



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**

**R2:1979**

# **Undervattensbetong**

**Undersökningar på  
laboratorium**

**Johan Nygårds  
Christer Svensson**

**Byggforskningen**

R2:1979

UNDERVATTENS BETONG

Undersökningar på laboratorium

Johan Nygårds  
Christer Svensson

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 750568-5  
från Statens råd för byggnadsforskning till AB Skånska  
Cementgjuteriet, Konstruktionskontoret, Danderyd

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

R2:1979

ISBN 91-540-2954-6  
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

LiberTryck Stockholm 1978 860973



## INNEHÅLLSFÖRTECKNING

FÖRTECKNING ÖVER FIGURER .....	7
FÖRTECKNING ÖVER TABELLER .....	9
REFERAT .....	11
1. BAKGRUND .....	13
2. PROJEKTBEKRIVNING .....	14
2.1 Syfte .....	14
2.2 Omfattning .....	14
2.2.1 Allmänt .....	14
2.2.2 Litteraturinventering .....	14
2.2.3 Undersökning av färsk betongs rörlighet .....	15
2.2.4 Gjutning under vatten .....	15
2.3 Plats för undersökningen .....	15
3. BETONG .....	16
3.1 Delmaterial .....	16
3.1.1 Cement .....	16
3.1.2 Ballastmaterial .....	16
3.1.3 Tillsatsmedel .....	16
3.1.4 Färgtillsats .....	16
3.2 Betongtyper .....	17
3.2.1 Konsistensnivåer och cementshalt .....	17
3.2.2 Ballastsammansättning .....	17
3.2.3 Tillsatsmedel .....	18
4. BETONGMASSAS RÖRLIGHET .....	18
4.1 Mätmetod .....	18
4.1.1 Utveckling av mätmetod .....	18
4.1.2 Apparatur och mätningförfarande .....	22
4.1.3 Definition av rörlighetsvärde .....	22
4.2 Genomfört program .....	23
4.2.1 Försöksuppläggnig .....	23
4.2.2 Försöksprogram .....	23
4.2.3 Förberedande försök .....	23

4.3	Mätresultat. Rörlighet och konsistens .....	24
4.3.1	Gruppvis indelning av försöken .....	24
4.3.2	Olika konsistensnivåer, med och utan retarder .....	24
4.3.3	Olika tillsatsmedel .....	25
4.3.4	Olika cementfabrikat .....	25
4.3.5	Olika grus och stentyper .....	26
4.3.6	Olika mängd material < 0,25 mm i sammansatt ballast .....	26
4.3.7	Olika betongtemperaturer .....	27
4.3.8	Flyttillsats, färgtillsats .....	27
4.4	Mätresultat. Vattenseparation och penetrationsmotstånd .....	28
4.4.1	Vattenseparation .....	28
4.4.2	Penetrationsmotstånd .....	29
4.5	Synpunkter på försöksresultaten .....	29
5.	UNDERVATTENSGJUTNING AV BETONGMONOLITER ....	31
5.1	Monoliternas dimensioner .....	31
5.2	Armering .....	31
5.2.1	Dimension, kvalitet och injutningslängd ...	31
5.2.2	Antal stänger och läge .....	32
5.3	Form och gjutarrangemang .....	33
5.4	Gjutning .....	33
5.4.1	Betongens blandning .....	33
5.4.2	Betongens placering i formen .....	33
5.4.3	Vibrering .....	34
5.4.4	Avformning - härdning .....	36
5.5	Provningsförfarande .....	36
5.5.1	Betong .....	36
5.5.2	Vidhäftning armering - betong .....	36
5.6	Genomfört program .....	37
5.6.1	Betongtyper och utförande .....	37
5.6.2	Sammanställning av satsernas färg .....	37
5.7	Iakttagelser under gjutning .....	38
5.7.1	Släntlutning, slambildning, rördjup .....	38
5.7.2	Satsernas slutliga läge - färgfotografier ..	40
5.8	Provningsresultat .....	40
5.8.1	Normenliga kuber .....	40
5.8.2	Ur monoliter utborrade provkroppar .....	41
5.8.3	Kontroll av betongkvaliteten med icke störande provning .....	45

5.8.4 Vidhäftning betong - armering .....	47
5.8.5 Vattentäthet .....	49
6. SAMMANSTÄLLNING AV SYNPUNKTER OCH REKOMMENDATIONER .....	50
6.1 Betongsammansättning .....	50
6.1.1 Konsistensnivå, med och utan retarder .....	50
6.1.2 Ballastgradering .....	50
6.1.3 Cementhalt .....	50
6.1.4 Betongtemperatur .....	51
6.2 Arbetsutförande .....	51
6.2.1 Gjutrörens placering .....	51
6.2.2 Utströmningshastighet .....	51
6.2.3 Gjutrörets nedsticksdjup .....	52
6.2.4 Stighastighet .....	52
6.2.5 Gjutuppehåll .....	52
6.2.6 Vibring .....	53
6.2.7 Armering .....	53
6.3 Betongkvalitet - hållfasthetsklass - vid- häftning .....	54
TABELLER .....	57-69
FIGURER .....	71-136
REFERENSER .....	137



## FÖRTECKNING ÖVER FIGURER

- 3.1 A-B Ballasttypernas gradering.  
Sifferbeteckningar enligt avsnitt 3.1.2
- 3.2 A-D Sammansatt ballastgradering.  
Avsnitt 3.2.2 och TAB 4.1
- 4.1-2 Mätning av betongmassas rörlighet
- 4.3 Betongs rörlighet. Exempel på mätningar under ett försök
- 4.4 Exempel som anger hur mätresultaten redovisas
- 4.5 Rörlighet och konsistens. Mätresultat.  
Förberedande försök
- 4.6-12 Rörlighet och konsistens. Mätresultat
- 6 Olika konsistensnivåer
  - 7 Olika tillsatsmedel
  - 8 Olika grus- och stentyper
  - 9 Olika cementfabrikat
  - 10 Olika mängd material < 0,25 mm
  - 11 Olika betongtemperaturer
  - 12 Flyttillsats, färgtillsats
- 4.13-16 Vattenseparation
- 13 Olika konsistensnivåer
  - 14 Olika tillsatsmedel
  - 15 Olika cementfabrikat
  - 16 Olika grus- och stentyper
- 4.17 Penetrationsmotstånd
- 5.1-2 Mått på monoliter

- 5.3-4 Armeringsstänger och ingjutningsställen  
3 Monoliter gjutna med ett gjutrör  
4 Monoliter gjutna med två gjutrör
- 5.5 Form och gjutanordningar för monoliter
- 5.6-7 Schema över genomförda monolitgjutningar  
6 Monoliter gjutna med ett gjutrör  
7 Monoliter gjutna med två gjutrör
- 5.8-20 Pejlat läge hos betongytan efter olika gjutsatser
- 5.21-34 Färgfotografier av samtliga monoliter.  
Satsernas gjutordning
- 5.35-36 Ungefärligt slutligt läge för sats 1-8
- 5.36-50 Monolit 1-15. Vertikalt utborrade cylindrar.  
Tryckhållfasthet MPa
- 5.51-54 Monolit 11-15. Tryckhållfasthet enligt icke förstörande provning. Anges i respektive mät-punkter på monoliten i MPa
- 5.55-60 Dragning av armeringsstänger



## FÖRTECKNING ÖVER TABELLER

- 4.1 Betongs rörlighet. Förteckning över genomförda försök
- 4.2 Betongs rörlighet. Sammanställning av försöksresultat
- 5.1 Förteckning över tillverkade monoliter
- 5.2 Släntlutning och mängd slam på ytan i % av betongvolymen. Monolit 1-15
- 5.3 A-B Tryckhållfasthet hos normenliga kuber. Medelvärde för varje sats
- 5.4 Tryckhållfasthet hos normenliga kuber. Medelvärde för hel monolit
- 5.5 Tryckhållfasthet hos normenliga kuber. Medelvärden för olika färgtillsatser.
- 5.6 Tryckhållfasthet hos ej bearbetade kuber. Medelvärden för hela monoliter. Jämförelse med normenligt kuber
- 5.7-8 Tryckhållfasthet hos utborrade cylindrar
- 5.9 Densitet hos normenliga kuber och utborrade cylindrar
- 5.10-11 Vidhäftning för ingjutna armeringsstänger





## REFERAT

I forskningsprojektet UNDERVATTENSBETONG ingår dels en litteraturinventering som färdigställdes tidigare och som utkommit som BFR-rapport R 38 1976, dels undersökningar genomförda på laboratorium, redovisade i föreliggande rapport och omfattande färsk betongs rörlighet, hårdnad betongs kvalitet och vidhäftning mot armering, samt vissa faktorer rörande arbetsutförande, bl a vibrering, stighastighet och uppehåll i gjutning.

