlighetsmätningarna genomfördes. Betongmassans rörlighet kan noggrant registreras inom tidsintervall som är intressanta vid gjutning under vatten. Apparaturen och principen för redovisning av mätresultat framgår av BFR rapport R 2 1979.

Med metoden har olika betongsammansättningar klassificerats med ett så kallat rörlighetsvärde. Detta värde speglar betongmassans rörlighet under tidsintervallet 1 - 2 1/2 timme efter blandning.



35 tester med olika betongsammansättningar genomfördes, grupperade efter följande faktorer:

Konsistens  
Tillsatsmedel  
Cementfabrikat  
Ballasttyp  
Ballastgradering  
Temperatur

Cementhalten var  $350 \text{ kg/m}^3$  i samtliga försök.

Något bättre rörlighet har erhållits med sättmått 180-200 mm än med 140-160 mm. Man bör dock beakta separationsrisken med den lösare konsistensen. Med sättmått 100-120 mm har rörligheten blivit påtagligt sämre.

Tillsatsmedlets inverkan har kunnat mätas under ett tidsskede som inte fångas upp av t ex penetrationsprovning, men som är ytterst aktuellt vid undervattensgjutning. Sålunda har konstaterats att retarder inverkar på betongmassans rörlighet också i detta tidiga skede och att dess effekt är mycket god. Betong utan retarder klassificeras som mindre god varför detta medel rekommenderas generellt vid undervattensgjutning. Enbart flyttillsats förbättrar inte rörlighetsvärdet nämnvärt. Detta beror på den alltför korta flyttid som erhålles med de flesta medel. I kombination med retarder har emellertid flyttillsats givit mycket god rörlighet.

Mellan de två Std-Portland-cementfabrikat som undersöktes var det en markerad skillnad.

Ifråga om grus och stentyper synes konformen hos fingeruset ha stor betydelse. Däremot kan sten i form av makadam utan större olägenhet användas.

Mängden material  $< 0,25 \text{ mm}$  har visat sig väsentlig för rörligheten och bör utgöra lägst 10% av totala ballastmängden. Mängden ballast  $> 4 \text{ mm}$  bör inte överstiga 52% vid största stenstorlek 32 mm.

Sänkning av betongtemperaturen från t ex 20 till 10°C ökar rörligheten påtagligt.

### 3.2 Gjutning av betong under vatten. Studium av strömningsbild, hållfasthet och armeringens vidhäftning

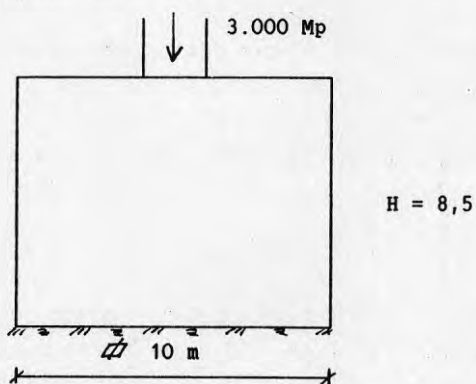
I försöksserien ingick gjutning av 14 monoliter, vardera med en volym av 1,2 m<sup>3</sup>. Gjutformens dimensioner längd x bredd x höjd = 2 x 0,5 x 2 m. Monoliternas höjd blev sålunda ca 1,2 m. Såväl vertikal som horisontell armering göts in. Monoliterna varierades ifråga om ballast, tillsatsmedel, vibrering och stighastighet. Tio monoliter göts med ett gjutrör och fyra monoliter med två, ett i var ände, varvid formens längd ökades till 2,5 m. Till varje monolit blandades åtta satser betong med en volym av 150 liter. Gjutsatserna tillsattes vid blandningen olika färger och kunde därigenom identifieras när monoliten avformats. Fotografier i färg togs på samtliga monoliter och återges tillsammans med utförlig diskussion om strömning, släntlutning m m i rapport R 2 1979.

Betongens hållfasthet bestämdes på vertikalt utborrade kärnor  $\emptyset$  100 mm. Högsta och jämnaste hållfastheten uppvisade betong med retarder. Vidhäftning mot armering bestämdes medelst utdragsprov. Någon påtaglig systematisk skillnad i vidhäftning mellan stänger belägna på olika ställen i monoliten kunde inte urskiljas. En rangordning av monoliterna från bäst till sämst ifråga om vidhäftning följer relativt väl motsvarande rangordning för tryckhållfastheten. Bäst är sålunda också här betong med retarder.

4 OARMERAD OCH ARMERAD UNDERVATTENS BETONG - EN TEORETISK JÄMFÖRELSE AV MATERIALÅTGÅNG

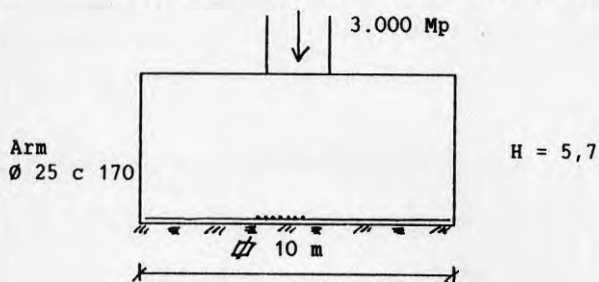
Jämförelsen är gjord för en bottenplatta till en bro, beräknad enligt Vägverkets nuvarande (1983) beräkningsregler (I och II). Lasten från överbyggnaden antages vara 3.000 Mp. Arean hos fundamentet har valts till 10 x 10 m. Det resulterande upptrycket, som dimensionerar plattan (= grundtrycket minus egenvikt platta) blir då 30 Mp/m<sup>2</sup> (0,3 MPa).

I Oarmerad betong



Betong: 850 m<sup>3</sup>

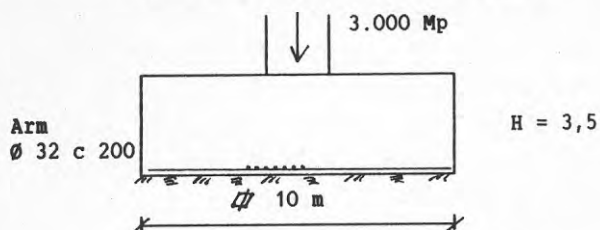
II Sprickarmerad, armeringen ej statistiskt verkan



Betong: 570 m<sup>3</sup> Armering: 5 ton

III Om armering får utnyttjas statiskt kan dimensionen minskas till:

(Tvärkraftskapaciteten avgörande)



Betong:  $350 \text{ m}^3$  Armering: 7,5 ton

I de fall som redovisats ovan kommer det totala grundtrycket, inklusive bottenplatta, att bli

I  $30 + 8,5 \times 1,4 = 42 \text{ MP/m}^2$

II  $30 + 5,7 \times 1,4 = 38 \text{ MP/m}^2$

III  $30 + 3,5 \times 1,4 = 35 \text{ MP/m}^2$

Ofta ger man plattan en sådan area att man utnyttjar ett visst högsta tillåtna grundtryck. Detta innebär att ytterligare material kan sparas då man går över till statiskt utnyttjad armering.

## 5 FÖRBEREDANDE FÖRSÖK TILL GJUTNINGAR I FÄLTMÄSSIG SKALA

Innan gjutningarna i fältmässig skala startades gjordes två mindre försöksserier. Den ena för att bestämma betongens rörlighet på stort vattendjup, den andra för att studera betongens utflytning med armering i rutnätsform på botten.

### 5.1 Betongens rörlighet på stort djup

Rörligheten provades med samma apparat som omtalats i avsnitt 3.1. Vattendjupet motsvarade i detta fall ca 2 m. Genom att stånröret utbyttes mot en ventil som öppnade och släppte ut vatten vid ett visst tryck, kunde ett i förväg valt vatten-tryck inne i behållaren erhållas och således önskat vattendjup simuleras. Avsikten var alltså att mäta hur vattendjupet påverkar betongmassans rörlighet när den flyter ur gjutröret.

Försök utfördes med två olika djup, nämligen 10 m och 20 m. Betong med och utan retarderande tillsatsmedel provades.

Varierande vattendjup ned till 20 m visade sig inte ha någon inverkan på betongens rörlighet. Detta tyder på att det ökade yttre hydrostatiska tryck som betongmassan utsätts för på botten, inte medför att massan komprimeras så att ballastkornen får ökad kontakt med varandra, utan att detta motsvaras av ett ökat hydrostatiskt tryck inne i betongens vätskefas.

### 5.2 Utflytningsförsök vid olika täckskikt och avstånd mellan armeringsstänger

I undervattengjutna armerade konstruktioner är det nödvändigt att välja såväl större täckskikt som större c/c-avstånd mellan stängerna än vad som anges som minimum vid vanliga gjutningar i torrhet. Dessa avstånd bör väljas så stora att betongmassan med ofullständig eller helt utebliven vibrering kan förflytta sig mellan botten respektive form och armering samt mellan stänger. Härvid skall den bilda en homogen konstruktion utan kaviteter och ursköljda partier med dålig hållfasthet.

Täckskikt och avstånd får dock inte heller bli alltför stora med hänsyn till sprickvidder och möjligheten att göra en ekonomisk konstruktion.

För att få en uppfattning om lämplig utformning i detta avseende, arrangerades 6 st sk utflytningsförsök. Proven utfördes inte under vatten utan i torrhet. Gjutfrontens läge och utseende samt armeringens successiva ingjutning kunde följas i detalj. Gjutarrangemanget framgår av foto FIG 1. Betongen tillfördes på samma sätt som vid konventionell undervattensgjutning, via ett höj- och sänkbart rör med tratt.

De sektorformade gjutställena armerades med  $\emptyset$  25 Ks 40 i rutnät med varierande c/c-avstånd, 125-225 mm, och varierande avstånd till botten (täckskikt), 100-150 mm. Vid gjutröret lämnades en tillräcklig stor öppning i armeringsnätet,  $\sim$  300x300 mm, så att röret kunde placeras på botten vid gjutningens början. Botten bestod av grus som packats till en jämn yta.

Till försöken avsågs användas en betong som kunde betecknas som god undervattensbetong enligt bedömningarna i avsnitt 3.1. I ett fall användes flyttillsats. Max stenstorlek var 38 mm. Ingen vibrering utfördes. Till varje försök användes ca 1 m<sup>3</sup> betong.

Försöken visade att betongens utflytningsförmåga kring armeringen var starkare beroende av dess konsistens än av de relativt måttliga variationer i c/c-avstånd och täckskikt som här användes. Baserat på iakttagelser under gjutningen, såsom gjutfrontens läge, utseende och rörelse, samt inspektion av de hårdnande betongkropparnas sidor och undersida kan man emellertid konstatera följande.

Den betong som göts med täckskikt 100 mm mot mark uppvisade på undersidan några djupa kaviteter,  $\sim$  1-4 cm stora. Dessa uppträdde inte med täckskikt 150 mm.

När det gäller olika c/c-avstånd är avgörandet svårare. Stängerna har emellertid en benägenhet att "spåra" i den framträngande betongen. I några fall kunde kaviteter på baksidan av mot

strömningsriktningen vinkelräta stänger upptäckas, åtminstone intill formsidorna. Vid litet avstånd mellan stängerna kan denna effekt väntas förstärkas från stång till stång så att en skiktning av betongen över och under armeringen kan befaras. Tät armering innebär också problem med valvbildning mellan stängerna vid rörelse vinkelrätt armeringslagret. Farligast är förstås denna valvbildning då betongen skall röra sig uppifrån och ner genom armeringen som t ex då en slänt växer fram ett stycke från gjutröret. Sammantaget medförde detta att 150 mm synes vara ett lämpligt minsta c/c-avstånd. Med mycket god rörlighet hos betongen och systematisk vibrering kan dock mindre avstånd väljas.

## 6 DEL 3 - GJUTNINGAR I FÄLTMÄSSIG SKALA

## 6.1 Översikt

Avsikten med gjutningarna var att i full skala och med arbetsmomenten under kontroll gjuta betong i armerade konstruktioner under vatten, samt att genom inspektion och provning utvärdera gjutresultatet.

Försöken genomfördes på Skånska Cementgjuteriets verkstads- och förrådsområde i Upplands Väsby utanför Stockholm. Programmet omfattade gjutning av sju monoliter, tre med tjockleken 0,75 m och fyra med tjockleken 1,5 m. Gjutning skedde i en för ändamålet särskilt tillverkad form med höjden 4,0 m och arean 12,0 m<sup>2</sup> som fylldes med vatten. Betongvolymen för tunn monolit blev följaktligen 9,0 m<sup>3</sup> och för tjock 18,0 m<sup>3</sup>.

En och samma betongtyp, med högt rörlighetsvärde, eftersträvades i alla monoliter. I samtliga tillsattes retarderande tillsatsmedel, i en dessutom flyttillsatsmedel. Monoliterna armerades med horisontella stänger, Ø 16 Ks 60.

Gjutning utfördes dels på traditionellt sätt med tratt + gjutrör, ett eller två, dels med pump direkt i formen, med ett eller flera nedstick. Vibrering utfördes till viss del i samtliga monoliter. Avsikten var att jämförelse skulle erhållas mellan vibrerade och icke vibrerade partier. Vibreringen pågick under något varierande tid, beroende på gjutningsförloppet. För bedömning av betogens utflytning i formen utfördes pejling med jämna mellanrum.

Den hårdnade betongens hållfasthet bestämdes genom provning av utborrade kärnor och vidhäftningen mot armering genom utdragsprov.

Före borttransport styckades monoliterna på visst sätt så att noggrann okulärinspektion av brottytorna kunde göras.



## 6.2 Form och arrangemang för gjutning

Formens dimensioner, längd och varierande bredd, FIG 2, var så valda att en relativt lång utflytningssträcka skulle kunna erhållas med en begränsad betongvolym. Formens höjd var vald så stor att två st monoliter kunde gjutas ovanpå varandra med några dagars mellanrum och med bärlagergrus som utjämning och för att skilja dem åt. Detta innebar en stor tids- och resursbesparing eftersom avformning, hopmontering och tätning av de stora formflaken var relativt arbetskrävande.

Formen var gjord i två halvor, som ställdes på en på marken gjuten betongplatta och kopplades ihop. För att få en markliknande botten inne i formen lades på bottenplattan ett  $\sim 0,15$  m tjockt skikt av bärlagergrus. Ovanpå formen fanns två ställningar i vilka gjutrören  $\varnothing 200$  mm kunde hängas upp och regleras i höjddled med lyftblock. FIG 3 och 4.

Vid gjutning med öppna rör användes kran med bask rymmande  $0,4 \text{ m}^3$  för transport av betongen från bil till gjutrör. Vid gjutning med pump användes inte gjutrör utan pumpledningens mynning stacks direkt genom vattnet ned i betongen. Ledningen utgjordes av ett stålrör  $\varnothing 125$  mm och reglerades i höjd och sida från pumpbilen. I ett fall, monolit 6, användes en från bilen reglerbar mynningsventil.

## 6.3 Vibrering

Vid vibrering användes en stav med diametern  $\varnothing 57$  mm och längden på vibrerande del 450 mm. Vibreringen tillgick så att staven utan att vara igång, sänktes så långt att hela den vibrerande delen gott och väl kom att befinna sig nere i betongen. I detta läge startades vibreringen varvid staven fick sjunka ytterligare. Vibreringen pågick 5-15 sekunder i nedsänkt läge varpå motorn stannades och staven sakta och med lätt pumpande rörelser drogs upp. Avsikten med tillvägagångssättet var att undvika uppslamning i gränsskiktet mellan betong och vatten.

Nedsticken skedde i olika lägen enligt ett i förväg uppgjort mönster, varierande mellan de olika monoliterna. Avståndet mellan nedsticken var i allmänhet 0,6-0,8 m. Vibreringsintensiteten varierade mellan 0 och 50 sek/m<sup>3</sup> betong med ovan angivna tider för varje nedstick. Detta innebär, jämfört med i torrhet gjutna betongkonstruktioner som plattor, väggar och balkar, en mycket måttlig insats, även med hänsyn till den lösa konsistens som användes. Vibreringen utfördes oftast uppdelad på ett par omgångar, t ex när hälften av betongen var gjuten och när allt gjutits.

#### 6.4 Betong

Antalet monoliter i försöksserien var av kostnadsskäl begränsat. Utrymme för jämförelse mellan olika betongtyper fanns därför inte. Som nämnts i avsnitt 6.1 skulle samma betongtyp genomgående användas, dock med undantag för en monolit där en mindre dos flyttillsatsmedel tillsattes (utan ändring av sammansättningen i övrigt). Betongen levererades med bil som fabriksbetong, transportsträcka 5-10 km. Betongens sammansättning valdes sådan att god rörlighet skulle erhållas, eftersträvat sättmått var 150-170 mm. Cementet var Std-Portland, cementhalt 350 kg/m<sup>3</sup>. Ballastmaterialet i samtliga monoliter utgjordes av finsand 0-1 mm, grus 0-8 mm, ärtsingel 8-18 mm och finsingel 18-38 mm. Siktkurvor för ballasten till monolit 1-3 redovisas i FIG 5 och till monolit 4-7 i FIG 6. Sammansatta siktkurvorna enligt betongrecept framgår av FIG 7. Stenfraktionerna utgjordes av delvis krossad singel. I samtliga monoliter tillsattes retarder, Cementas Barralent R (fosfatbaserat), dosering 0,4% av cementvikten. Ungefärlig bindemedelsfördröjning ca 2 timmar. I monolit 2 tillsattes dessutom Cementas flyttillsats V (melaminbaserat). Doseringen var ca 1% av cementvikten vilket ändrade konsistensen från ca 150 mm sättmått till ca 210 mm.

Genom ett missförstånd kom betongen till monolit 7 att innehålla mindre mängd finmaterial (finsand och grus) än vad som avsetts, jfr FIG 7. Detta har på ett negativt sett påverkat betongens rörlighet och medförde dessutom att kvantiteten levererad betong kom att underskrida den avsedda, 18 m<sup>3</sup>.

## 6.5 Armering

Dimension och kvalitet valdes i undersökningen till  $\emptyset$  16 Ks 60. Vid statistiskt verksam armering av undervattengjutna konstruktioner kan - och bör - grövre dimension komma till användning, men skulle här ha försvårat utdragsprovnings (avsnitt 6.6) med hänsyn till den utrustning som användes.

Ingjutningslängden, dvs den del av armeringsstången som skulle bli fastgjuten i betongen, valdes till  $10d = 160$  mm. Med denna längd kunde en vidhäftningspåkänning på 14 MPa uppnås innan stålets sträckgräns nåddes. Vidhäftningspåkänningen definieras som utdragskraften dividerad med mantelytan hos den ingjutna stångdelen. De delar av armeringsstångerna som inte skulle fastgjas i betongen försågs med skyddsrör av plast som tätades i ändarna och mot den frilagda delen.

I samtliga monoliter inlades armering enligt FIG 8, där också ingjutningsställena framgår. Täcksiktet mot botten var 150 mm. I två monoliter (nr 2 och 7) lades även stänger högre upp, och i en (nr 6) utökades antalet stänger till att utgöra ett helt rutnät c/c 150 mm över hela botten. Se vidare avsnitt 7.

## 6.6 Kontroll och provningsförfarande

### 6.6.1 Pejling

Underhand som gjutningen av en monolit fortskred pejlades betongens överyta i ett 20-tal punkter. Speciellt gjordes detta vid övergång till gjutning i nytt läge och efter vibrering.

### 6.6.2 Betonghållfasthet - utborrade cylindrar

Ur samtliga monoliter borrades 6-8 kärnor  $\emptyset$  150 mm, vilka genom sågning uppdelades i flera provkroppar med höjden 150 mm. Diametern valdes med hänsyn till att hålen efter kärnorna skulle användas för att med speciella hydrauliska domkrafter spräcka monoliten i 6 mindre delar (jfr 6.6.4). Spräckning krävde i 0,75 m-monoliterna 9 st hål och i 1,5 m-monoliterna 13 st, utplacerade i spräckningslinjerna. I vissa fall utborrades även kärnor i speciellt intressanta lägen.

För att få en direkt jämförelse med normenliga kuber 150x150 mm, har erhållna tryckhållfastheter multiplicerats med 1,05.

På grund av det valda gjutningsförfarandet med två mololiter ovanpå varandra och på grund av vissa oönskade fördröjningar kom monoliternas ålder vid utborrning och senare provning att variera. Provningsåldern låg för monolit 2, 3, 4, 5 och 7 mellan 77 och 117 dygn, men var för monolit 1 35 dygn och monolit 6 231 dygn. De vid provning erhållna hållfasthetsvärdena har därför korrigerats med en mot åldern svarande faktor som skall återföra värdena till den vid provning i allmänhet använda "normalåldern" 28 dygn. De faktorer som använts är i ordning (monolit 1-7): 0,97, 0,90, 0,90, 0,89, 0,91, 0,87 och 0,91.

Där inget annat anges har alltså i denna rapport angivna hållfasthetsvärden erhållits genom multiplikation av provningsvärdena med korrektionsfaktorer för form och ålder.

#### 6.6.3 Vidhäftning hos ingjuten armering

Vidhäftningen provades genom utdragsprov. Dragkraften åstadkoms med en hydraulisk domkraft som trädde över en förlängd utstickande del av armeringsstången. Kraften avlästes på en manometer. På en mätklocka avlästes stångens förlängning på sträckan mellan ingjutningsstället och domkraftens baksida. Kraften pålades stegvis, var 30:e sekund. Varje steg ökade vidhäftningspåkänningen med ca 1,5 MPa. Sedan stången dragits loss eller dess sträckgräns nästan uppnåtts (motsvarande vidhäftning  $\sim$  14 MPa) avbröts provningen.

Monoliternas ålder varierade även vid denna provning, ehuru väsentligt mindre än vid tryckhållfasthetsprovningen. Någon korrektion för ålderns inverkan på de vidhäftningshållfastheter som redovisas har inte gjorts.

#### 6.6.4 Spräckning - inspektion av brottytor

För att kunna transportera bort färdigprovade monoliter sönderdelades dessa genom spräckning i 6 mindre delar. De blottlagda brottytorna, se foto FIG 9, gav ett unikt tillfälle att

studera "det inre" av en undervattensgjuten konstruktion. Noteringar gjordes om variationen i stenhalt, cementfattiga partier, kaviteter, blåsor, skiktningar och dylikt. Betongen under armeringslagret kunde studeras liksom i någon mån armeringens kringgjutning där stänger passerade brottytan.

### 6.7 Gjutprogram

Programmet framgår i sina huvuddrag av tabell 6.1.

TAB 6.1

Nr	Datum	Betong	Tj (m)	Armering	Gjutmetod	Vibrering
1	800429	Normal	0,75	Normal	Rör, två sidolägen	13 resp 25 s/m <sup>3</sup>
2	800813	Normal + flyt tills		Normal + 4 st ök	Rör, två sidolägen	0 resp 25 s/m <sup>3</sup>
3	800827	Normal	1,5	Normal	Rör, två sidolägen	0 resp 25 s/m <sup>3</sup>
4	810605	Normal	0,75	Normal	Pumpning huvudsakligen i ett sidoläge (90%)	0,50 resp 35 s/m <sup>3</sup> (tre varianter)
5	810625	Normal	1,5	Normal	Pumpning huvudsakligen i ett sidoläge (75%)	0 s/m <sup>3</sup>
6	811007	Normal	0,75	Rutnät c 150 mm	Pumpning tre lägen, ventil	35 s/m <sup>3</sup>
7	811027	Normal	1,5	Normal armering fördelad i ök och uk	Pumpning ett läge i mitten	0,20 resp 35 s/m <sup>3</sup> (tre varianter)

Kommentarer till tabellen:

Nr = monolitens nummer

Tj = monolitens tjocklek

- Med normal betong menas betong enligt avsnitt 6.4.
- Med normal armering menas armering i uk enligt FIG 8.

- Sidoläge för rör vid gjutning med bask och tratt är 1 m från gaveln.
- Sidoläge för rör vid direktpumpning är 2,0 m från gaveln på monolit nr 4 och 5 och 1,0 m på nr 6.
- De olika vibreringsintensiteterna är tillämpade på olika delar av monoliterna.

För övrigt gällde att den effektiva stighastigheten i formen låg kring 0,3 m/h. Utströmningshastigheten vid pumpning (125 mm rör) var 0,6-0,7 m/s.

#### 6.8 Provningsresultat

I FIG 10-38 finns redovisat resultat från provningen av monoliterna. Materialet är ordnat i 4 grupper, numrerade 1-4 nedan.

- 1 FIG 10-16. Pejlade betongnivåer i monoliternas centrumlinje samt vibreringsintensitet. Av dessa figurer framgår också var gjutröret varit placerat samt hur mycket betong som tillförts vid varje ställe.
- 2 FIG 17-23. Betongens kvalitet redovisad i form av läge och hållfasthet hos utborrade prover. Vibrerade partier, liksom gjutrörets lägen är även markerade.
- 3 FIG 24-31. Armeringens vidhäftning. Alla ingjutningsställen där vidhäftningshållfastheten underskridit 14 MPa är markerade med en ring. Alla icke markerade ställen har alltså haft en vidhäftningshållfasthet > 14 MPa.
- 4 FIG 32-38. Okulärbesiktning av brottytor som erhållits vid spräckning av monoliterna i 6 mindre delar. I monolit 2 uppstod ett annorlunda och oregelbundet spräckningsmönster än i de andra. Detta berodde på den förspänningseenhet som ingjuttits, jmf avsnitt 7.8. Den relativt skarpa markering som

gjorts av partierna med t ex stenfattig betong skall inte tolkas så att dessa delar är helt artskilda från omgivande betong. Gränserna är alltid oklara. Jmf även avsnitt 7.1.

I TAB 6.2 finns sammanfattat vissa resultat från provningen av betongen. För varje monolit är endast angivet ett medelvärde för hållfastheten på utborrade kärnor. I den utvärdering och de rekommendationer som ges i avsnitt 7, är resultatet från samtliga monoliter och alla 4 provningsförfaranden inbegripna. Beträffande monolit nr 7 jämför avsnitt 6.4.

TAB 6.2 Tryckhållfasthet

Nr	Sättmått cm	Betong- temp °C	Norm kuber MPa		Utborr cyl MPa		Utb/Norm
			Mv	St av	Mv	St av	
1	19	16	42,8	2,9	31,8	5,0	0,74
2	21	22	43,7	3,6	31,2	3,6	0,71
3	19	18	46,1	2,7	35,0	4,3	0,76
4	17	18	50,7	1,9	41,5	3,5	0,82
5	17	18	48,1	2,4	34,1	3,3	0,71
6	17	15	46,8	0,9	35,4	3,1	0,76
7	18	12	54,7	2,3	36,1	6,9	0,66

## 7                   UTVÄRDERING - REKOMMENDATIONER

Till grund för detta avsnitt ligger det mycket omfattande provningsmaterialet från varje monolit vad gäller pejling, hållfasthet, armeringens vidhäftning och okulärbesiktning av brottytorna. Rekommendationerna gäller undervattensgjutna armerade konstruktioner med största utsträckning i horisontalplanet, typ plattor.

## 7.1               Gjutmetod. Öppna rör eller direktpumpning

Ingen skillnad i betongens utflytning vid gjutning med rör eller pumpning har konstaterats. Med konsistensen 170-180 mm sättmått lägger sig slänten i lutning 1:3 till 1:4. Slänthlutningar mindre än 1:6 till 1:8 påverkas knappast av måttlig vibrering. Mindre avstånd mellan gjutrören ger dock möjlighet att få en jämn överyta.

När det gäller betongens hållfasthet och armeringens vidhäftning märks heller ingen skillnad mellan gjutmetoderna öppna rör respektive direktpumpning.

Jämförelse mellan hållfastheterna för monolit 1, 4 och 6 ger vid handen att gjutning i ett läge, där huvuddelen av betongmassan placeras, skulle vara gynnsamt (nr 4). Detta är kanske dock en illa underbyggd slutsats. I samma monolit uppvisar brottytorna längst bort från gjutröret en ökad andel betong med lägre stenhalt såväl nära ytan som längre ner mot botten. I den kortsida som legat 4 m från gjutröret fanns en liten slamficka  $\sim 175 \text{ cm}^2$  stor, 1-3 cm djup, längst ner vid botten.

Sammanfattningsvis kan man säga att gjutning i öppna rör och direktpumpning är kvalitetsmässigt likvärdiga. Upp till 4 m lång utflytning ger en måttlig nedgång i betongens hållfasthet. Stenhalten avtar dock ju längre från röret man kommer. Risk för lokala slamfickor finns. Pumpning har en tendens att ge ojämnare stenfördelning men detta har inte konstaterats ha någon negativ effekt på hållfastheten. Varierande krympning är ju inte heller något problem för betong i undervattensläge där ingen uttorkning sker.



Korta avstånd mellan gjutrören eller täta nedstick vid direkt-pumpning är en fördel ur homogenitets- och ytjämnhetssynpunkt. Gjutmetoden pump med ventil har här en fördel gentemot fasta rör eftersom den praktiskt sett medger att fler gjutlägen kan utnyttjas om det behövs. Man måste dock komma ihåg att i varje fall tunna plattor ( $< 1$  m) kräver att alla gjutlägen är förberedda med öppning i armeringen.

## 7.2 Vibrering

Undersökningen visar att stavvibrering, som tidigare ansetts olämplig, gör nytta även i undervattensgjuten betong. Ställer man samman hållfastheterna hos utborrade cylindrar från å ena sidan icke eller mycket litet ( $\leq 13$  s/m<sup>3</sup>) vibrerade partier, och vibrerade (25-50 s/m<sup>3</sup>) partier å andra sidan, erhålles:

Nr	Ej vibr $\leq 13$ s/m <sup>3</sup>		Vibr 25-30 s/m <sup>3</sup>	
	Mv MPa	St av MPa	Mv MPa	St av MPa
1	30,8	4,7	33,1	1,0
2	28,9	4,6	33,2	3,6
3	34,0	4,6	36,8	3,8
4	40,5	6,1	41,9	3,1
5	34,1	3,3	-	-
6	-	-	35,4	3,1
7	35,4	8,4	36,5	6,4

Av tabellen framgår att medelvärdena är högre och standardavvikelserna lägre för de vibrerade delarna än för de icke vibrerade. Med värdering av utborrade prover enligt BBK 7.3.3.3 innebär detta faktiskt att den vibrerade betongen kan klassas som en hållfasthetsklass (5 MPa) bättre än den icke vibrerade. (Jfr avsnitt 7.6).

Som nämnts i avsnitt 6.3 undveks i görligaste mån att ha staven vibrerande då den fördes ner eller upp genom gränsskiktet

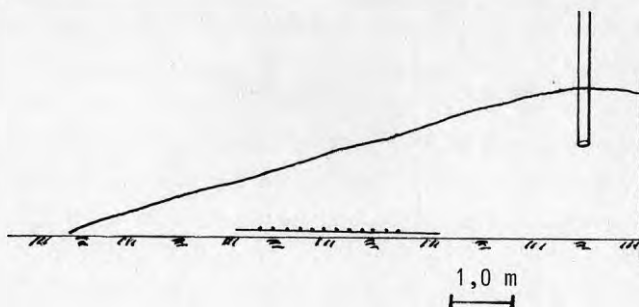
betong-vatten. Detta kan vara svårkontrollerat i praktiken. Enstaka försök tyder på att en något friare vibreringsteknik inte försvagar betongen annat än mycket lokalt där staven passerat gränsskiktet.

När det gäller vidhäftning hos armeringen hänvisas till avsnitt 7.7. Här skall endast konstateras att av de stänger som haft en vidhäftningshållfasthet  $< 14$  MPa, 43 st totalt, ligger 25 st = 60% i icke eller svagt vibrerade delar. Dessa delar utgör dessutom endast 40-45% av monoliternas totala yta.

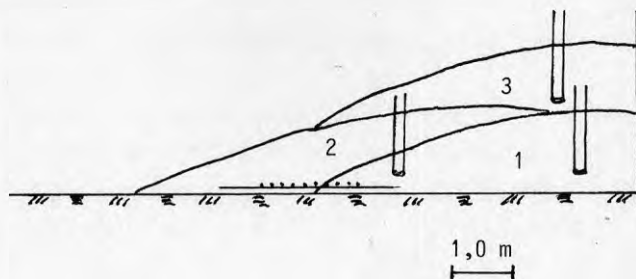
### 7.3 Konstruktionstjocklek

Inga signifikanta kvalitetsskillnader mellan tjocklekarna 0,75 och 1,5 m har konstaterats. Det går bra att gjuta armerade plattor med tjocklek 0,75 m. Större tjocklekar än de valda bör inte medföra någon kvalitetsändring, förutsatt att viss skikt-gjutning tillämpas. Gjutning till full höjd, t ex 2-3 m, i ett läge inger dock vissa betänkligheter i en armerad konstruktion. Flytvägen för betongen i formen blir då upp till 8-10 m. Detta ger som tidigare nämnts nedsatt hållfasthet, mycket varierande stenhalt och risk för slamfickor. Bättre är då att arbeta med en betong som är så pass retarderad att det går att återvända i ett tidigare gjutläge dvs att den då fortfarande har erforderlig rörlighet. Jämför figurer.

Ej så:



Utan så:



#### 7.4 Tät armering

Monolit 6 var den enda platta som göts med ett fullständigt rutnät, c/c 150 mm, av armering. Gjutmetoden var pumpning med ventil varvid röret stacks ned i totalt 3 lägen, 1 m från ena kortsidan, i mitten och 1 m från andra kortsidan i den 6 m långa formen. Öppningar  $\sim 30 \times 30$  cm fanns i armeringsnätet på dessa ställen så att rörets mynning kunde ställas på botten.

En något brantare gjutfront,  $\sim 1:2,5$  pejlades i detta fall. Provnings av betonghållfasthet och armeringsvidhäftning visade en hög och jämn kvalitet. Undantag utgör hörnpartierna där sämre hållfasthet påvisades. Se vidare avsnitt 7.6. De två stänger av totalt 26 st som hade en vidhäftningshållfasthet som var  $< 14$  MPa, var båda lokaliserade i sådana hörnpartier.

## 7.5 Överkantsarmering

Tanken var att i monolit nr 2 och framförallt nr 7 undersöka vidhäftningen hos överkantsarmering. Genom omständigheter nämnda i avsnitt 6.4 blev försöket med monolit 7 emellertid stympat. Av de totalt 8 st stänger i överkanten som blev ingjutna och kunde provas, var det endast tre som hade en vidhäftningshållfasthet  $\geq 14$  MPa. Övriga låg mellan 0 och 10,5 MPa. Avståndet från botten varierade från 0,55 till 1,15 m, betongen över armeringen från 0,05 till 0,30 m. För litet avstånd till ytan synes vara det som nedsätter hållfastheten mest. Några rekommendationer härvidlag är materialet för litet för att ge underlag till. Ytterligare en faktor som nedsätter vidhäftningen är sättning i betongmassan under stängerna. BBK 3.9.1.2 anger t ex en faktor 0,7 för armering som ligger mer än 250 mm från underkant. (Gäller i torrhet gjuten betong).