Olika betongtypers lämplighet för undervattensgjutning har jämförts. Härvid har betongmassans rörlighet och hur rörligheten avtar med tiden, bedömts ha avgörande betydelse. En för ändamålet särskilt framtagen mätmetod har använts. Betongtyperna har varierats ifråga om ballastgradering, konsistens, tillsatsmedel, cementfabrikat och betongtemperatur. Sammanlagt genomfördes 35 försök. Tydliga indikationer på såväl lämpliga som olämpliga betongtyper har erhållits. Bland de senare finns typer som tidigare skulle bedömts som fullt lämpliga.

För bestämning av betongkvalitet och vidhäftning mellan armering och betong i färdig konstruktion samt för bedömning av olika utföranden göts i en form fylld med vatten betongmonoliter med en volym av ca 1,2 m<sup>3</sup>. Sammanlagt göts 14 monoliter, varav 10 med ett gjutrör och 4 med två. Betongtyperna varierades med ledning av rörlighetsmätningarna, vars resultat verifierades. Vibrering utfördes på 4 monoliter. Med lättrörliga betongtyper, främst sådana med retarder, erhöles den under vatten gjutna betongen en hög och jämn kvalitet, såväl ifråga om tryckhållfasthet som vidhäftning.



Gjutning av betong under vatten är förenat med riskmoment av helt annan omfattning än gjutning i torrhet. Betongens placering i formen kan ej följas på sedvanligt sätt. Felaktigheter under arbetets gång är svåra att upptäcka, man arbetar mer eller mindre i blindo. Arbetsobjekten är ofta av sådan storleksordning och så belägna att ett misslyckande medför stora kostnader. Belägenheten medför också att betongen sedan den hårdnat inte kan inspekteras på vanligt sätt. Jämfört med betong gjuten i torrhet blir därför de bedömningar som kan göras av ett utfört arbete osäkra och begränsade. Av erfarenhet vet man dock att undervattensgjutningar som utförts under till synes lika betingelser gett olika resultat utan att orsaken kunnat fastställas. Med kännedom om hur olika faktorer inverkar borde sådan osäkerhet ej behöva föreligga.

Enkelt uttryckt kan sägas att det för ett fullgott resultat vid gjutning av betong under vatten fordras dels en lämplig betong dels ett riktigt utförande. Brister i endera avseendet kan leda till svåra misslyckanden.

Vid gjutning under vatten behövs andra egenskaper hos betongmassan än vid gjutning i torrhet. Detta inses lätt om man jämför anvisningarna för respektive metod i gällande Statliga betongbestämmelser beträffande betongmassans placering i gjutformen. För gjutning i torrhet säges "att avståndet mellan gjutrör eller dylikt skall avpassas så att sidotransport efter utläggning av betongen i möjligaste mån undvikas...". För gjutning under vatten gäller inte denna inskränkning utan där tillåts ett avstånd mellan gjutrören på upp till 4 m, vilket innebär en sidotransport på mer än 2 m. Betong för detta ändamål bedöms kräva speciella egenskaper ifråga om sammanhållning, rörlighet och rörlighetens avtagande med tiden. Nödvändigt är då att veta hur olika betongtyper bär sig åt i dessa avseenden och hur man kan mäta deras lämplighet.

Ifråga om utförandet, vari ingår begrepp som stighastighet, uppehåll i gjutningen, avstånd mellan gjutrör, pumpning direkt i gjutformen, vibrering m m, går uppfattningarna starkt isär. Vibrering t ex är enligt svenska bestämmelser tillåten

endast vid uppdragning av gjutrör. Rätt utförd borde dock vibrering kunna tillåtas, men systematiska undersökningar saknas.

Armering i undervattensbetong får i Sverige konstruktivt utnyttjas endast i undantagsfall. I länder som Finland, Norge och Holland finnes inte denna restriktion. Det kan antas att vidhäftningen mellan armering och en på rätt sätt gjuten undervattensbetong blir fullgod men veterligt saknas även här systematiska undersökningar.

## 2 PROJEKTBEKRIVNING

### 2.1 Syfte

Syftet med projektet har varit att genom försök på laboratorium dels jämföra olika betongtypers lämplighet för gjutning i vatten, dels bestämma betonghållfasthet och vidhäftning mellan armering och betong gjuten i vatten. Om möjligt skulle också betongmassans strömning ur gjutröret samt de olika blandarsatsernas slutliga läge i den gjutna betongmonoliten studeras. Ifråga om arbetsutförande skulle vibrering och stighastighet undersökas.

### 2.2 Omfattning

#### 2.2.1 Allmänt

Projektet har omfattat tre avsnitt: Skrivning av program och litteraturinventering, försök avseende betongmassas rörlighet samt gjutning under vatten av betongmonoliter i laboratoriemässig skala.

#### 2.2.2 Litteraturinventering

I arbetet med att upprätta program för forskningsprojektet "Undervattensbetong" ingick även en litteraturinventering. Denna utfördes till större delen vid Cement- och Betonginstitutet i Stockholm och redovisas i Rapport R38:1976 från Statens råd för Byggnadsforskning.

I samtliga artiklar framhålles betongmassans egenskaper, såsom rörlighet, sammanhållning och stabilitet som ytterst viktiga för gjutningens förlopp. Genomgående framhålles att gjutningen bör fortgå utan eller med endast korta avbrott. När det gäller faktorer som cementhalt, max stenstorlek,

konsistens, rördiameter, röravstånd, stighastighet, tillsatsmedel varierar uppfattningarna inom vida gränser.

### 2.2.3 Undersökning av färsk betongs rörlighet

Vid undersökningen av betongmassas lämplighet för undervattensgjutning har dess rörlighet och rörlighetens avtagande med tiden bedömts ha avgörande betydelse.

En för ändamålet särskilt framtagna mätmetod har använts. Olika betongtyper, med varierade kombinationer av ballastgradering, kornform, konsistens, cementfabrikat, tillsatsmedel och betongtemperatur har undersökts. Inalles har 35 försök, inklusive upprepningar, genomförts.

### 2.2.4 Gjutning under vatten

Betongmonoliter med en volym av 1,2 m<sup>3</sup> göts i form fylld med vatten. Sammanlagt göts 14 monoliter, varav 10 st med ett gjutrör och 4 st med två. Formens bredd x höjd var 0,45 x 2,0 m. Längden var 2,0 m med ett gjutrör och 2,5 m med två gjutrör.

Betongtyperna varierades på så sätt att två typer fingrus och tre olika tillsatsmedel användes. De senare utgjordes av retarder i fem av monoliterna, i en monolit av retarder + LP-medel och i en monolit av retarder + flyttillsats.

Två stighastigheter, 0,3 m/h och 0,6 m/h, ingick. I fyra monoliter vibrerades betongen.

Utdragsprov på ingjutna armeringsstänger och bestämning av betongens tryckhållfasthet på utborrade kärnor utfördes på samtliga monoliter. På de monoliter som göts med två gjutrör undersöktes betongkvaliteten i zonen mellan gjutrören även med kombinerad NDT-mätning (Bellander).

## 2.3 Plats för undersökningen

Utveckling av mätmetod för bestämning av betongmassas rörlighet skedde på Cementgjuteriets laboratorium i Upplands Väsby. Själva undersökningen genomfördes på Cement- och Betonginstitutet, där lokaler och personal ställdes till vårt förfogande och där rådgivning i olika frågor kunde erhållas.