Praktiska svårigheter med överkantsarmering är att den är i vägen vid gjutningsarbetet, särskilt vid direktpumpning. Det finns alltså skäl att använda överkantsarmering med omdöme, eftersom dess funktion kan vara osäker och gjutningsarbetet problematiskt.

## 7.6 Betonghållfasthet

Tabell 6.2 redovisar vilken hållfasthet som uppnåtts i varje monolit och hur denna står i relation till den potentiella hållfasthet den använda betongen har, representerat av normkubernas värde. Denna relation varierar mellan 0,71 och 0,82, bortsett från monolit 7. För konventionellt, i torrhet, gjuten betong ligger förhållandet vid nivån 45-50 MPa kubhållfasthet på ca 0,80-0,90. En undervattensgjuten konstruktion når alltså i allmänhet inte upp till samma hållfasthetsnivå, som med den använda betongen skulle erhållits i en vanlig gjutning i torrhet. Detta har konstaterats tidigare och bekräftas alltså här.

Med hjälp av värderingsregler enligt BBK kan normkuber respektive utborrade prover hänföras till viss hållfasthetsklass, s k K-värde.

Härvid gäller för normenliga kuber att

$$\text{Hållfasthetsklass } f_k \leq M_v - 1,4 \cdot s \quad \text{MPa (s min = 1,5 MPa)}$$

$M_v$  = hållfasthetens medelvärde

$s$  = hållfasthetens standardavvikelse

$$\text{Enskilt värde } x \geq \begin{cases} f_k - 4 \text{ MPa} \\ 0,8 \cdot f_k \text{ MPa} \end{cases}$$

För hållfasthet i färdig konstruktion gäller att

$$f_{kk} \leq M_v - 1,4 \cdot s \quad \text{MPa (s min = 2 MPa)}$$

$$\text{Enskilt värde } x \geq \begin{cases} f_{kk} - 5 \text{ MPa} \\ 0,8 \cdot f_{kk} \text{ MPa} \end{cases}$$

där  $f_{kk}$  är fordrat värde för viss hållfasthetsklass. Jämför nedan.

<u>Hållfasthetsklass</u>	<u><math>f_{kk}</math></u>
K 25	21
K 30	25
K 35	28
K 40	32
K 45	36

Värdering enligt dessa regler ger:

Monolit nr	K-värde Normkuber	K-värde Utb prover
1	35	30 <sup>-</sup>
2	35	30
3	40	35
4	45	45
5	45 <sup>-</sup>	35
6	40	35
7	50	30

Med undantag av monolit 7 (se avsnitt 6.4) uppfylles kraven i den färdiga konstruktionen för en hållfasthetsklass som ligger högst 2 klasser under utgångsbetongens. I det här aktuella hållfasthetsintervallet K 35 - K 45 bör man alltså beräkningsmässigt utnyttja påkänningar som gäller för 2 hållfasthetsklasser sämre betong än vad man sedan beställer till bygget. Således, t ex beräkna för K 30, beställ K 40.

#### 7.6.1 Betongkvalitet i hörnpartier

Detta studerades speciellt i monolit 6 där kärnor borrades i två hörn. (Avstånd till kärnans centrum = 100 mm från ytterkant).

Hörnpartierna i en armerad platta tenderar enligt undersökningen att bli svagare än övriga delar. Det är sannolikt att här en del slam pressas ut av betongfronten och bäddas in i betongen. Vibrering hjälper då dåligt. Däremot torde gjutrörsplacering i hörnet avsevärt hjälpa upp svagheten. I detta fall (monolit 6) stod röret som närmast ca 1,1 m från hörnet.

De två utborrade kärnorna från plattans hörn (totalt 6 provkroppar) gav Mv 27,7 MPa och St av 3,7 MPa. Detta skall jämföras med värdena 35,4 MPa respektive 3,1 MPa för övriga delar av plattan. Även i monolit 1 och 7 där en kärna togs nära ena kortsidan erhöles liknande resultat.

Betongen inom en randzon, uppskattningsvis  $\sim 0,25$  m från formkanten och företrädesvis nära botten, kan alltså utgöra en svaghetszon i en annars korrekt gjuten platta. Detta torde ha sin största betydelse för förankring av armering (se avsnitt 7.7) och för stjälpssäkerhetsberäkningar. Beräkningsmässigt kan man då helt bortse från denna zon eller, vilket förefaller riktigare, tillåta reducerad påkänning. Enligt ovanstående exempel har hållfastheten reducerats med ca 25%.

#### 7.7 Armeringens vidhäftning

Ur utdragsproven kan främst utläsas att armeringen kan sägas vara mycket väl förankrad i förhållande till de påkänningar

som normalt skall upptagas. Något förankringsbrott i form av utspjälkning av täckskiktet är inte att vänta eftersom täckskikten är valda så stora, 150 mm.

Om alla armeringsstänger, inklusive ök-armering som varit inbäddad minst 100 mm i betong, medräknas, erhålles totalt 168 st stänger i de 7 monoliterna. Av dessa har 165 st dvs 98% haft en vidhäftningshållfasthet som är  $\geq 7,5$  MPa, 154 st dvs 92% är  $\geq 10$  MPa och 122 st dvs 73% är  $\geq 14$  MPa.

Så stor vidhäftningshållfasthet som 7,5 MPa utnyttjas inte beräkningsmässigt. Enligt BBK 3.9.1.2 får vid gynnsam inverkan av täckskikt och tvärarmering (vilket normalt inträffar vid dessa konstruktioner) utnyttjas  $f_b \text{ max}$  enligt nedanstående tabell. (Säkerhetsklass 2).

K-värde	$f_b \text{ max}$ MPa
25	2,55
30	2,91
35	3,27
40	3,54

De fall där vidhäftning  $< 7,5$  MPa inträffat ligger alla inom den randzon om ca 0,25 m som omtalades i avsnitt 7.6.1. Värdena är 4,6 MPa i monolit nr 4, respektive 3,0 och 6,1 MPa i monolit nr 5. I både nr 4 och nr 5 låg dessa stänger dessutom i icke vibrerat område.

Endast i denna randzon, och vid maximalt utnyttjande av tillåtna vidhäftningspåkänningar, torde man vid korrekt utförda undervattensgjutna armerade plattor kunna komma i riskzonen för vidhäftningsbrott. Lämplig motåtgärd är att förankra armeringen genom uppbockning eller bockning i hålnälsform.

#### 7.8 Konsistens - Retarder - Flyttillsats

Betong för undervattensgjutning skall ha lämplig konsistens, varken för trög eller för lös. Är den för trög bildas branta slänter med risk för "rullning" och ursköljning, är den för

lös bildas långa slänter med risk för separation och uppslamning. Enligt vår bedömning är sättmått  $160 \pm 20$  mm lämpligt. Ett riktigt sättmått är emellertid inte tillräckligt för att åstadkomma en god undervattensbetong. Olika betongtyper med lika sättmått, t ex 160 mm, kan ha väsentligt olika rörlighet, bestämd med den i avsnitt 3.1 nämnda metoden. Ballastgraderingen spelar stor roll men vi fann att retarder, förutom fördröjning av betongens bindetid, har en mycket gynnsam inverkan på betongens rörlighet i ett för undervattensgjutning aktuellt skede, 0-2,5 timmar efter blandning. Med högre dosering utsträcker tiden. Inverkan är så påtaglig att det är motiverat att rekommendera användning av retarder i all betong som gjuts under vatten. Som konsekvens härav tillsattes retarder i samtliga monoliter, jämför avsnitt 6.4.

I monolit nr 2 tillsattes utom retarder också flyttillsats. Det kvalitetsmässiga resultatet, såsom betonghållfasthet, armeringens vidhäftning och ytans jämnhet blev dock inte bättre än hos övriga monoliter utan flyttillsats och således med i ett tidigt skede något sämre rörlighet hos betongen. Det föga imponerande resultatet kan möjligen sammanhånga med den spännarmeringsenhet typ VSL 19  $\emptyset$  13 mm med två förankringar som av viss anledning göts in i denna monolit och som i någon mån kan ha försvårat betongens utflytning. Skillnaden i betongens sättmått i denna monolit (210 mm) och i övriga (170-190) är också relativt liten.

De första 2 m<sup>3</sup> betong göts utan flyttillsats, jämför FIG 11. Detta gjordes för att det kan vara svårt att med mycket lättflytande konsistens, redan med första basken, skapa den hög av betong på botten kring gjutröret, som fordras för att hindra vattengenomslag.

Något som särskilt måste observeras då flyttillsatser används vid undervattensgjutningar är att deras inverkan på betongens rörlighet kan ha otillräcklig varaktighet. Inverkan kan under första timmen efter tillsättning vara mycket god men sedan avta snabbt och efter ytterligare en timme praktiskt taget ha upphört. Kombinerar flyttillsats och retarder erhålles till att börja med en utomordentlig rörlighet, som endast långsamt



avtar och som efter 2,5 timmar fortfarande är god. Med mycket lös konsistens, vilket eftersträvas vid användning av flyttillsats, bildas emellertid lätt långa slänter med risk för separation och slambildning. Med avpassat gjutningsförfarande bör dock sådana olägenheter i stort sett kunna bemästras.

Särskilt svåra gjutningar, med t ex mycket armering, ingjutning av pälår osv, kan motivera användning av flyttillsats. Vid normal undervattensgjutning av plattor med ofta stort omfång, även med armering  $c/c \sim 150$  mm, är flyttillsats inte nödvändig om de rekommendationer för betongens sammansättning som ges i avsnitt 3.1 följs.

#### 7.9 Utformning av statiskt verksam plattarmering

När det gäller förankring, avslutning, skarvning, bockning, minsta avstånd, täckande betongskikt, buntning m m av armering kan de regler tillämpas som gäller för vanlig i torrhet gjuten betong med nedanstående tillägg och ändringar.

- Välj grova stänger, minst  $\emptyset 16$ , eventuellt i buntar.
- Täcksikt mot botten 150 mm.
- Minsta  $c/c$ -avstånd 150 mm.
- Armering i flera lager har inte provats i denna undersökning. Om det måste utföras bör dock stängerna ligga rakt ovanför varandra för att underlätta betongens sjunkning genom lagren. Jämför avsnitt 5.2.
- Armeringen skall vara mycket väl fixerad.
- Gjutöppningar  $\geq 300 \times 300$  mm skall anordnas i armeringen, minst 1 per  $15 \text{ m}^2$ . Där armeringen är tät,  $c/c 150$  mm, eller där möjlighet ges till täta nerstick, såsom vid direktpumpning, bör öppningar ordnas tätare, t ex 1 per 5 eller  $10 \text{ m}^2$ . För valet av gjutöppningar och därmed lägen för gjutröret är även bottenprofilen viktig, t ex lågpunkter, liksom ar-

betsplatsens val av utrustning för gjutningen. Samarbete mellan konstruktör och arbetsledning är nödvändig.

Vid plattans kant bör armeringen bockas upp eller i hårnålsform om maximal vidhäftning önskas utnyttjas i detta parti. För övrigt behöver inga inskränkningar i normalt tillåtna vidhäftningspåkänningar göras.

Ovanstående gäller i huvudak även för överkantsarmering. Då överytan i en undervattensgjuten platta aldrig är helt jämn måste täckskikt väljas med god marginal så att stängerna överallt blir ordentligt ingjutna. En annan svårighet med överkantsarmering är att den är i vägen vid gjutningen om denna görs med direktpumpning, och röret skall föras upp och ner genom armeringen.

#### 7.10 Slutord

Med projektet UNDERVATTENS BETONG har vi visat att det är fullt möjligt att gjuta betong med hög kvalitet under vatten. Inte bara undervattensbetong i allmänhet utan också armerade konstruktioner, med armeringen statistiskt utnyttjad. Undersökta konstruktioner har närmast motsvarat plattor med tjocklek 0,75 respektive 1,5 m. Sammanfattat anvisar vi följande vägar för att nå önskat resultat.

Betong med cementhalt, ballastsammansättningar, retarder och konsistens enligt avsnitt 3.1 bör användas. Detta innebär oföretast att betongen hamnar i hållfasthetsklass K 40. Konstruktivt kan då påkänningar tillåtna för K 30 utnyttjas. Armeringen bör helst inläggas endast i konstruktionens underkant och utgöras av stänger med en diameter av minst 16 mm och ett c/c-avstånd av minst 150 mm. Betongen bör vibreras minst  $35 \text{ s/m}^3$ .

Gjutningsarbetets uppläggning beror bl a på konstruktionens utformning och belägenhet, vattendjup, tillgänglig maskinutrustning m m. Detaljerade anvisningar skall därför inte lämnas här, endast en del allmänna synpunkter av väsentlig principiell betydelse. Om gjutningen utförs med öppna rör och trätt

talar man om konventionell undervattensgjutning. Betongen tillförs med bask, pump eller på annat sätt. Rören skall kunna manövreras snabbt i vertikalled och vara styrda så att nämnvärd rörelse i sidled förhindras. Betongtillförsel och rörets djup i betongen skall hela tiden avpassas till varandra så att vattengenomslag inte inträffar. Vid upphåll av gjutningen i ett rör bör detta sänkas så att säker "låsning" erhålles fram till fortsatt gjutning.

Det andra sättet att gjuta, kallat direktpumpning, innebär att betongen pumpas på plats i formen genom ett styvt rör anslutet till pumpledningen. Röret skall kunna manövreras i höjd- och sidled, antingen med pumpens arm eller med en speciell hjälpanordning. Detta sätt medger korta avstånd mellan nedstick och kräver ett minimum av ställningsbyggeri. En förutsättning är emellertid att gjutröret är försett med mynningsventil, att lyftning och sänkning i betongen sker vertikalt och lugnt, och att ofrivillig rörelse i höjd- och sidled hindras. Den rörelse som pumpslagen framkallar kan vara besvärande. Utströmningshastigheten bör vid direktpumpning vara låg med extra försiktighet där armering förekommer. I övrigt måste man vid pumpning räkna med att det finns risk både för ryckig betongtillförsel och för luftfickor i ledningen om pumpens tråg går tomt. Sådana luftpartier komprimeras på väg ned genom ledningen för att sedan tränga upp genom betongmassan och orsaka stråk och partier med nedsatt kvalitet. Stora krav bör därför ställas på pumpskötarens omdöme och kunnighet. Rörets djup i betongen, släntlutningar och stighöjd i formen skall hela tiden hållas under kontroll medelst pejling.

Till sist en varning. Undervattensgjutning är ett specialarbete. Noggranna förberedelser och personal väl insatt i tekniken är en nödvändighet. Detta kan inte nog understrykas. Enkla gjutningar har misslyckats på grund av att arbetsplatsens folk inte ens varit elementärt insatta i arbetsmetodiken men möjligen trott sig vara det. När man ingenting ser av det man håller på med kan felaktigheter som inte blir rättade lätt inträffa. Arbetsledare och personal måste känna till vilka svårigheter som kan uppkomma och vilka åtgärder som bör vidtagas.

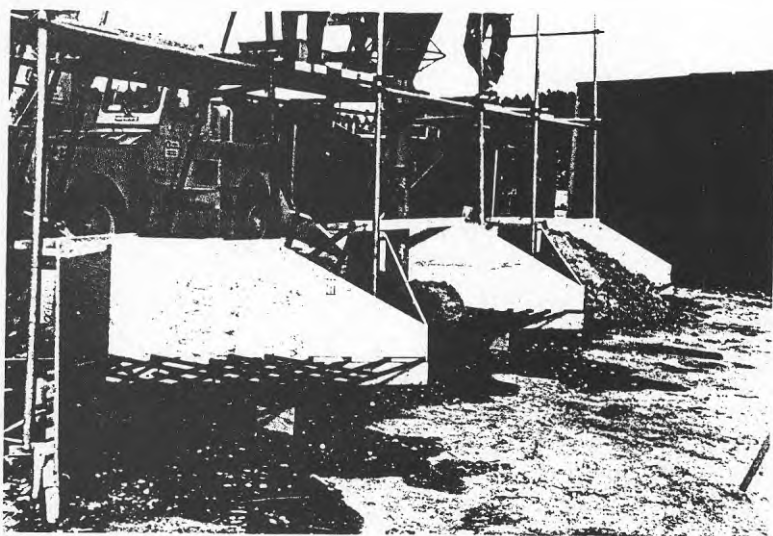
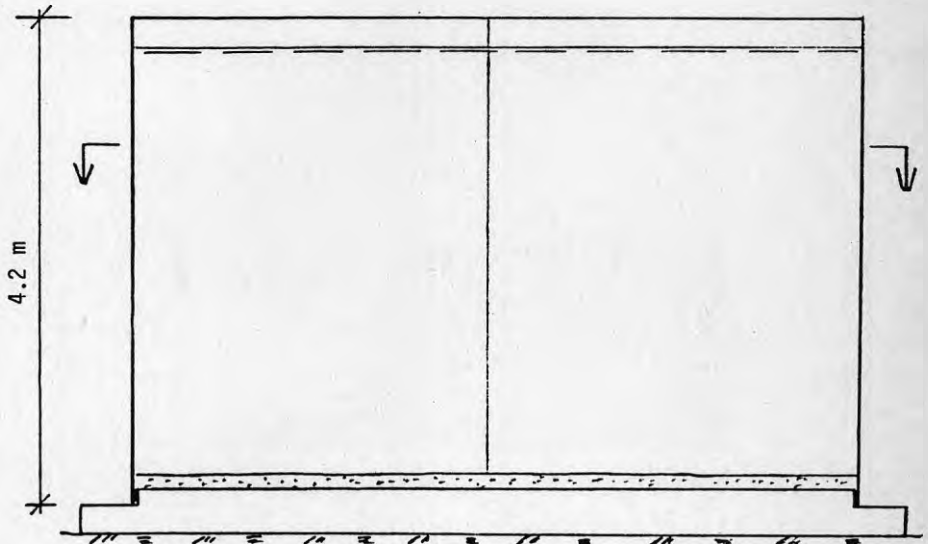


FIG 1. Utflytningsförsök i torrhet.

## Elevation



## Plansektion

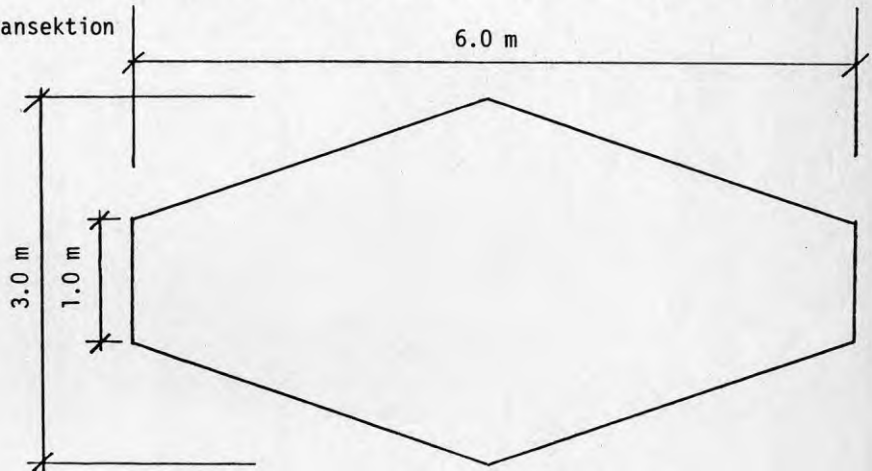


FIG 2. Mått på form för gjutning av monoliter i fältmässig skala.



FIG 3. Form arrangerad för gjutning med två rör.

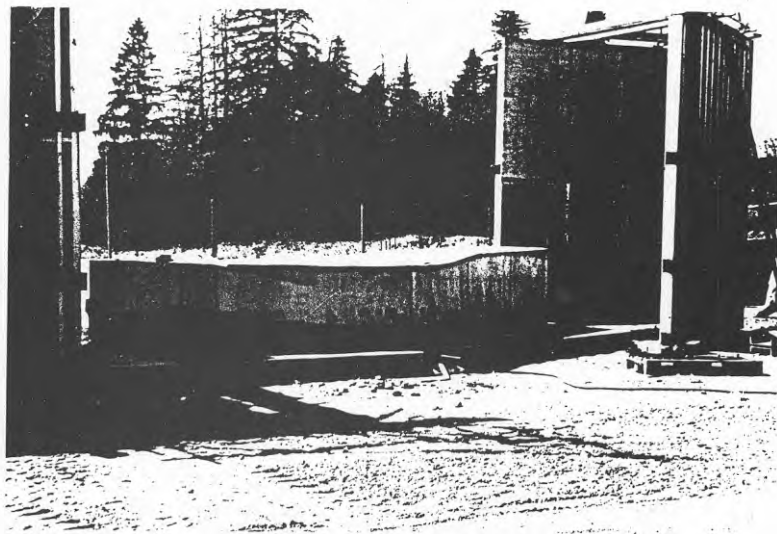


FIG 4. Isärtagen form med gjuten monolit

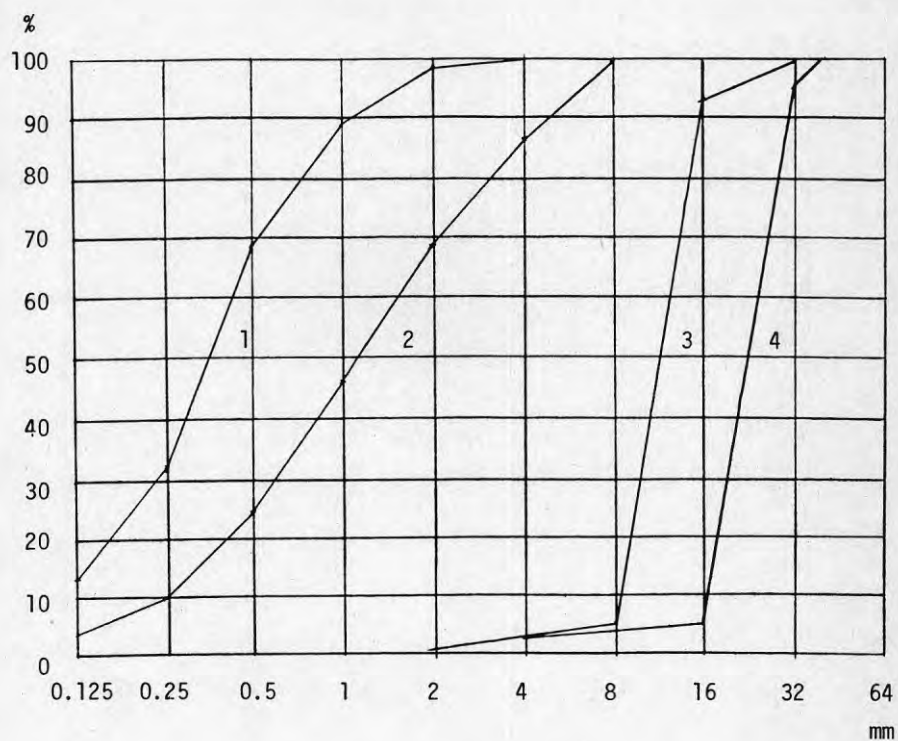


FIG 5. Ballastgradering monolit 1-3.

- 1 Finsand 0-1
- 2 Grus 0-8
- 3 Artsingel, krossytegrad 5/60
- 4 Finsingel, krossytegrad 10/40

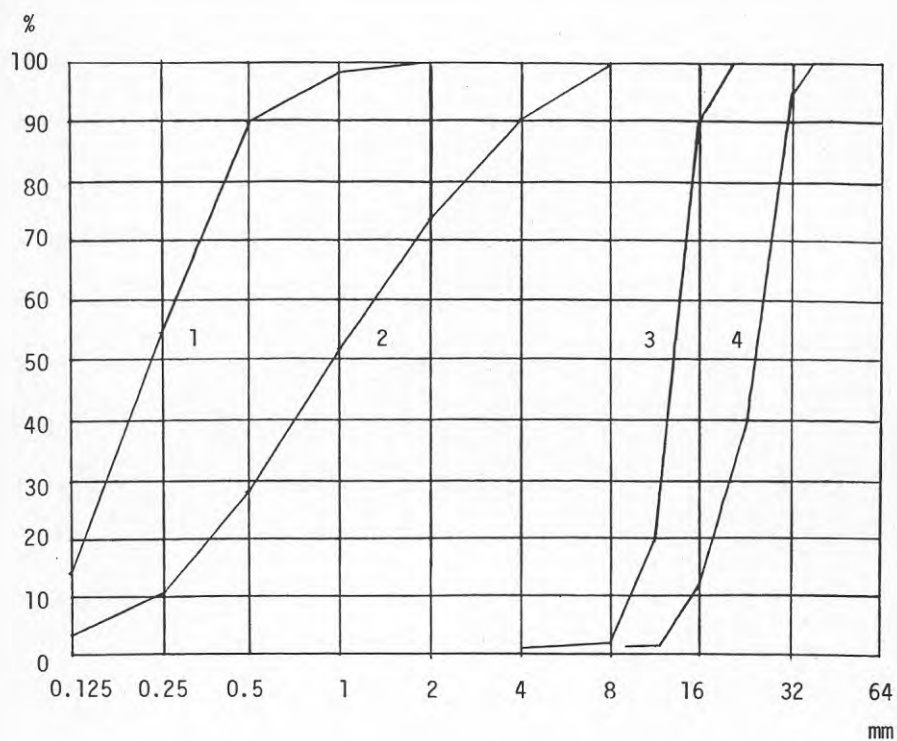


FIG 6. Ballastgradering monolit 4-7.

- 1 Finsand 0-1
- 2 Grus 0-8
- 3 Årtsingel, krossytegrad 25/35
- 4 Finsingel, krossytegrad 20/40



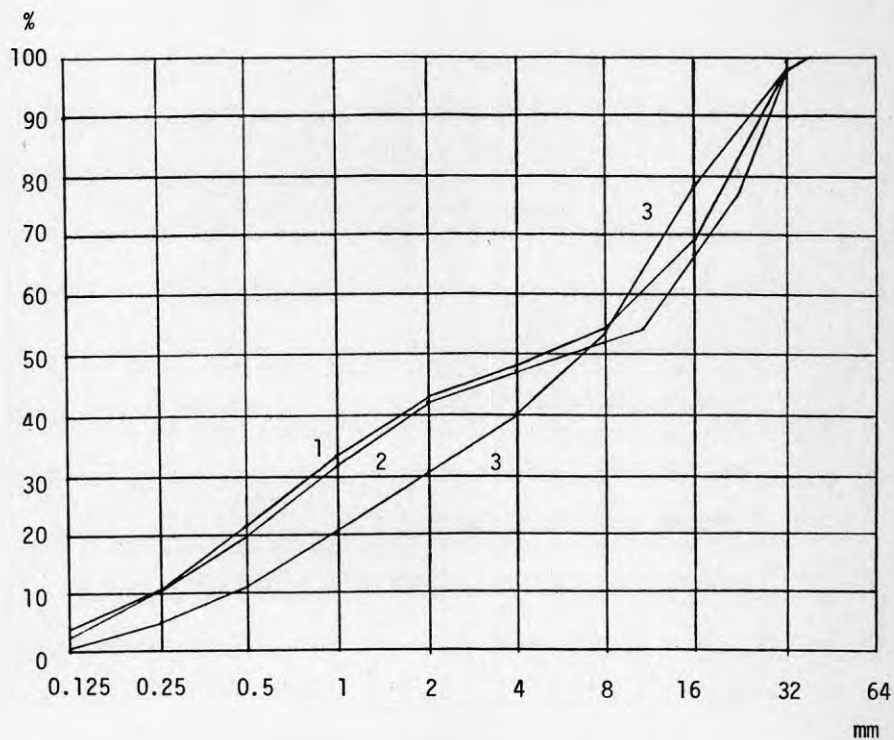


FIG 7. Sammansatt ballastgradering.

- 1 Monolit 1-3.
- 2 Monolit 4-6.
- 3 Monolit 7. Jmfr avsnitt 6.4.

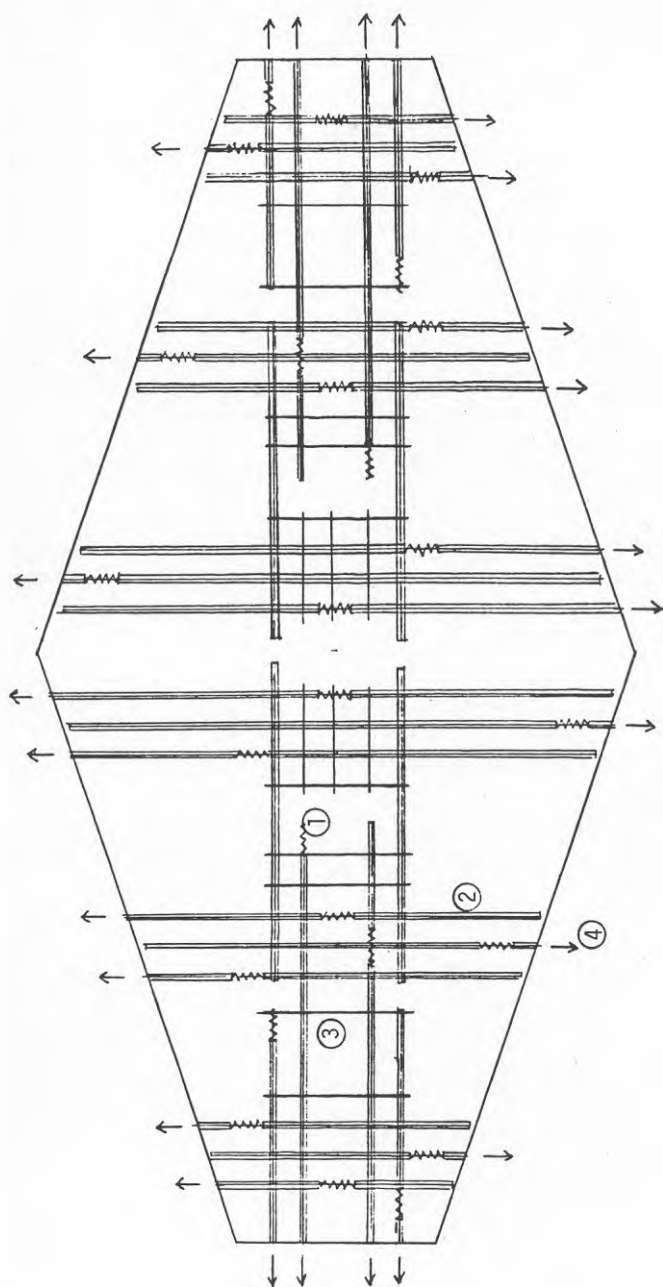


FIG 8. Plan över armeringen.

- ① markerar ingjutningsställe (160 mm).
- ② markerar armering i skyddsror.
- ③ markerar armering utan skyddsror.
- ④ markerar ände för dragprovning.

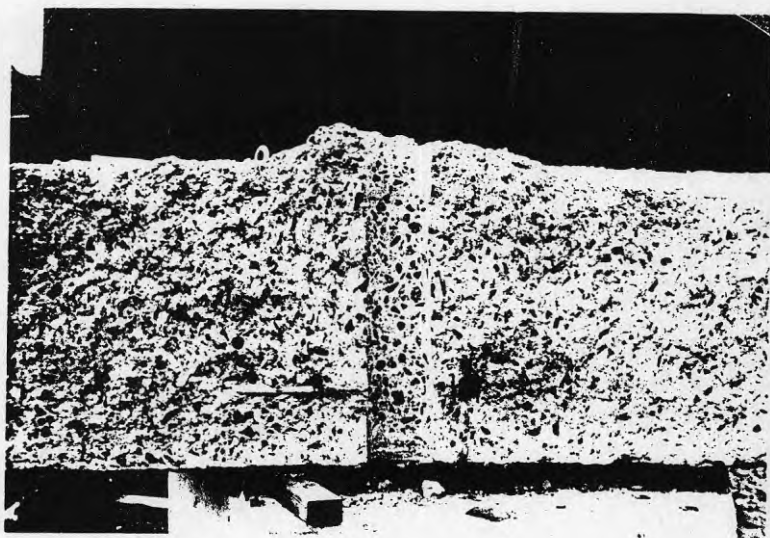


FIG 9. Betongyta frilagd genom spräckning. Hål efter borrhärna och bitar av armeringen (delvis i skydds-rör) i bildens mitt.

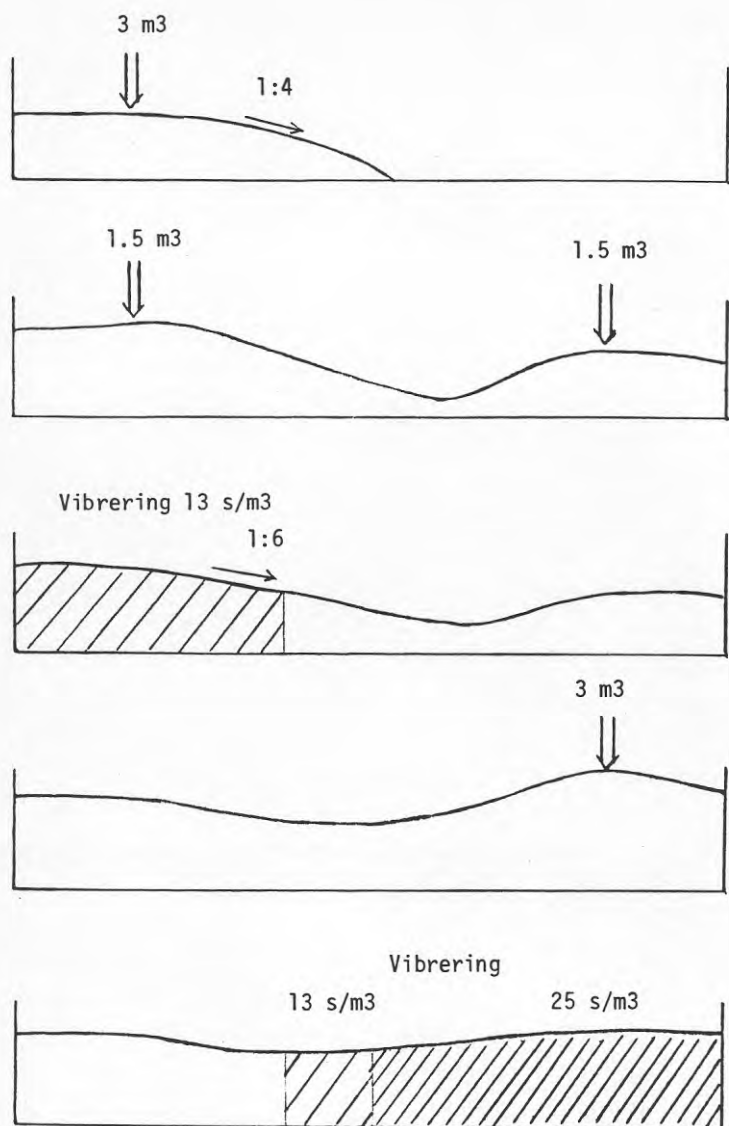


FIG 10. Monolit nr 1. Pejlade betongnivåer i centrumlinjen.