### 3 BETONG

#### 3.1 Delmaterial

##### 3.1.1 Cement

I de försök som gällde bestämning av färsk betongs rörlighet ingick två cementfabrikat nämligen Slite Std och Skövde Std.

I de försök som gällde bestämning av hållfasthet och vidhäftning mot armering hos betong gjuten under vatten, dvs gjutning av monoliter, ingick endast Slite Std.

På grund av att försöken pågick under relativt lång tid, drygt ett år, användes cement från ett flertal leveransers.

##### 3.1.2 Ballastmaterial

Följande materialtyper användes:

###### Siktkurva

nr 1	Finsand	0-1		Tullinge
2	Fingrus	0-8	Normal gradering	Underås
3	Fingrus	0-8	Grov gradering	Bro
4	Sten	8-16	Krossytegrad 6/60	Underås
5	Sten	16-32	" 10/50	Underås
6	Sten	8-16	" 100/0	
7	Sten	16-32	" 100/0	

Ballastfraktionernas gradering framgår av siktkurvor i FIG 3.1A-1B. Fraktionerna är numrerade 1-7. Sammansatta ballastgraderingar betecknas med bokstäver, A-H, avsnitt 3.2.2.

##### 3.1.3 Tillsatsmedel

<u>Typ</u>	<u>Fabriksbeteckning</u>	<u>Leverantör</u>
Retarder	Barralent R	Cemeta
Luftporbildande LP	Darex Highway	Industrimetoder
Vattenreducerande VR	Plastiment BV 40	Sika
Flyttillsats	Flyttillsats V	Cemeta

##### 3.1.4 Färgtillsats

Vid gjutning av monoliter färgsattes de olika blandarsatserna, med avsikt att satsernas läge i monoliten skulle kunna lokaliseras. Följande färger användes:

<u>Kulör</u>	<u>Fabriksbeteckning</u>	<u>Leverantör</u>
Röd	Levanox Rot 130 A	Bayer
	Oxidrött 82	Held och Schyberg
Gul	Levanox Gelb 1420 A	Bayer
	Oxidgult 50	Held och Schyberg
Svart	Oxidsvart 124	Held och Schyberg
		Schyberg

### 3.2 Betongtyper

#### 3.2.1 Konsistensnivåer och cementhalt

Försök avseende betongmassas rörlighet har genomförts på tre konsistensnivåer, med sättmått 100-120 mm, 140-160 mm och 180-200 mm. Cementhalten har avsetts vara 350 kg/m<sup>3</sup> i samtliga försök.

Gjutning av monoliter har skett på endast en konsistensnivå, sättmått 140-170 mm. Också här har cementhalten genomgående avsetts vara 350 kg/m<sup>3</sup>.

#### 3.2.2 Ballastsammansättning

I de försök som avsåg bestämning av betongmassas rörlighet ingick ballast med olika gradering och kornform. Graderingen varierades i avseende på mängden material < 0,25 mm, maximal stenstorlek samt partikelsprång (uteslutning av fraktionen 8-16 mm). Se TAB 4.1 samt FIG 3.2A - 2D där använda graderingar sammanförts gruppvis. Kornformen varierades dels genom två typer fingrus, Underås och Bro, dels genom två typer stenmaterial, krossad singel och ren makadam.

Vid gjutning av monoliter hade alla utom en samma ballastsammansättning, med grus från Underås. I undantaget, monolit 11, ingick fingrus från Bro men ballastsammansättningen var genom ökad mängd finsand så avpassad att graderingen skulle bli lika som i övriga monoliter. I stort sett anslöt graderingarna i monoliterna sig till siktkurva B FIG 3.2 B och TAB 5.1.

### 3.2.3 Tillsatsmedel

Följande doseringar i procent av cementvikten användes i försöken med betongmassas rörlighet respektive vid gjutning av monoliter.

	<u>Rörlighet</u>	<u>Monoliter</u>
Retarder R	0,3, 0,4, 0,8	0,4
Luftporbildande LP	0,04	0,04
Vattenreducerade VR	0,5	0,5
Flyttillsats	1,8	1,8

## 4 BETONGMASSAS RÖRLIGHET

### 4.1 Mätmetod

#### 4.1.1 Utveckling av mätmetod

Hur man skulle gå tillväga för att mäta rörligheten och dennas avtagande med tiden låg till en början i vida fältet. När det gäller mätning av konsistens eller gjutbarhet har som bekant många metoder utvecklats under årens lopp. I allmänhet har grundprincipen varit att på ett eller annat sätt mäta deformationen hos betongmassa som fått formändras antingen genom enbart egen tyngd eller genom en kombination av egen tyngd och någon form av bearbetning, t ex stötar, slag eller vibrering.

Vid valet av metod för mätning av rörlighet och dennas avtagande med tiden avfördes ur diskussionen metoder som bygger på bearbetning, emedan sådan normalt inte förekommer vid gjutning av betong under vatten. Av metoder som bygger på deformation enbart genom egen tyngd var det till slut endast mätning med sättkon och modifikationer av denna som på allvar diskuterades.

Med avsikt att, jämfört med vanligt sättmått, erhålla ett förstärkt utslag, genomfördes försök med koner och rör i olika storlekar.

- 1 Vanliga sättkoner, varvid en serie om 4 st fylldes med betong omedelbart efter dennas blandning och mätning av sättmättet gjordes med en kon i taget med vissa tidsmellanrum.



- 2 Sättkoner som förlängts uppåt med ett rör  $\emptyset$  100 mm och längden 600 mm. Fylldes likaledes i serier om 4 st med mätning av sättmättet sedan rör med innehållande betong tagits bort. Viss förstärkning av utslaget jämfört med vanligt sättmått kunde noteras.
- 3 Förstorad sättkon, höjd 900 mm. Försök gjordes med mätning av sättmått och utbredning sedan konen lyfts till viss i förväg bestämd höjd, 100 mm à 150 mm, i avsikt att erhålla en långsammare deformation. Mätresultaten blev dock osäkra och metoden bedömdes ej ha några fördelar framför det vanliga sättmättet.
- 4 Vertikalt rör  $\emptyset$  150 mm, längd 800 mm. Arrangerades på samma sätt som den förstorade sättkonen. Också här blev resultaten osäkra och svårbedömbara på grund av svårigheten att varje gång på ett likartat sätt fylla i betong, samt att vid mätningen lyfta upp kon eller rör med samma hastighet. Betongen hade också en benägenhet att inte omforma sig och flyta ut ur röret, utan kunde redan efter kort tid bli kvar antingen inne i röret, eller om detta lyftes bort, som en fristående pelare.

Med den utvärdering i fråga om lämplig metod som kunde göras med ledning av försöken, konstaterades att vid mätning av rörlighet betongmassans rörelse och formändring bör ske långsamt och att försök skall omfatta mätningar på samma betongmassa med vissa tidsintervall. Mellan mätningstillfällena skall betongen befinna sig i vila.

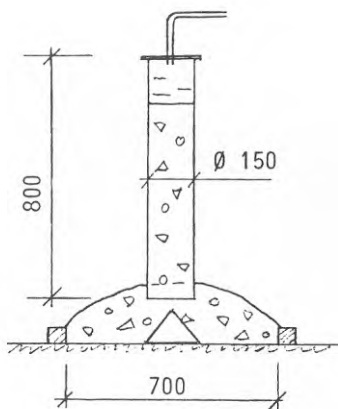
Försök enligt dessa principer gjordes eller övervägdes på följande sätt.

- 5 Betongmassa vars rörlighet skulle undersökas göts i en behållare med en volym av ca 70 liter. I botten hade inlagts fyra tomma gummiblåsor. Genom en slangförbindelse kunde i varje blåsa tryckas in 3 liter vatten utan att gummit töjdes. Erforderligt vattentryck kunde avläsas på manometer. På detta sätt kunde betongens motstånd mot rörelse (formändring) bestämmas vid fyra tillfällena. Det

visade sig emellertid att gummiblåsorna inte utvidgade sig likformigt åt alla håll. Betongens motstånd varierade tydligen varför blåsorna utvidgade sig åt det håll där motståndet var minst, ibland så mycket att de gick sönder. Metoden kunde följaktligen inte accepteras.