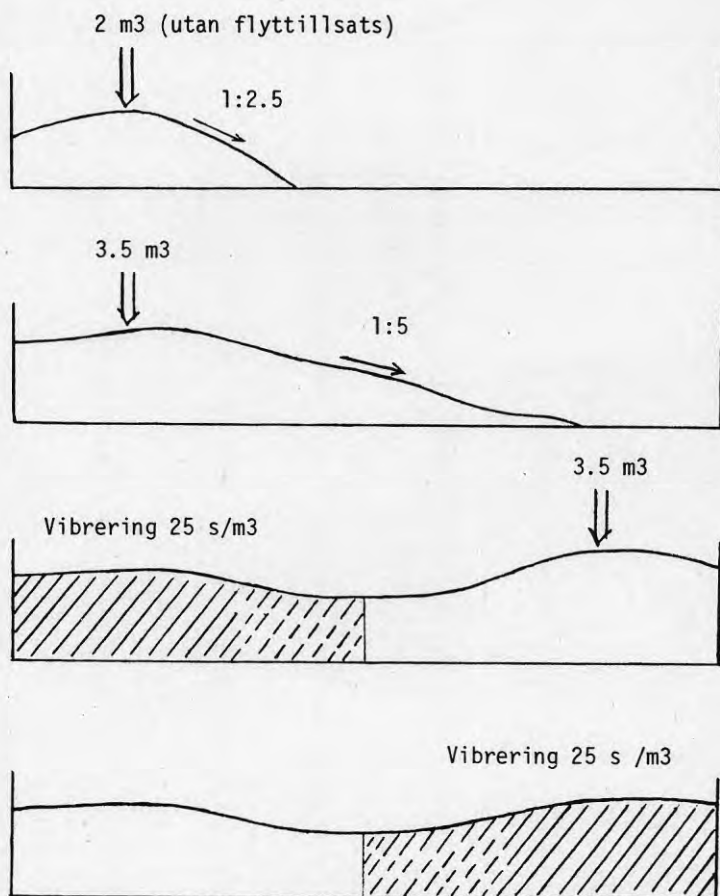


FIG 11. Monolit nr 2. Pejlade betongnivåer i centrumlinjen.

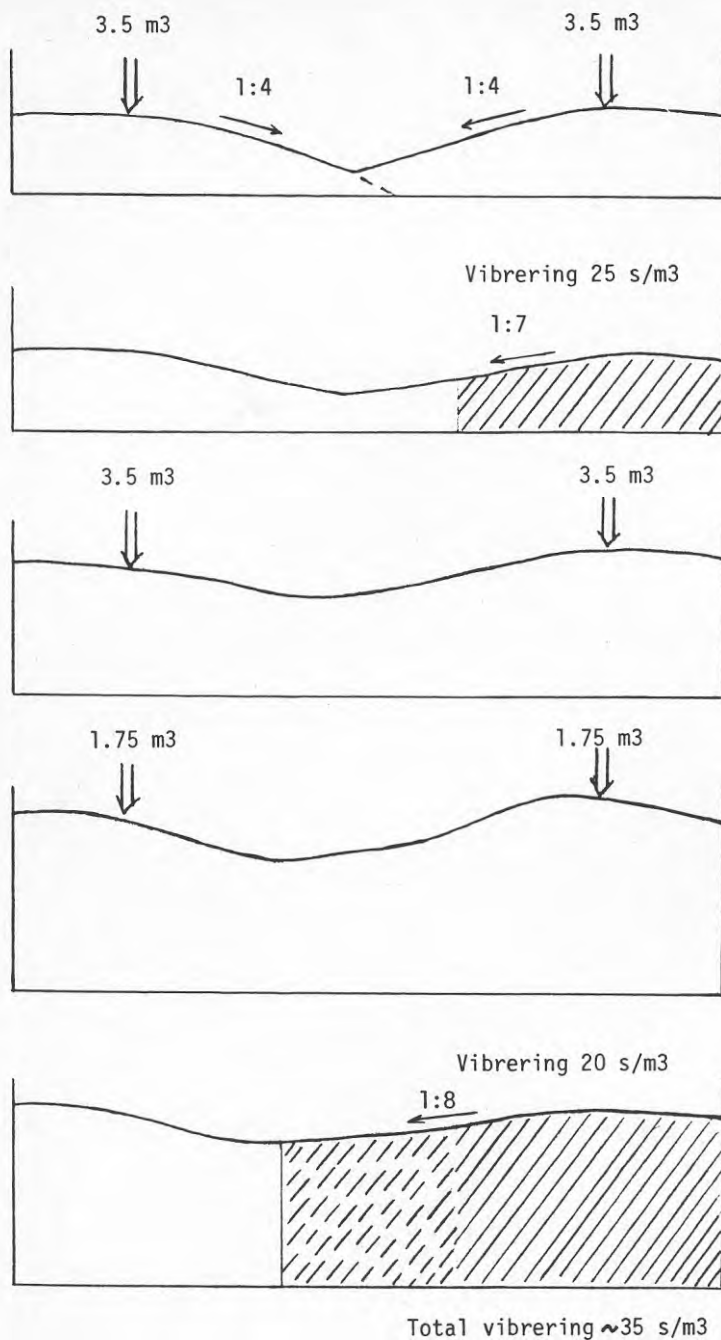


FIG 12. Monolit nr 3. Pejlade betongnivåer i centrumlinjen.

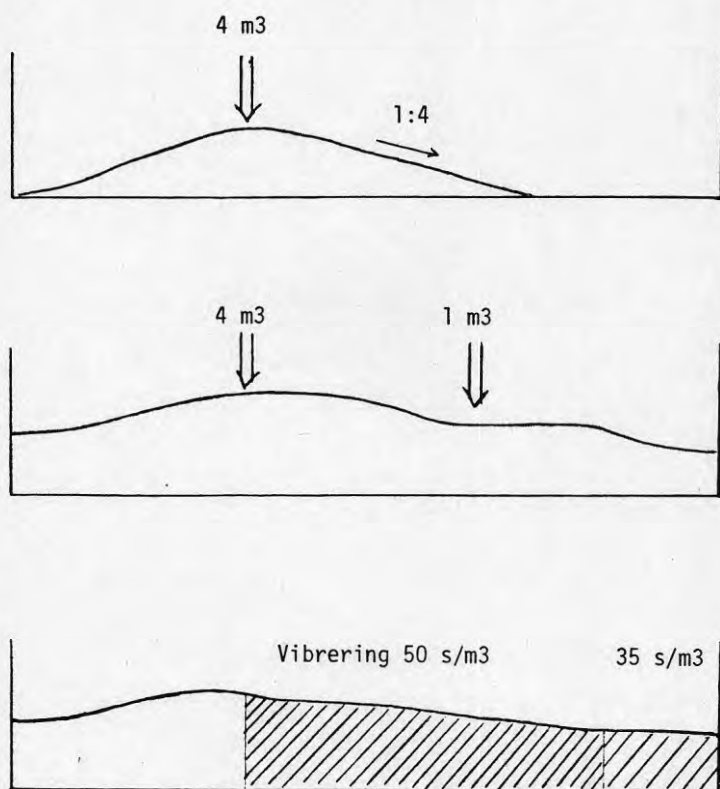


FIG 13. Monolit nr 4. Pejlade betongnivåer i centrumlinjen.

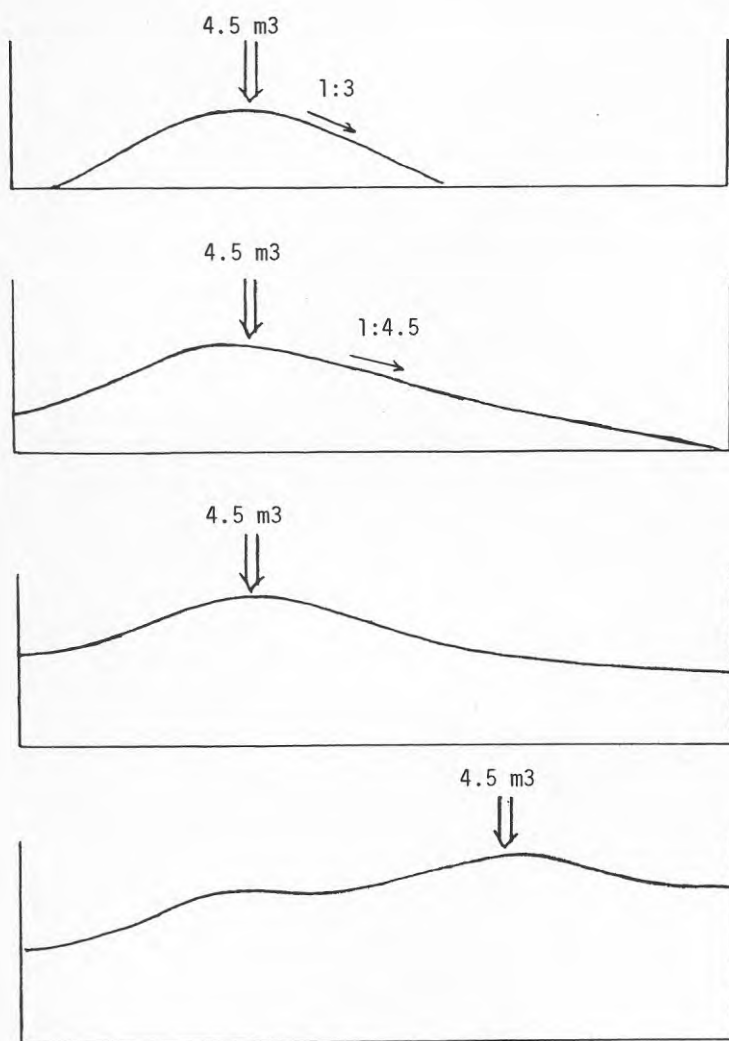


FIG 14. Monolit nr 5. Pejlade betongnivåer i centrumlinjen.



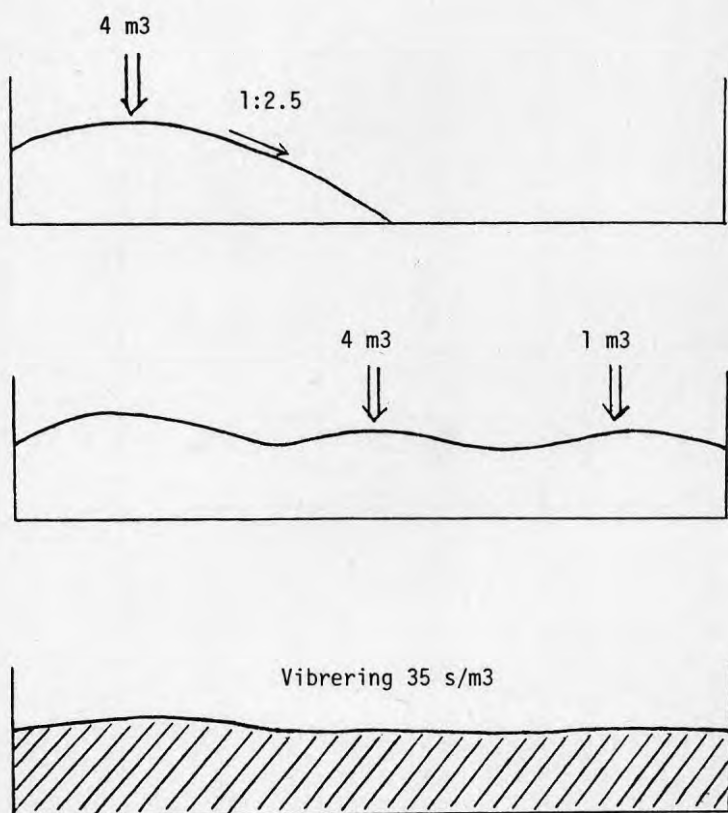


FIG 15. Monolit nr 6. Pejllade betongnivåer i centrumlinjen.

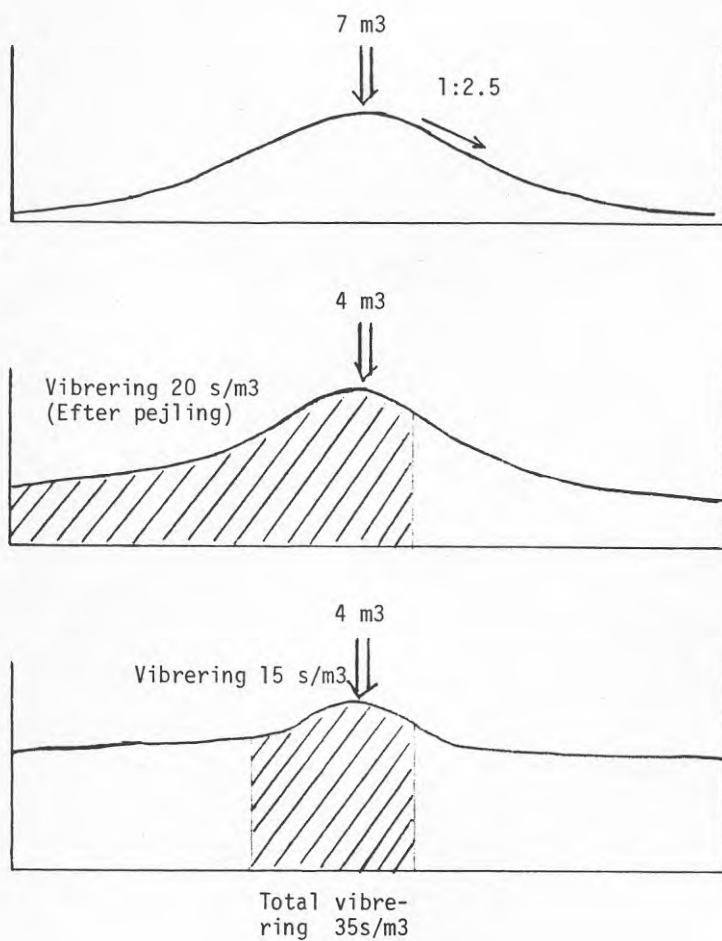
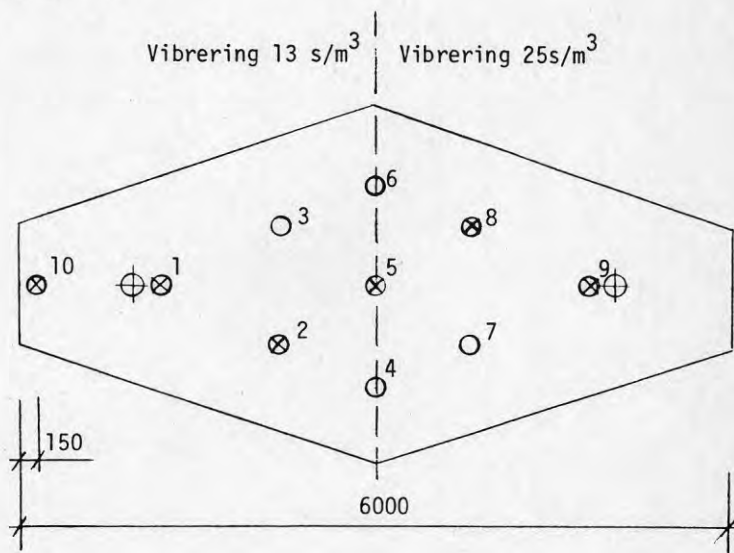


FIG 16. Monolit nr 7. Pejlade betongnivåer i centrumlinjen.

- Utborrade cylindrar  
 ⊗ Cylindrar som provats  
 ⊕ Gjutrör

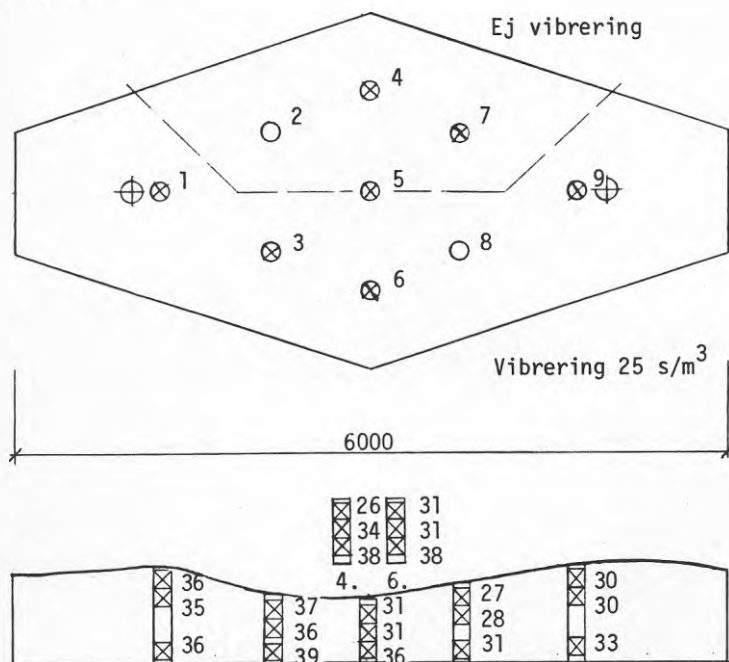


34	29	25	34	32	32
32	29		32	32	32
17	30	38	38	34	

	Totalt	Övre	Undre	1,2	8,9
Medelvärde:	31,2	31,0	31,4	30,2	32,5
Standardavvikelse:	5,05	3,49	8,88	4,74	1,02

FIG 17. Monolit nr 1. Borrade hål för spräckning och uttagna provcylindrar. Hållfasthet i MPa utan korrektion för form och ålder, jmf 6.6.2.

- Utborrade cylindrar
- ⊗ Cylindrar som provats
- ⊕ Gjutrör



	Totalt	Övre	Undre	3,6	4,7
Medelvärde:	32,9	30,9	35,6	35,1	30,6
Standardavvikelse:	3,65	4,06	2,79	3,56	4,60

FIG 18. Monolit nr 2. Borrade hål för spräckning och uttagna provcylindrar. Hållfasthet i MPa utan korrektion för form och ålder, jmf 6.6.2.

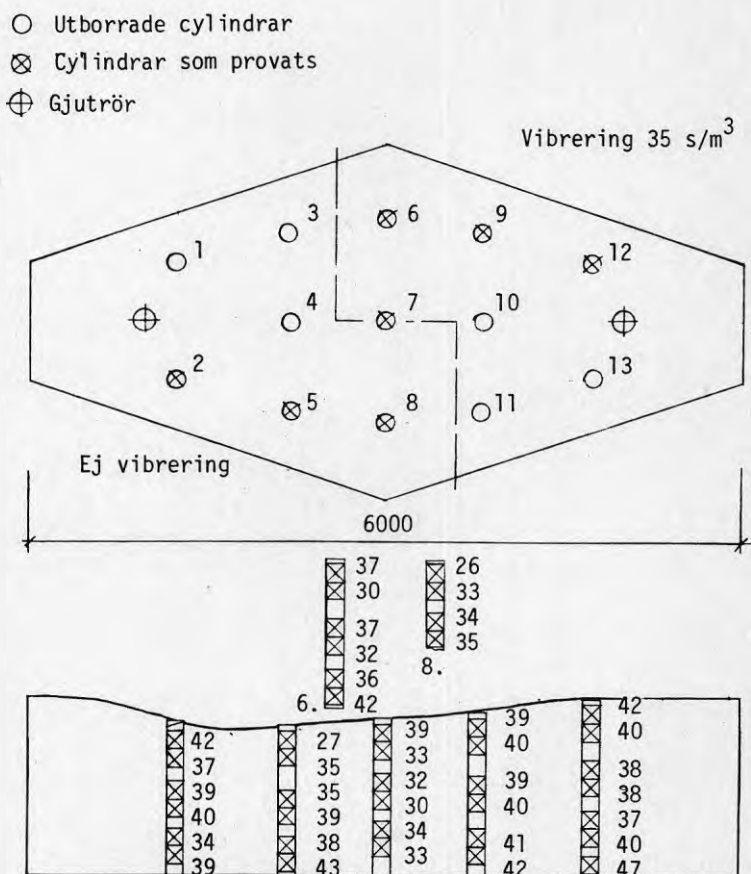
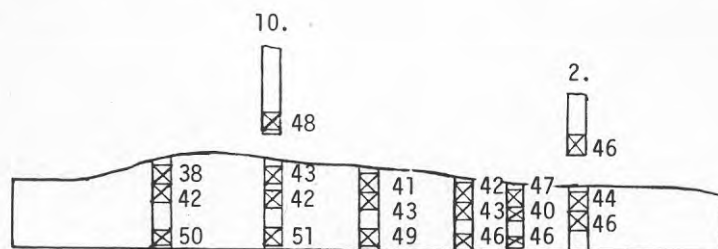
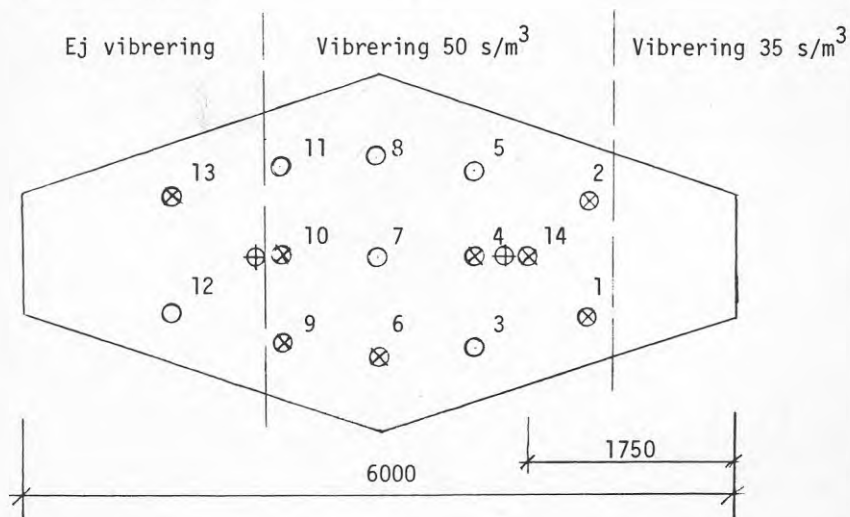


FIG 19. Monolit nr 3. Borrade hål för spräckning och uttagna provcylindrar. Hållfasthet i MPa utan korrektion för form och ålder, jmf 6.6.2.

- Utborrade cylindrar
- ⊗ Cylindrar som provats
- ⊕ Gjutrör (pump)



	Totalt	Övre	Undre
Medelvärde:	44,4	42,5	48,1
Standardavvikelse:	3,5	3,0	2,1

FIG 20. Monolit nr 4. Borrade hål för spräckning och uttagna provcylindrar. Hållfasthet i MPa utan korrektion för form och ålder, jmf 6.6.2.

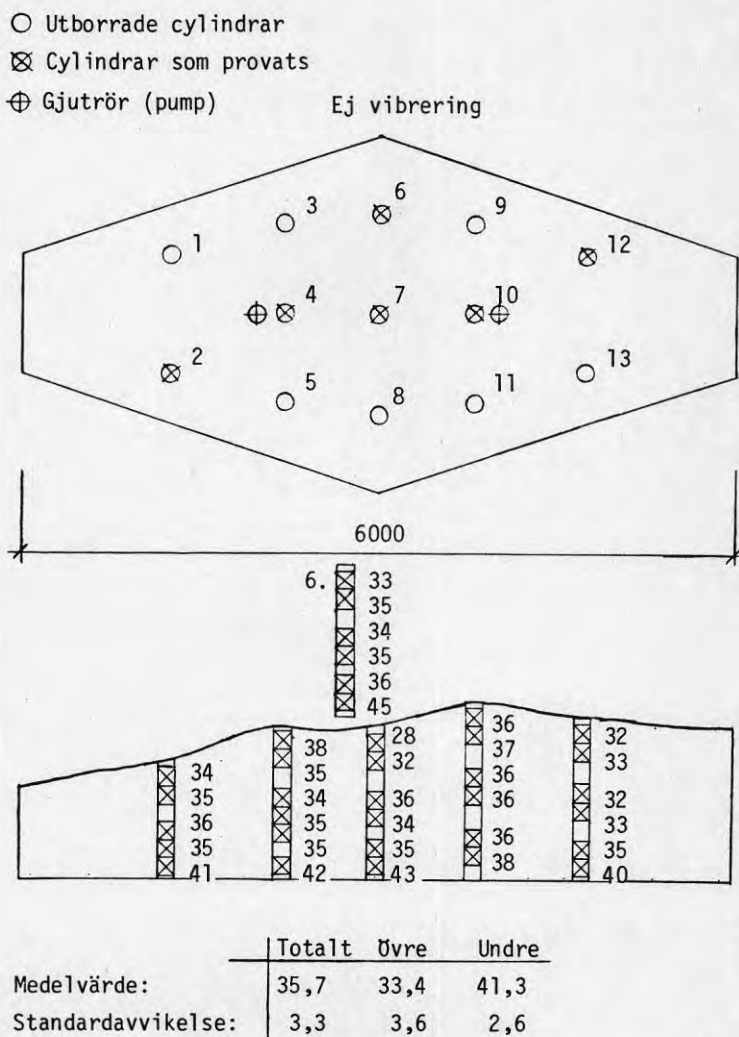


FIG 21. Monolit nr 5. Borrade hål för spräckning och uttagna provcylindrar. Hållfasthet i MPa utan korrektion för form och ålder, jmf 6.6.2.

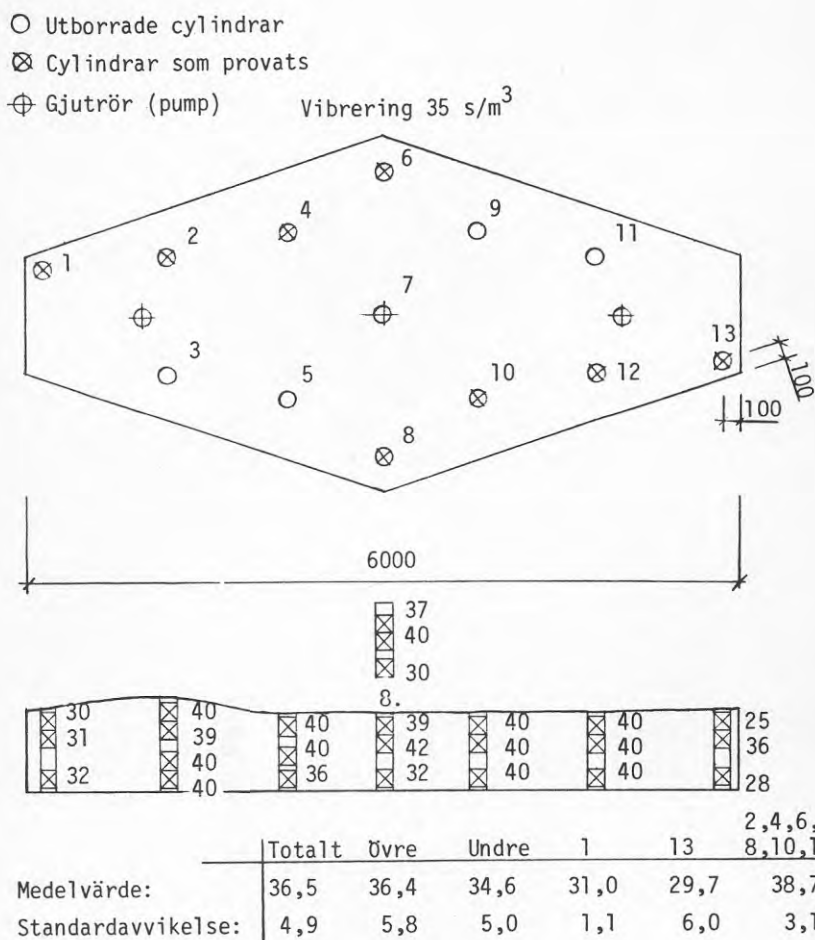
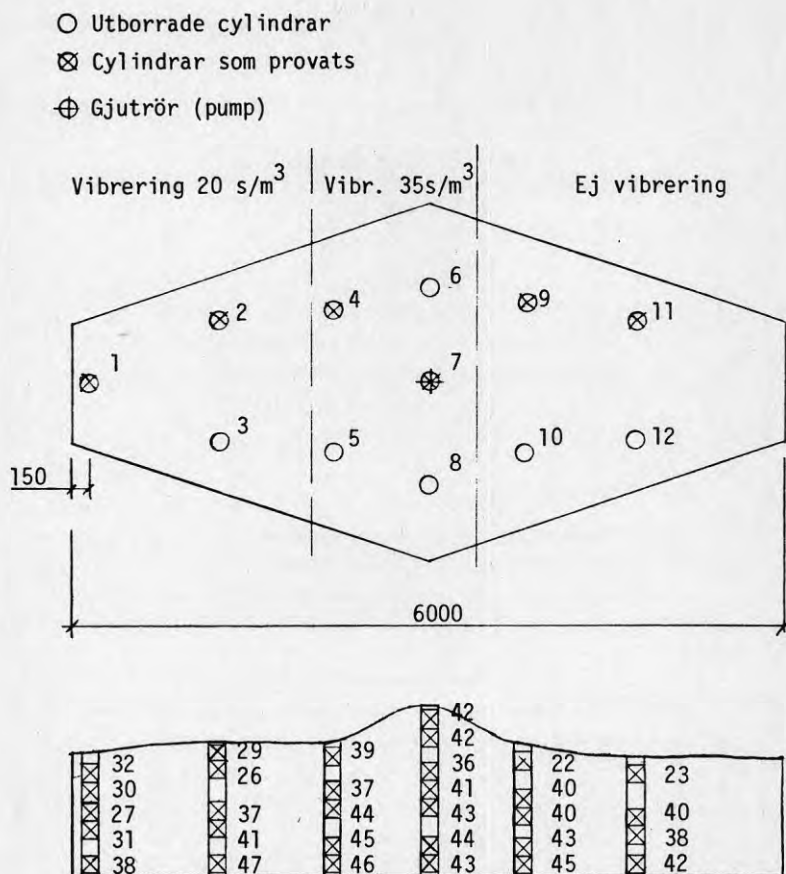


FIG 22. Monolit nr 6. Borrade hål för spräckning och uttagna provcylindrar. Hållfasthet i MPa utan korrektion för form och ålder, jmf 6.6.2.





	Tot.	Övre	Undre	1.	2,4	9,11	7.
Medelvärde:	37,8	31,2	43,4	31,4	39,0	37,1	41,4
Std.avvikelse:	6,9	7,9	3,5	3,9	7,2	8,4	2,5

FIG 23. Monolit nr 7. Borrade hål för spräckning och uttagna provcylindrar. Hållfasthet i MPa utan korrektion för form och ålder, jmf 6.6.2.

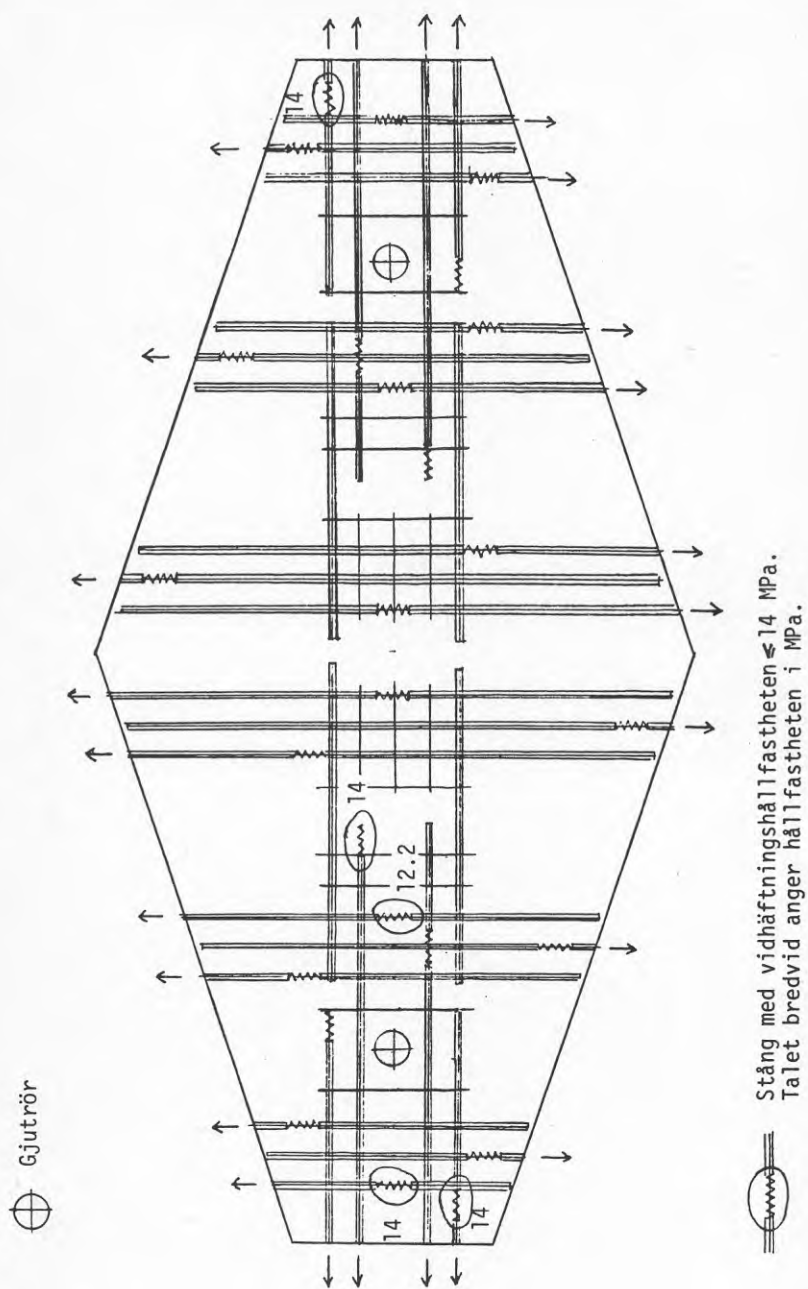


FIG 24. Monolit nr 1. Armeringens vidhäftning.