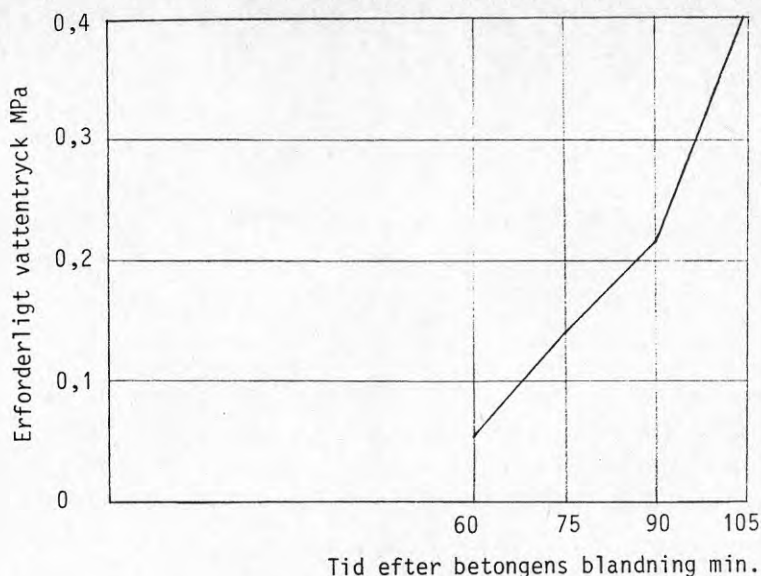
Vid försöken kunde dock genom kraftig sprickbildning i betongytan konstateras att betongen redan efter en timme förlorat större delen av sin egenskap som vätska.

6. En variant som bestod i att en speciellt utformad flytkropp dras genom betongmassan varvid erforderlig kraft mätes, diskuterades. Försök gjordes dock inte emedan metoden bedömdes som alltför osäker att använda och utvärdera.
7. Vertikalrör uppmonterat enligt följande figur.



I röret fylldes betong, som fick flyta ut över botten. Ifyllningen pågick tills röret var fullt, då lock med tilloppsledning för vatten påsattes. Vid varje mätningstillfälle trycktes under 90 sek 3 liter vatten in, varvid erforderligt vattentryck avlästes på manometer. Första mätningen gjordes då betongen var en timme gammal och följande mätningar med 15 min intervall. Mellan mätningstillfällena var vattentrycket borttaget.

Exempel på försöksresultat visas i nedanstående diagram.



Metoden som sådan bedömdes som godtagbar. Vissa icke önskvärda fenomen uppträdde emellertid. Trots den lösa konsistensen, sättmått ca 150 mm betedde betongmassan sig inte som en vätska. I betongytan runt röret bildades radiella och andra sprickor, som förstörades vid varje mätningstillfälle. Det var sålunda inte en sammanhängande betongyta som erhöles, vilket skulle varit önskvärt. Vidare uppträdde vattensamlingar runt röret på grund av separation och utpressat porvatten.

Efter ytterligare försök och överväganden bedömdes att nämnda fenomen borde göra sig mindre gällande om betongytan vore belägen under vatten och då på sådant djup att vattentrycket mellan mätningstillfällena höll balans med betongtrycket inne i röret.

Med denna princip som utgångspunkt skisserades och anskaffades den apparatur med vilken försöken sedan genomfördes. Avsnitt 4.12 och FIG 4.2. Med apparaten kan betongmassas rörlighet på olika vattendup bestämmas om ett motsvarande inre övertryck appliceras.

#### 4.1.2 Apparatur och mätningförfarande

Den enligt föregående avsnitt utvecklade mätapparaturen består dels av ett arrangemang med kolv för intryckning av en bestämd volym vatten och manometrar för samtidig avläsning av erforderligt vattentryck, FIG 4.1, dels av en behållare med anslutande rör för betong, FIG 4.2. Då det på behållarens lock befintliga vattenståndsroret blir fyllt med vatten (inträffar vid första mätningstillfället) motsvarar det ett vattendjup av ca 2,0 m.

Omedelbart efter blandning fylls betong först i röret och sedan i behållaren, under omsorgsfull bearbetning, allt till den nivå som i FIG 4.2 är markerad för betongen i behållaren. Behållaren fylls med vatten, varefter locket läggs på och utrymmet under detta också fylls med vatten. Vattenståndsroret sätts sedan på locket, varpå röret för betong kan fyllas helt också om betongens konsistens är mycket lös. Vatten stiger nämligen automatiskt upp i vattenståndsroret och håller balansen med betongen i röret. För att betongen ej skall separera och för att ifyllningen skall bli lika från gång till gång, används härvid en speciellt utformad behållare, volym 4 l, med botten tömning. Sedan röret fyllts, sätts locket på och anslutes tillloppsledningen för vatten. Ifyllningsproceduren var i allmänhet avslutad 45 min efter betongens blandning.

Mätning görs första gången 60 min efter betongens blandning, och sedan 4 gånger med 20 min intervall. Vid varje mätning trycks under 90 sek med konstant hastighet 3 liter vatten in. Härvid pressas betongmassan nedåt ca 150 mm i röret och ut i behållaren där den omformas. Motsvarande mängd vatten rinner ut genom ståndsroret. Erforderligt vattentryck avläses var 15 sekund. Mellan mätningarna är vattentrycket nollställt. Avlästa värden på vattentrycket förs in i diagram enligt FIG 4.3.

#### 4.1.3 Definition av rörlighetsvärde

Medeltalet av avläsningarna vid varje mätning insättes i diagram enligt FIG 4.4.

Rörligheten definieras som den i diagrammet streckade ytan, vars storlek varierar med erforderligt vattentryck. Värdet på i exemplet vald betongblandning, försök nr 12, blir med

denna definition 11.6. Definitionen är ett uttryck på betongmassans rörlighet under tidsintervallet 60-140 min (ca 1-2,5 tim) efter blandning, vilket intervall ofta är aktuellt vid undervattensgjutning.

## 4.2 Genomfört program

### 4.2.1 Försöksuppläggning

Avsikten med det genomförda programmet har, som angetts i avsnitt 2.2.3, varit att sinsemellan jämföra olika betongtypers lämplighet för gjutning under vatten. Ovan beskrivna metod bedömdes som tillförlitlig vid bestämning av rörlighet och dennas avtagande med tiden. För att få en jämförelse med vedertagna mätmetoder, har vid försöken även sättmättet bestämts samt i vissa fall också vattenseparation och penetrationsmotstånd.

Sättmättet bestämdes dels omedelbart efter blandning, dels vid fyra senare tidpunkter, som sammanföll med mätningarna av rörligheten. Samtliga koner fylldes samtidigt efter blandning och fick sedan stå orörda tills de togs vid respektive tidpunkter. För att förhindra vattenläckage var konerna fastspända med bultar mot en tät bottenplatta.

Vattenseparationen enligt B5 6:33 och penetration enligt B5 6:35 bestämdes på större delen av försöksblandningarna. Av tidsmässiga skäl var det inte möjligt att göra sådana mätningar vid varje försök. Penetrationsmotståndet bestämdes för blandningar där denna egenskap bedömdes vara av speciellt intresse, t ex för jämförelse mellan blandningar med och utan tillsatsmedel.

### 4.2.2 Försöksprogram

Som nämnts genomfördes 35 försök, inklusive upprepningar, varav de fem första betecknas som förberedande. Försöksprogrammet anges i TAB 4.1 i kronologisk ordning. Mätresultat och utvärdering anges i avsnitt 4.3, FIG 4.5-4.12 samt TAB 4.2.

### 4.2.3 Förberedande försök

De fem första försöken får ses som en slutlig test av apparaten. För dessa försök valdes en som det bedömdes ordinär betongsammansättning utan retarder. Rörlighet och sättmätt anges i FIG 4.5.