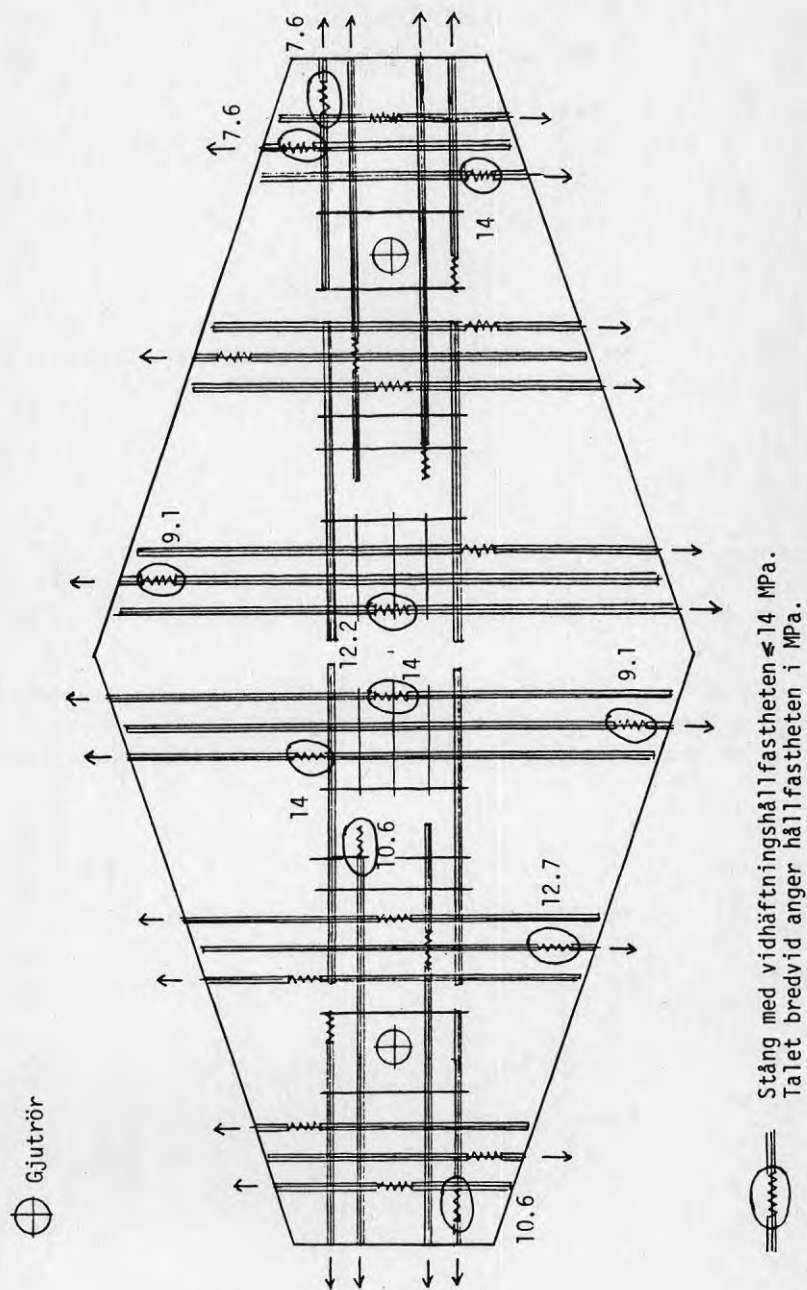


FIG 25. Monolit nr 2. Armeringens vidhäftning.

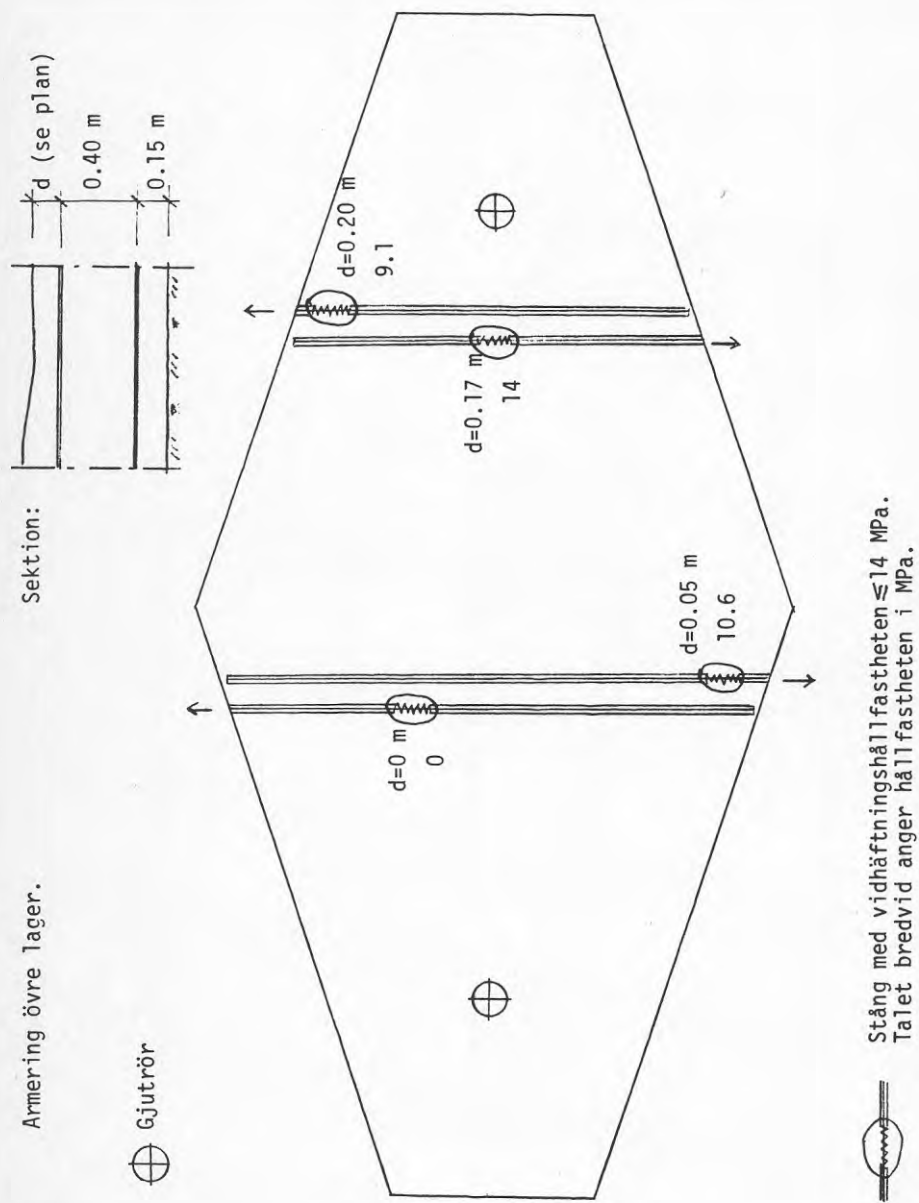


FIG 26. Monolit nr 2 (forts). Armeringens vidhäftning.

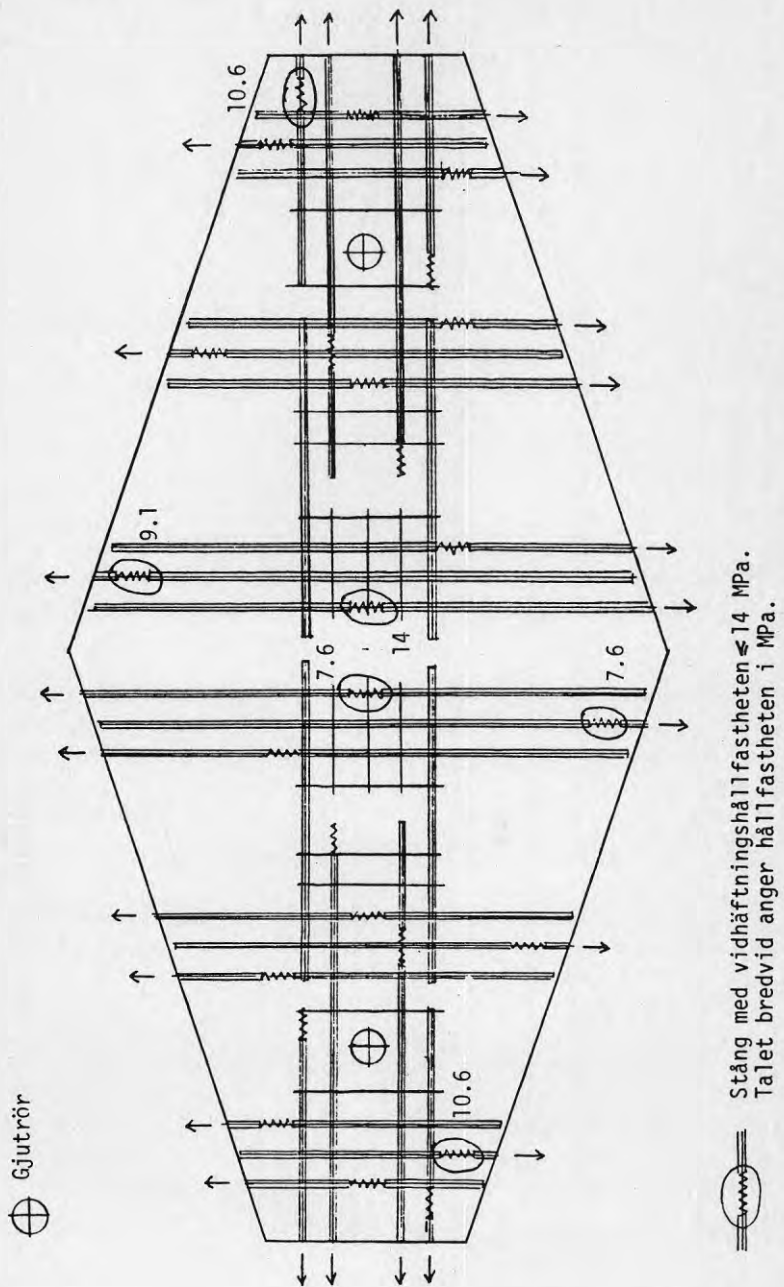


FIG 27. Monolit nr 3. Armeringens vidhäftning.

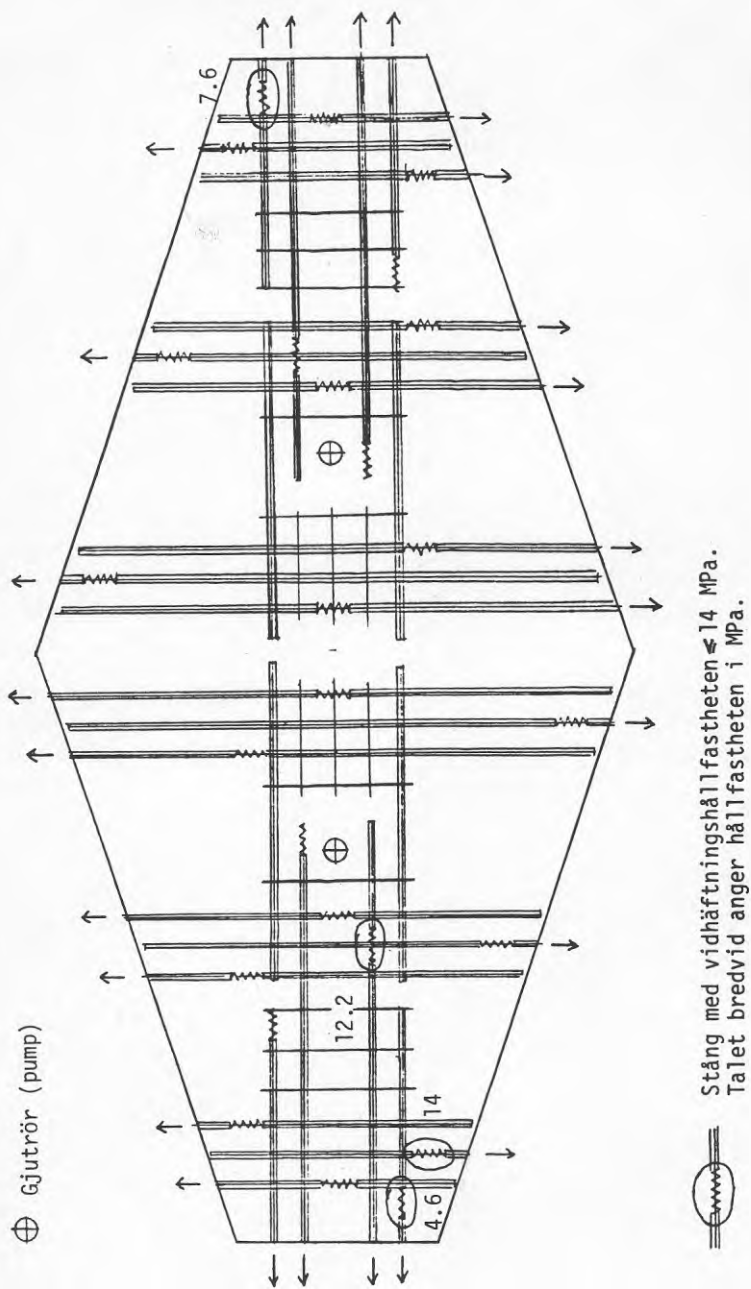


FIG 28. Monolit nr 4. Armeringens vidhäftning.

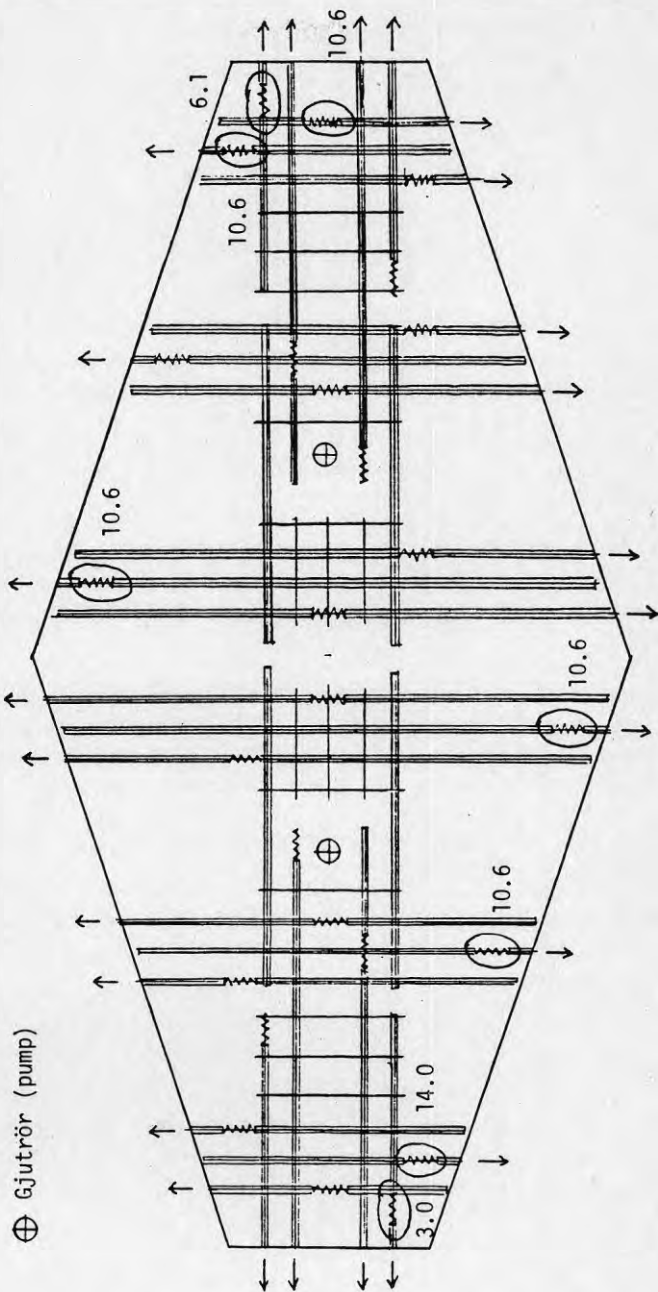
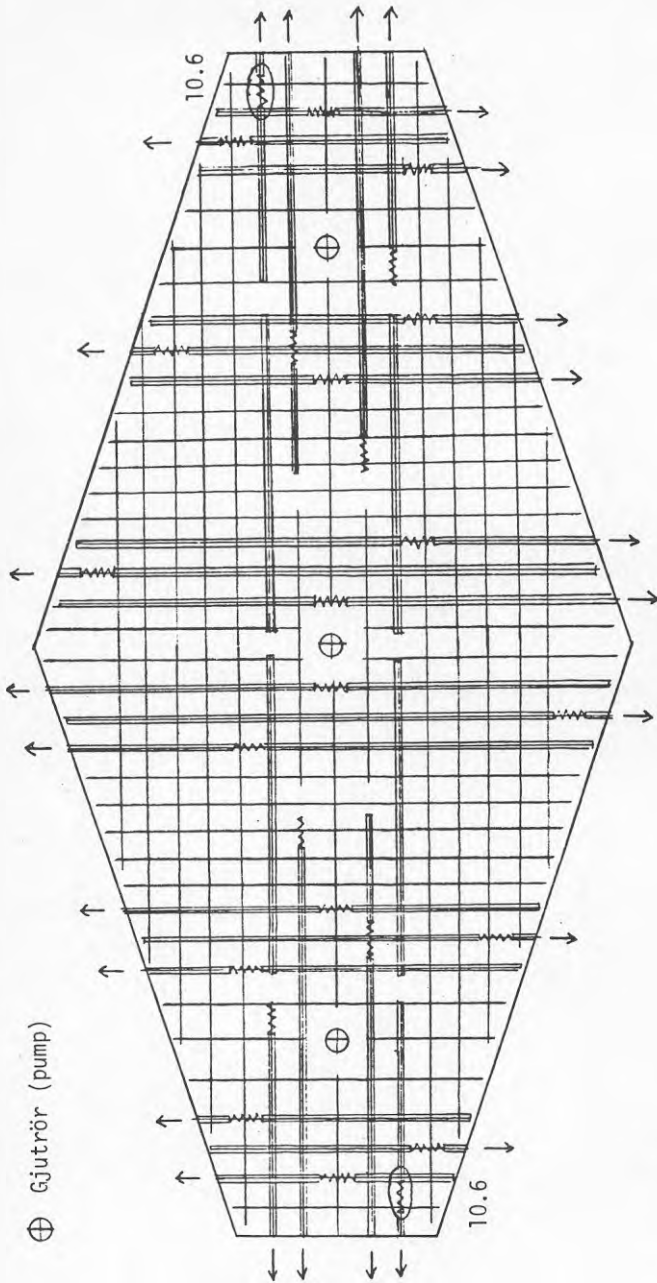


FIG 29. Monolit nr 5. Armeringens vidhäftning.