Vid försök nr 1 gjordes första mätningen efter 70 min i stället för senare efter 60 min. Flyttas denna kurva 10 min åt vänster i figuren bildar den tillsammans med nr 3, 4 och 5 en grupp med liten spridning. Försök nr 2 faller något utanför bilden ifråga om både rörlighet och sättmått, varför orsaken bedöms vara en avvikande betong.

#### 4.3 Mätresultat. Rörlighet och konsistens

##### 4.3.1 Gruppvis indelning av försöken

Försöksresultaten har sammanförts i grupper avseende följande faktorer

konsistensnivå  
tillsatsmedel  
cementfabrikat  
grus och stentyper  
mängd material < 0,25 mm hos sammansatt ballast  
temperatur  
flyttillsats, färgtillsats.

Mätresultat och rörlighetsvärde för varje grupp anges i FIG 4.6-12.

##### 4.3.2 Olika konsistensnivåer, med och utan retarder

Tre konsistensnivåer, 100-120 mm, 140-160 mm och 180-200 mm har undersökts, med och utan retarder. FIG 4.6 och TAB 4.2.

Konsistensnivå	Rörlighetsvärde	
	Utan R	Med R
100 - 120 mm	5,6	10,8
140 - 160 "	8,5	11,6
180 - 200 "	9,5	13,5

Som väntat har rörligheten ökat med konsistensen (sättmättet). Inverkan har varit större för betong utan retarder än för betong med retarder. För betong utan retarder har rörligheten ökat påtagligt då konsistensen ändrats från 100-120 till 140-160 mm och mindre påtagligt vid ytterligare ändring till 180-200. För betong med konsistensen 180-200 mm utan retarder har rörligheten varit sämre än för betong med konsistensen 100-120 mm med retarder.



Sättnmättets ändring med tiden följer med ett undantag, försök 11, rörlighetens ändring. Betong utan retarder har lägre slutligt sättnmätt än betong med retarder.

#### 4.3.3 Olika tillsatsmedel

Förutom retarder, med tre doseringar, 0,3, 0,4 och 0,8 %, har luftporbildande medel ingått, dels enbart, dels i kombination med retarder, samt vidare vattenreducerande medel, FIG 4.7 och TAB 4.2. Doseringar anges i avsnitt 3.2.3. Också flyttillsats har provats vilket redovisas i avsnitt 4.3.8.

Med enbart retarder har rörligheten ökat med doserad mängd. Normaldoseringen vid försöken har varit 0,4 %, som, jämfört med betong utan retarder, här ökat rörligheten från 8,5 till 11,6. Med dubbla doseringen, 0,8 %, har rörligheten ökat ytterligare till 13,0.

Med retarder, 0,4 % i kombination med luftporbildande medel,  $L = 4,5$  %, har rörligheten 13,1 erhållits. Med enbart luftporbildande medel,  $L = 4,3$  %, blev rörlighetsvärdet 10,4. Med vattenreducerande medel, 0,5 %, med en retarderande inverkan av samma storlek som 0,4 % retarder, blev rörlighetsvärdet 11,9.

Konsistensen har i denna grupp varit 140-160 mm. Ändock har sålunda i ett par fall utmärkt goda rörlighetsvärden erhållits.

Sättnmättet har också här vid sista mätningen i stort sett rangerat betongtyperna i samma ordning som rörligheten. Försök nr 20 och 30 har dock ett annat förlopp, med en i början stor ändring, som sedan långsamt avtar. Slutligt sättnmätt är relativt högt, 60 mm, vilket stämmer med de båda betongtypernas goda rörlighetsvärden.

#### 4.3.4 Olika cementfabrikat

Skövde cement jämföres med Slite cement, som genomgående använts i undersökningen. Mätresultat anges i FIG 4.9 och TAB 4.2.

Skillnaden mellan fabrikaten framgår av följande uppställning.

Konsistens	Rörlighetsvärde	
	Utan R	Med R
Slite 100-120 mm	-	10,8
" 140-160	8,5	11,6
" 180-200	-	13,5
Skövde 100-120	-	4,2
" 140-160	4,5	8,5
" 180-200	-	9,3

Med Slite cement erhålles, både med och utan retarder, bättre rörlighet än med Skövde cement.

Sättnmättet visar liknande tendens cementfabrikaten emellan. Ifråga om försöken 22 och 24 har dock, jämfört med rörlighetsmätningen, motsatt resultat erhållits.

#### 4.3.5 Olika grus och stentyper

Ballastfraktioner anges i avsnitt 3.1.2 och FIG 3.1A - 1B, sammansatta ballastkurvor i avsnitt 3.2.2, FIG 3.2A - 2D.

Mätresultat anges i FIG 4.8 och TAB 4.2. Stentyperna, halv-kross och makadam, samt partikelsprång, med utelämnande av fraktionen 8-16 mm, är i stort sett likvärdiga. En minskning av max stenstorlek till 16 mm har gett något ökad rörlighet.

Fingrus från Bro, kompletterat med finsand, så att en god gradering erhållits, har med retarder gett något lägre rörlighetsvärde än fingrus från Underås, 11,2 respektive 11,6. Utan retarder däremot är motsvarande rörlighetsvärden 3,8 och 8,5, således en stor skillnad trots lika gradering, ballastkurva H respektive B. Trolig orsak kan vara att fingruset från Bro, förutom grov gradering, (som avhjälpes med finsand) också har olämlig kornform.

Sättnmättet visar samma tendens som rörlighetsmätningen med undantag för försök nr 15 och 13, som helt faller ur bilden. Också vattenseparationen har vid dessa två försök varit stor, i synnerhet vid försök nr 15, FIG 4.16.

#### 4.3.6 Olika mängd material < 0,25 mm i sammansatt ballast

Fingrus från Bro och Underås, kombinerade med olika mängd finsand jämföres. Mätresultat anges i FIG 4.10 och TAB 4.2.



	Siktkurva	Rörlighet		
		< 0,25 mm	Utan R	Med R
Bro	G	5,7 %	-	8,5
Bro	H	10,5	3,8	11,2
Underås	B	10,1	8,5	11,6
Underås	C	12,1	-	13,1

Med fingrus från Bro, kompletterad med finsand till siktkurva G, har betong med retarder erhållit lågt rörlighetsvärde, 8,5. Med samma fingrus, kompletterat med mera finsand, siktkurva H, har rörlighetsvärdet för betong med retarder ökat till 11,2.

Motsvarande betong utan retarder har ett mycket lågt rörlighetsvärde, 3,8. Mängden material < 0,25 mm bedöms ha väsentlig betydelse för rörligheten och bör helst ej understiga 10 %.

Sättningsmättet visar för tre av försöken samma ordning som rörlighetsmätningen. Försök nr 13 avviker även här.

#### 4.3.7 Olika betongtemperaturer

Två betongtemperaturer, 9 °C och 20 °C, med och utan retarder jämföres. Mätresultat anges i FIG 4.11 och TAB 4.2.

Som väntat har den lägre temperaturen gett bättre rörlighet än den högre, både med och utan retarder.

	Rörlighet	
	Utan R	Med R
20 °C	8,5	11,6
9 °C	12,6	13,5

Sättningsmättet kan i stort sett sägas följa rörlighetsmätningen.

#### 4.3.8 Flyttillsats, färgtillsats

Flyttillsats med och utan retarder jämföres. Vid gjutning av monoliter har färg i flytande form och som pulver tillsatts betongen. Färgens inverkan på rörligheten har undersökts i försök nr 32 och 33. Mätresultat anges i FIG 4.12 och för flyttillsats även i TAB 4.2.

	Rörlighet	
	Utan R	Med R
Utan flyttillsats	8,5	11,6
Med flyttillsats	9,2	13,2

Betong med flyttillsats, men utan retarder, är endast obetydligt bättre än samma betong utan flyttillsats. Retarder i kombination med flyttillsats har däremot gett en utmärkt god rörlighet. Färgtillsats har något ökat rörligheten.

Sättningsmättet överensstämmer med rörlighetsmätningen endast ifråga om försök nr 8 och 26.

#### 4.4 Mätresultat. Vattenseparation och penetrationsmotstånd

##### 4.4.1 Vattenseparation

Bestämning av vattenseparation har skett enligt B5 kap 6:33.

Försöksresultaten har sammanförts i grupper avseende följande faktorer

konsistensnivå  
tillsatsmedel  
cementfabrikat  
grus och stentyper

Mätresultat anges i FIG 4.13-16.

Ifråga om konsistensnivåer följer hos betong med retarder vattenseparationen i stort sett konsistensen. Detta innebär här att mot stor separation svarar god rörlighet.

Olika tillsatsmedel har gett påtagligt olika vattenseparation. Minsta separationen har erhållits med vattenreducerande tillsatsmedel samt med flyttillsats såväl utan som med retarder. Med sist nämnda betong har utmärkt god rörlighet erhållits. I övrigt har tendensen här varit att snabb och stor separation inneburit låg rörlighet.

Med Slite cement har vattenseparationen varit något större än med Skövde cement medan rörligheten varit påtagligt större.

Ifråga om olika grus- och stentyper har liten mängd material,  $5,7\% < 0,25\text{ mm}$ , med grus från Bro, inneburit stor vattenseparation och låg rörlighet. Helt ur bilden faller försök nr 15 som fått extremt stor separation och låg rörlighet, vilket kan tyda på att ballastsammansättningen ej är den avsedda. Jämföres försök nr 13 med grus från Bro ( $5,7\% < 0,25\text{ mm}$  av sammansatt ballast), med försök nr 31 med grus från Underås ( $12,1\% < 0,25\text{ mm}$ ) är vattenseparationen ungefär lika stor men rörlighetsvärdena helt olika (8,5 respektive 13,1).

Vattenseparationen ger inte säkert besked om en betongtyps lämplighet för undervattensgjutning. I princip har snabb och stor separation inneburit att rörligheten varit låg, men tendensen är osäker.

#### 4.4.2 Penetrationsmotstånd

Bestämning gjordes enligt B5 kap 6:35. Mätresultaten, som samlats i två grupper, avseende betong med och betong utan retarder, anges i FIG 4.17. För sig anges betong med dubbel dos retarder, 0,8 %, försök nr 30, samt betong med låg temperatur, försök nr 34. Fördröjningen har för betong med retarder 0,4 % varit 1 à 1,5 timmar jämfört med betong utan retarder. Betong med flyttillsats, med och utan retarder, faller också inom respektive grupp. Betong med vattenreducerande medel ingår i gruppen för betong med retarder.

Påtagligt samband mellan penetrationsmotstånd och rörlighet kan inte spåras annat än beträffande inverkan av retarder. Detta är heller inte att vänta emedan penetrationsmotståndet bestäms i ett senare och mindre aktuellt tidskede än rörligheten. I FIG 4.17 har aktuellt område för rörlighetsmätning markerats.

#### 4.5 Synpunkter på försöksresultaten

Avsikten med rörlighetsmätningen har varit att sinsemellan jämföra olika betongtypers lämplighet för undervattensgjutning. För undersökta typer har väsentligt olika rörlighet konstaterats.

Ifråga om konsistens har något bättre rörlighet erhållits med sättmått 180-200 mm än med 140-160 mm. Med sättmått 100-120 mm har rörligheten blivit påtagligt sämre.

Tillsatsmedels inverkan har kunnat mätas under ett tidskede som ej fångas upp vid bestämning av t ex penetrationsmotståndet, men som är ytterst aktuellt vid undervattensgjutning.

Sålunda har kunnat konstateras att retarder inverkar på betongmassans rörlighet också i detta tidiga skede och att dess inverkan är mycket god, större än övriga undersökta faktorer. Doseringen av retarder har i normalfallet varit 0,4 % av cementvikten. Inverkan förstärks om doseringen ökas eller om retarder kombineras med luftporbildande medel eller med flyttillsats. Även vattenreducerande medel ökar rörligheten, vilket också är

fallet med luftporbildande medel enbart om än i mindre grad. Gjorda slutsatser ifråga om tillsatsmedel hänför sig till i undersökningen använda fabrikat.

Ifråga om grustyper kan olika rörlighet erhållas med en och samma gradering. Mängden material  $< 0,25$  mm har stor betydelse och bör utgöra minst 10 % av total ballastmängd. Olika stentyper uppvisar relativt små skillnader.

Sänkning av betongtemperaturen från  $20^{\circ}\text{C}$  till  $9^{\circ}\text{C}$  har ökat rörligheten hos betongmassa, både utan och med retarder.

Vid jämförelse mellan sättmått och rörlighetsmätning som metoder för bestämning av en betongtyps lämplighet för under-vattensgjutning synes ett säkert besked kunna erhållas med rörlighet men inte med sättmått enligt det system med fyra koner som tillämpats vid försöken. Det med sista konen erhållna sättmättet ger dock en viss antydning. Detta bör vara större än 70 mm.

Rörligheten hos undersökta betongtyper har som nämnts varierat inom vida gränser. Med ledning av försöksresultat, samt erfarenheter från gjutningen av monoliter, avsnitt 5, synes följande gradering rimlig:

	Rörlighetsvärde $< 7$	dålig betong
$7 \leq$	"	$< 10$ mindre god betong
$10 \leq$	"	$< 13$ god betong
"	"	$\geq 13$ utmärkt god betong

Bedömningen av vilket rörlighetsvärde som kan behövas får göras med hänsyn till arbetsutförande och konstruktionens art.

I följande tabell anges de betongtyper som erhållit utmärkt god rörlighet. Också sista mätning av sättmått anges.

Högt rörlighetsvärde har erhållits med hög konsistensnivå, 180-200 mm. Med stor mängd material  $< 0,25$  mm, här 12,1 %, har hög rörlighet erhållits också med konsistensnivån 140-160 mm. Med jämförbara rörlighetsvärden är sistnämnda konsistens som medför mindre risk för separation att föredraga.

Betongtyper med utmärkt god rörlighet.

Försök nr	Material < 0,25 mm	Tillsats-medel	Sättnmätt vid blandn.	Rörlig-hetsvärde	Sättnmätt sista konen
31	12,1 %	R	150 mm	13,1	120 mm
11	10,1	R	185	13,5	80
14	8,3	R	185	13,1	120
26	10,3	R + flytt.	100-210	13,2	90
30	8,7	R 0,8 %	145	13,0	65
18	8,1	R + L	150	13,1	80

## 5 UNDERVATTENSGJUTNING AV BETONGMONOLITER

### 5.1 Monoliternas dimensioner

Monoliternas storlek begränsades av lyftförmågan hos på gjutstället befintlig travers till ca 1,2 m<sup>3</sup>. Formen valdes avlång för att en viss flytsträcka för betongmassan från gjutrörets mynning skulle erhållas. Dimensionerna för monoliter gjutna med ett respektive två gjutrör framgår av FIG 5.1 och FIG 5.2. Höjden är angiven som ett medelvärde då släntlutningen från gjutröret varierade.

### 5.2 Armering

#### 5.2.1 Dimension, kvalitet och ingjutningslängd

Dimension och kvalitet valdes till att börja med till  $\emptyset$  16 Ks 40. Vid en statistiskt verksam armering av undervattenskonstruktioner kan grövre dimension komma till användning men skulle här försvårat utdragsprovningsen och medtogs därför inte i försöken.