Tät armering, c/c 150 mm

⊕ Gjutrör (pump)

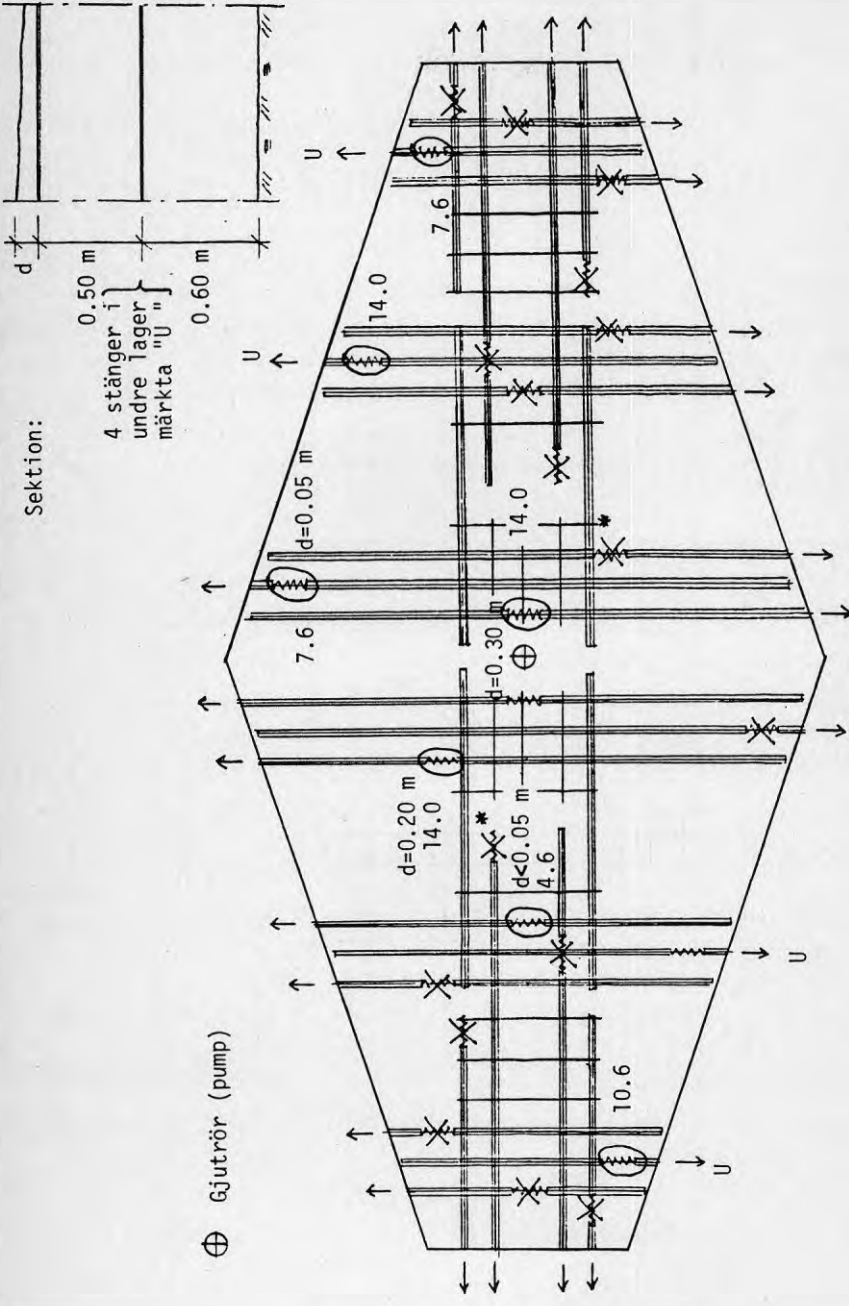


Stång med vidhäftningshållfastheten  $\leq 14 \text{ MPa}$ .  
Tälet bredvid anger hållfastheten i MPa.



FIG 30. Monolit nr 6. Armeringens vidhäftning.



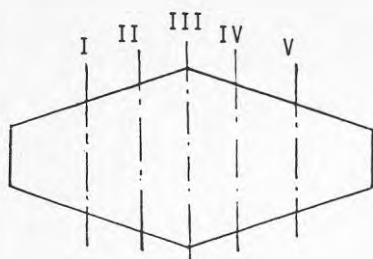


\* Inggjuten men ej provningsbar då mothåll saknas för domkraft vid kanten

Stång med vidhäftningshållfasthet 14 MPa  
 Talet bredvid anger hållfastheten i MPa.

Ej inggjuten stång, jmfv avsnitt 6.4

FIG 31. Monolit nr 7. Armeringens vidhäftning.



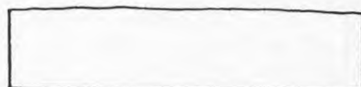
Plan över monolit med  
spräckningslinjer



I Slam



II Stenfattigt parti. Nå-  
got ökande stenhalt mot  
botten.



III

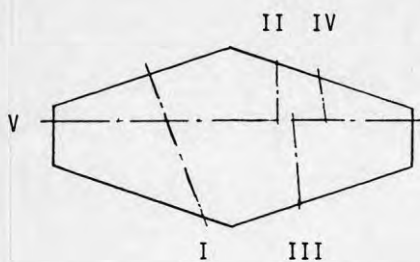


IV

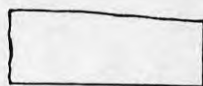


V Stenfattigt parti.

FIG 32. Monolit nr 1. Okulärbesiktning av brottytor.  
Omarkerade ytor anger betong utan anmärkning.



Plan över monolit med  
spräckningslinjer.  
(Jmf avsnitt 6.8)



I



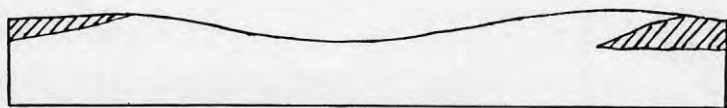
II



III

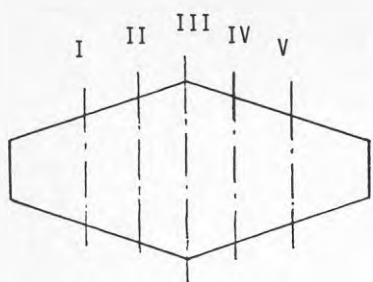


IV



V Stenfattigt parti.

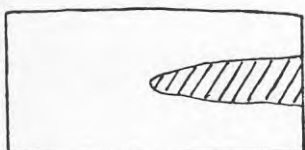
FIG 33. Monolit nr 2. Okulärbesiktning av brottytor.  
Omarkerade ytor anger betong utan anmärkning.



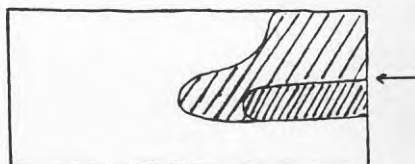
Plan över monolit med spräckningslinjer.



I Mycket jämn stenfördelning.



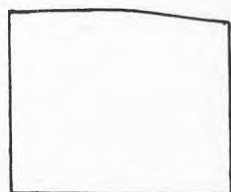
II Få stora stenar.



III Rel stenfattigt parti resp helt utan stora stenar (tätare skraffering). Markerat stråk i långsidan vid pilen.

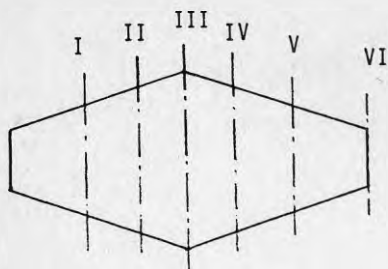


IV Rel stenfattigt parti.



V Mycket jämn stenfördelning.

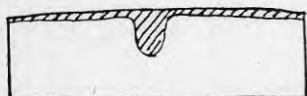
FIG 34. Monolit nr 3. Okulärbesiktning av brottytor. Ommarkerade ytor anger betong utsn anmärkning.



Plan över monolit med spräckningslinjer



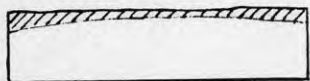
I Stenfattigt parti.



II Stenfattigt parti.  
Nedåt något tilltagande stenhalt.



III Stenfattigt parti.



IV Stenfattigt parti.  
Nedåt något tilltagande stenhalt.

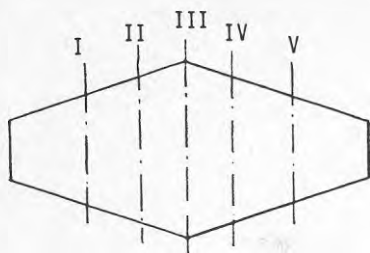


V Stenfattigt parti.  
Rel låg stenhalt även i övrig del. En del porer.



VI 1-3 cm djup ficka med slam.

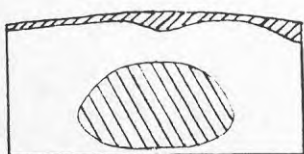
FIG 35. Monolit nr 4. Okulärbesiktning av brottytor. Omarkerade ytor anger betong utan anmärkning.



Plan över monolit med  
spräckningslinjer



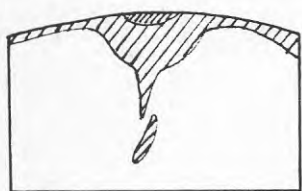
I Rel stenfattigt parti.



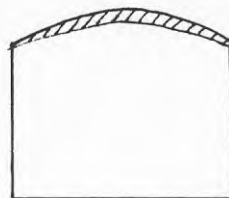
II Stenfattigt parti överst.  
Därunder stenrikt parti.



III Viss tendens till för-  
delning enl II.

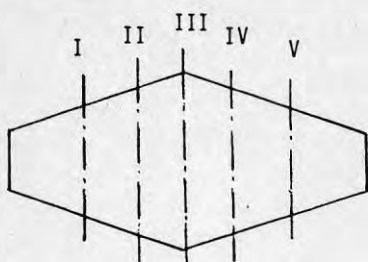


IV Mycket stenfattigt parti  
överst i mitten. Därunder sten-  
fattig betong, även i stråk och  
linser.



V Rel stenfattigt parti.

FIG 36. Monolit nr 5. Okulärbesiktning av brottytor.  
Omarkerade ytor anger betong utan anmärkning.



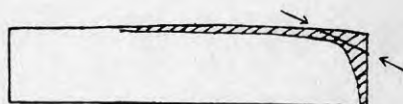
Plan över monolit med  
spräckningslinjer



I



II Rel stenfattigt parti.



III Stenfattigt parti. Mar-  
kerad skiktgräns vid pilar.

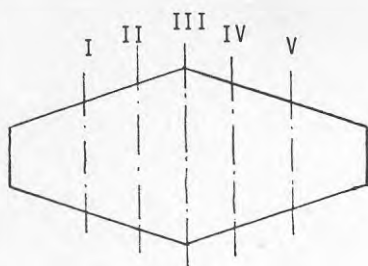


IV Stenfattigt parti.



V

FIG 37. Monolit nr 6. Okulärbesiktning av brottytor.  
Omarkerade ytor anger betong utan anmärkning.



Plan över monolit med spräckningslinjer.



I Parti med dålig betong.



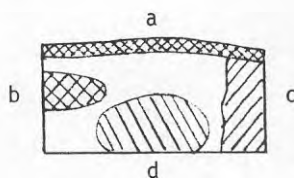
II Stenrikt parti.



III



IV Några smärre partier ( $\approx 2 \text{ dm}^2$ ) med okulärt sämre betong.



V Slam (a). Parti med okulärt sämre betong (b). Rel stenfattigt parti (c). Stenrikt parti (d).

FIG 38. Monolit nr 7. Okulärbesiktning av brottytor. Omarkerade ytor anger betong utan anmärkning.





FIG 39. Vintrig undervattensgjutning. Kv Björnen, Stockholm

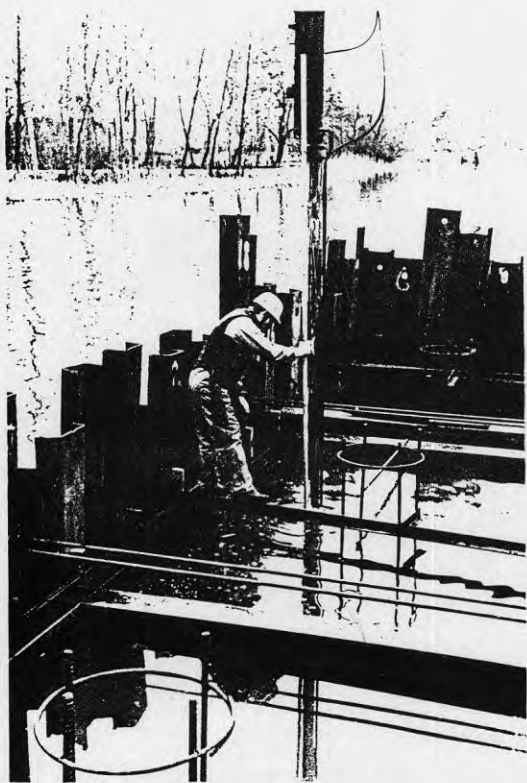
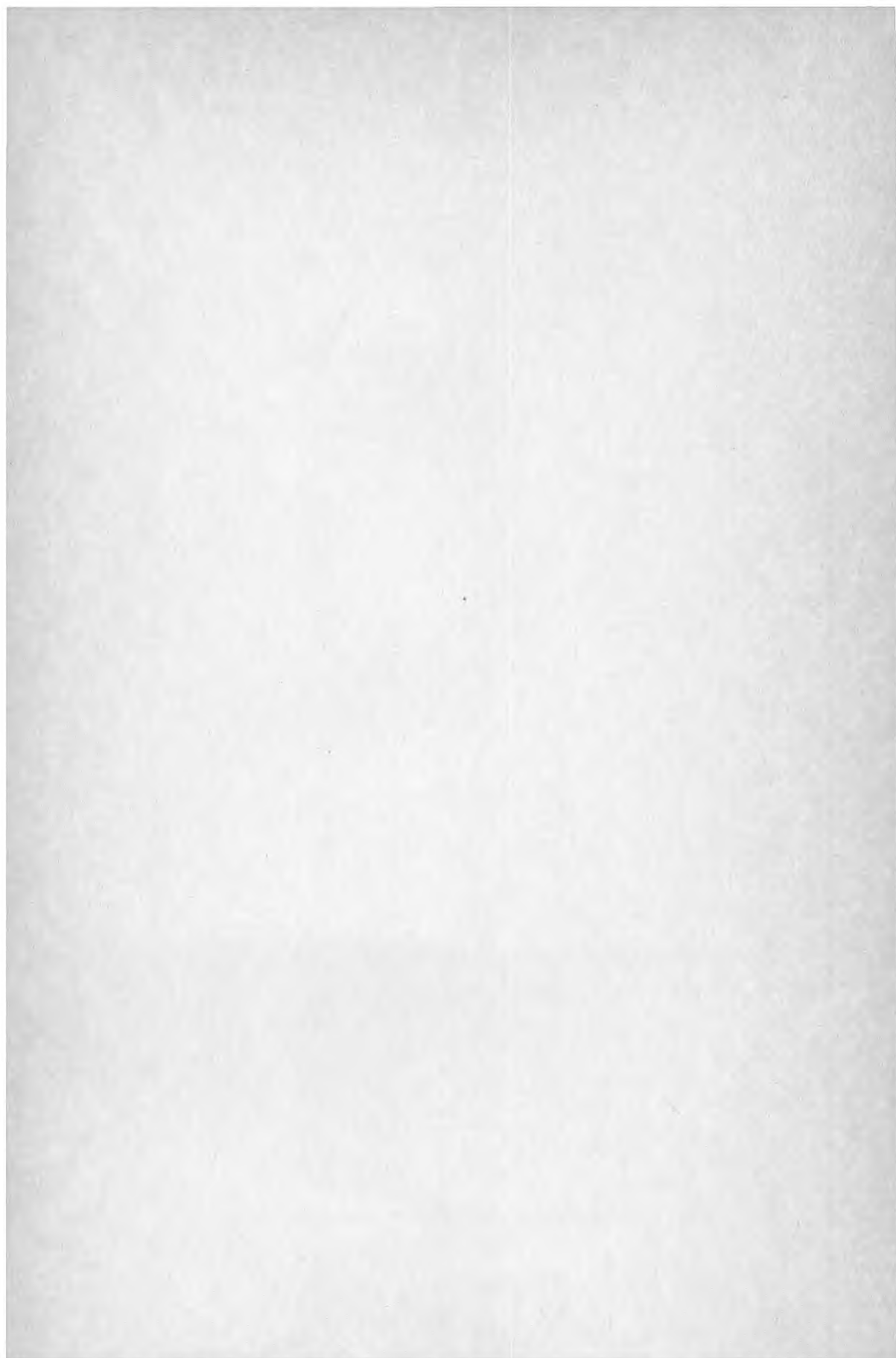


FIG 40. Undervattensgjutning med pump och mynningsventil.  
Pejling av ytan. Bro i Arboga.











**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag  
780115-1 från Statens råd för byggnadsforskning  
till Skånska Cementgjuteriet, Tekn. Avd.  
Danderyd.**

**R85: 1984**

**ISBN 91-540-4168-6**

**Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm**

**Art.nr: 6704085**

**Abonnemangsgrupp:  
V. Anläggningsteknik**

**Distribution:  
Svensk Byggtjänst, Box 7853  
103 99 Stockholm**

**Cirkapris: 35 kr exkl moms**