Ingjutningslängden, dvs den del av armeringsstången som tilläts bli fastgjuten i betongen, valdes i monolit 1 till  $15d = 240$  mm. Med denna längd kunde påvisas en vidhäftningsspänning av ca 7,5 MPa innan järnets sträckgräns uppnåddes. Vidhäftningsspänning en definieras här som utdragskraften dividerad med mantelytan hos den ingjutna stång-



delen ( $P/1 \times T \times d$ ). Det visade sig emellertid att de flesta armeringsstängerna satt betydligt fastare. Sträckgränsen överskreds vid dragningen och något besked om maximalt möjlig vidhäftningsspänning erhöles ej. Ingjutningslängden minskades därför fr o m monolit 2 till 10 d = 160 mm. Fr o m monolit 6 ändrades dessutom stålqualiteten till Ks 60. Härigenom kunde en vidhäftningsspänning av upp till ca 14 MPa påvisas. Även nu uppnåddes i flertalet stänger sträckgränsen utan att de lossnade. Ytterligare minskning av ingjutningslängden ansågs emellertid inte lämplig. Det bedömdes också som fullt tillfredsställande att påvisa att ingjuten armering kunde uppnå en vidhäftningsspänning av 14 MPa (140 kp/cm<sup>2</sup>), dvs utan att varje stängs brottvärde fastställdes.

I huvudparten av monoliterna ingick således armering  $\emptyset$  16 Ks 60 ingjuten på en längd 10 d = 160 mm.

De delar av armeringsstängerna som inte skulle fastgjas i betongen försågs med skyddsror av plast. Rören tätades i ändarna och mot den frilagda delen av stängen så att cementslam inte kunde tränga in och ge upphov till större ingjutningslängd än vad som avsetts.

### 5.2.2 Antal stänger och läge

I monoliter gjutna med ett gjutrör (nr 1-11) ingick 14 st armeringsstänger varav 7 horisontella och 7 vertikala. Läget framgår av FIG 5.3.

I monoliter gjutna med två gjutrör (nr 12-15) ingick 12 st armeringsstänger varav 6 horisontella och 6 vertikala. Läget framgår av FIG 5.4.

Avståndet från underkant armering till botten, dvs täckskiktet, valdes till 130-150 mm. I praktiken utgörs botten vanligen av makadam eller grus varvid stort täckskikt erfordras om järnen med säkerhet skall erhålla god kringgjutning och om armeringen inte i för hög grad skall försvåra betongmassans utflytning längs botten. Täckskikten mot formsidorna valdes till 100 mm. Även här bör betongen vid förflyttning parallellt formsidorna relativt obehindrat kunna passera mellan form och armering.

### 5.3 Form och gjutarrangemang

Formens utförande framgår av Fotografi 5.5. Höjden var 2,0 m. Beträffande övriga mått se avsnitt 5.1, Monolitens dimensioner. Formsidor och -botten utgjordes av plywood som bestrukits med KB-plast vilket gav en slät och tålig yta. Ena långsidan försågs med tre smala fönster av plexiglas med vilka avsikten var att betongens utflytning skulle kunna observeras. Formsidorna monterades med hjälp av travers och med enkla handgrepp.

Gjutrör av plåt med den i praktiken ofta förekommande dimensionen  $\emptyset$  200 mm användes. Rör och gjuttratt var upphängda i en ställning och kunde regleras i höjdlid med lyftblock. Ställningen tjänstgjorde även som arbetsplattform. Se Fotografi FIG 5.5. Betongen transporterades från blandaren till gjutstället med en speciellt konstruerad lave.

Vid vissa gjutningar användes stavvibrator. Denna hade ett svängningstal på 11.600 perioder/min. Den vibrerande delens dimensioner var  $\emptyset$  57 x 440 mm.

Vattendjupet inne i formen var före gjutning ca 1,9 m. Efterhand som formen fylldes med betong fick överskottsvattnet rinna ut genom ett bräddavlopp.

### 5.4 Gjutning

#### 5.4.1 Betongens blandning

Till varje monolit blandades 8 satser à ca 150 l. Konsistens och temperatur mättes på varje sats. Vidare uttogs för varje sats tre betongkuber av vilka två bearbetades på normenligt sätt och en lämnades obearbetad. Under gjutningens gång uttogs två prov på grus och ett på finsand, för bestämning av gradering. Satserna färgades för att senare kunna identifieras i den färdiga monoliten.

#### 5.4.2 Betongens placering i formen

I gjutröret lades en sänkpropp i form av en uppblåst gummiboll. Denna trycktes ned genom gjutröret och ut av den första satsen betong och kunde i allmänhet återvinnas oskadd. Därefter ifylldes betongen i en takt av ca en sats

var 15:e eller var 30:e minut beroende på önskad stighastighet. Själva ifyllningsproceduren för en sats tog ca 1 min.

Vid gjutning med två rör (monolit 12-15) placerades sats 1 och 2 i det ena gjutröret och sats 3 och 4 i det andra. Därefter göts växelvis rören. Tidsintervallet mellan satserna var här 20 min.

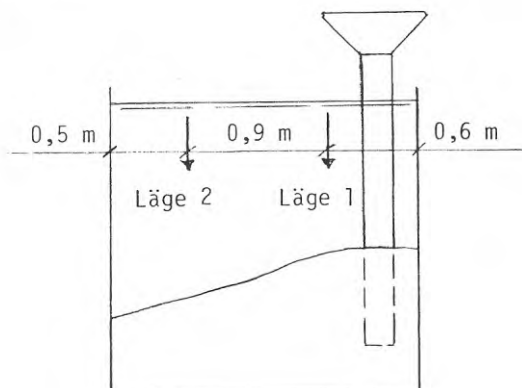
Gjutröret stod från början på botten och höjdes vid behov efterhand som betongnivån steg i formen. Rördjupet under betongytan varierade mellan  $\sim 0,5-1,2$  m för de olika monoliterna.

Fr o m sats 2 pejlades betongytan efter varje sats på fyra ställen.

#### 5.4.3 Vibring

Monolit 2 och 7, (ett gjutrör) samt 14 och 15 (två gjutrör) vibrerades enligt nedanstående schema.

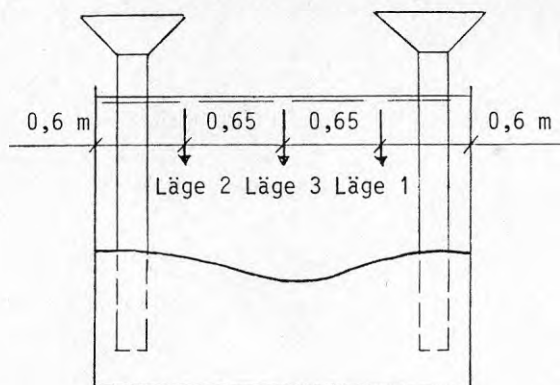
Monolit 2 och 7



Efter sats nr	Vibreringsordning och -tid		
	<u>Läge 1</u>	<u>Läge 2</u>	<u>Läge 1</u>
4	10s	-	-
6	10s	5s	5s
8	10s	5s	5s



## Monolit 14 och 15



Efter sats nr	Vibreringsordning och -tid		
	Läge 1	Läge 2	Läge 3
4	5s	5s	5s
6	5s	5s	-
8	5s	5s	5s

Vibreringen utfördes på följande sätt. Staven sänktes först ned, utan att vara igång, så att den del som vibrerar (440 mm) kom att befinna sig helt i betongen. Staven hölls i detta läge och vibrering utfördes i 10 eller 5 sekunder enligt ovan. Därefter slogs motorn av och staven drogs sakta och med pumpande rörelser upp ur betongen.

Avsikten var således att undvika att den vibrerande delen skulle verka i gränsskiktet mellan betong och vatten och där förorsaka ursköljning.

Vibreringstiden var kortare och avståndet mellan nedstickningen längre än vad som normalt rekommenderas vid gjutning i torrhet. Vibreringen var sålunda försiktig och valdes sådan med hänsyn dels till risken enligt ovan för ursköljning, dels för att avsikten i första hand var att underlätta betongens utflytning så att farligt branta gjutfronter inte byggdes upp. Trots att vibreringen inte var intensiv erhöles ändå en påtaglig utjämnning av betongytan.

#### 5.4.4 Avformning - härdning

Efter 5 dygn tappades formen på vatten och demonterades. Där-  
efter stod monoliten i normal rumstemperatur och -fuktighet  
fram till 28 dygns ålder.

### 5.5 Provningsförfarande

#### 5.5.1 Betong

Ur varje monolit borrades vid ca 14 dygns ålder kärnor,  $\emptyset$  100 mm. Ur monolit 1-11 (ett gjutrör) uttogs tre och ur monolit 12-15 (två gjutrör) fem kärnor. Varje borrhärna uppdelades sedan genom sågning och slipning i flera provkroppar med höjden 100 mm, väl fördelade utefter monolitens höjd. Omfattning av läge för provkropparna framgår i redovisningen av provningsresultat, avsnitt 5.8.2. Samtliga kärnor är tagna mittemellan monoliternas långsidor. Kärnor och sedermera provkroppar förvarades i luft fram till provningen. Tryckhållfasthet och densitet bestämdes vid 28 dygns ålder.

Monolit 4 provades även med avseende på vattentäthet genom fyra stycken utborrade kärnor,  $\emptyset$  150 mm, två från ena långsidan och två underifrån. Läge framgår av avsnitt 5.8.5. Provningen utfördes av Statens Provningsanstalt enligt Statliga betongbestämmelser (B5) 1973 kapitel 6:43, dock med den modifieringen att vattentrycket som anbringades mot ena ändytan fick verka över en cirkulär yta med diametern 100 mm. Provkropparnas längd var 125 mm.

På monoliter gjutna med två rör utfördes kontroll av betongkvaliteten i zonen mellan gjutrören också med kombinerad NDT-mätning, Bellander (1977). Avsnitt 5.8.3.

#### 5.5.2 Vidhäftning armering-betong

Vidhäftningen provades genom utdragsprov vid 28 dygns ålder. Dragkraften åstadkoms med en hydraulisk domkraft som trädde över den utstickande gängade delen av armeringsstången. På monoliternas släta sidor kunde mothåll via en stålplatta erhållas utan extra åtgärd. För de stående järnen gjordes en pågjutning, vari stålplattorna centrerades kring stången.

Domkraften drevs med en handpump på vilken var monterad en noggrann manometer för mätning av oljetrycket och därigenom

dragkraften. Stångens förlängning vid pålastning mättes med mätklocka. Mätsträckan var stångens fria längd, dvs från ingjutningsstället till domkraftens bakkant. Kraften pålades i steg om 2 MPa (20 kp/cm<sup>2</sup>) vilket med aktuell kolvarea motsvarade 8,6 KN dvs en medelvidhäftningspåkänning =

$$= 8,6 \times 10^{-3} / \pi \times 0,016 \times 0,16 = 1,07 \text{ MPa (10,7 kp/cm}^2\text{)}.$$

Tidsintervallet mellan varje steg var 30 sek. Sedan stången dragits loss eller dess sträckgräns uppnåtts avbröts provningen. För några stänger, vilka inte lossnade, gjordes en stegvis avlastning och förnyad pålastning samtidigt som deformationen mättes.

## 5.6 Genomfört program

### 5.6.1 Betongtyper och utförande

Kronologisk förteckning över tillverkade monoliter finns i TAB 5.1. Undersökta varianter ifråga om ballast, tillsatsmedel, stighastighet, vibrering och gjutuppehåll anges. Rörlighetsvärde för i varje monolit ingående betongtyp har beräknats med ledning av motsvarande typer i avsnitt 4. I FIG 5.6 och 5.7 har monoliterna grupperats på sådant sätt att inbördes jämförelser underlättas. I monolit 5 användes färg från en felaktig leverans, vilken förorsakade hög lufthalt i betongen. Monoliten provades därför ej utan göts om. Vid gjutning av monolit 10 gjordes ett avsiktligt gjutuppehåll på 1 timme mellan sats 4 och 5. Uppehållet blev således 30 + 60 = 90 min mellan dessa satser. Vid gjutning av monolit 12 erhöles ett ofrivilligt avbrott på grund av krångel med blandaren. Avbrottet, 50 min långt, inträffade mellan satserna 5 och 6 och uppehållet mellan dessa blev då 50 + 20 = 70 minuter.

### 5.6.2 Sammanställning av satsernas färg

Som tidigare nämnts färgades de i monoliterna ingående betongsatserna. Följande uppställning som för varje monolit anger de olika satsernas färg, kan användas som ledning vid lokalisering av satserna på fotografierna 5.21-34.

## Färgtillsatser

0 = ofärgad

R = röd

G = gul

S = svart

## Monolit

## Sats nr

nr	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	R	G	0	R	G	0	-
2-4	0	R	G	0	R	G	0	R
6	0	R	G	0	R	G	0	S
7	0	R	G	S	0	R	G	S
8	R	0	G	S	0	R	G	S
9-11	0	R	G	S	0	R	G	S
12-15	0 <sup>v</sup>	R <sup>v</sup>	G <sup>h</sup>	S <sup>h</sup>	0 <sup>v</sup>	R <sup>h</sup>	G <sup>v</sup>	S <sup>h</sup>

v = vänster gjutrör

h = höger gjutrör

5.7 Iakttagelser under gjutning

## 5.7.1 Släntlutning, slambildning, rördjup

Formen var på ena sidan försedd med tre fönster av plexiglas genom vilka betongens strömning kunde iakttagas. Synfältet begränsades dock till området omedelbart intill fönstret p g a den grumling av vattnet som erhöles så snart gjutningen påbörjades.

Genom pejling följdes betongytans läge sats för sats. Pejlingsresultatet för de olika monoliterna finns uppritat i FIG 5.8-20. Det bör observeras att figurerna endast anger betongytans läge efter en viss sats och inte var respektive sats lokaliserats. Här har också för de flesta monoliterna gjutrörets nedsticksdjup markerats.

När en sats färsk betong pressas ur gjutrörets mynning kommer den att röra sig i den riktning där motståndet är minst. Om man utgår ifrån en horisontell betongyta rör sig betongen uppåt utanför röret och bygger kring detta upp en kulle vars släntlutningar beror på den omgivande betongens rörlighet. De olika monoliternas släntlutningar är redovisade i TAB 5.2. Lokalt kunde ännu brantare lutning erhållas. Genom fönstren kunde praktiskt taget lodräta 100-250 mm höga gjutfronter

iakttagas vid betongtyper med lågt rörlighetsvärde. I sådana fall inträffade till slut ras och betongen rullade utför med ursköljning som följd. För att förhindra detta är det således väsentligt att släntlutningen hålles flack dvs att man arbetar med en lättrörlig betong.

Släntens lutning påverkades i vårt fall naturligtvis av formens små dimensioner och inlagd armering. Med jämförbara betongtyper kan man i praktiken räkna med en flackare lutning. Intressant är emellertid en inbördes jämförelse mellan monoliterna. Retarder har gynnsam effekt på släntlutningen, likaså vibrering. Kombinationen vibrering + retarder har givit en helt horisontell yta. En väsentlig skillnad mellan retarderns och vibreringens gynnsamma verkan på släntlutningen är att retarder verkar kontinuerligt medan vibrering verkar punktvis (i både tid och rum). Mellan vibreringstillfällena hann således relativt branta slänter byggas upp. FIG 5.8 och 5.12. Av övriga tillsatsmedel gav flyttillsats + retarder en mycket flack slänt medan luft + retarder (något grövre gradering) gett större släntlutning. Ökning av stighastigheten från 0,3 m/h till 0,6 m/h monolit 4 och 6 tycks inte nämnvärt ha påverkat släntlutningen. I monolit 11, med annat grus, har en mycket brant och hög slänt byggts upp, där t o m ett regelrätt skred förefaller ha inträffat, se fotografi FIG 5.30.

Väsentligt i detta sammanhang är gjutrörets djup i betongmassan. I svårrörlig betong och betong vars rörlighet snabbt avtar med tiden måste röret i allmänhet hållas relativt högt i betongen enär det annars blir stopp i röret. Härvid strömmar betongen ut och upp utefter röret och lägger sig ovanpå den befintliga. Med lättrörlig betong kan gjutröret hållas djup (> 1 m). Den utströmmande betongen pressar kringliggande betong åt sidan med följd att släntlutningen blir flackare och risken för ras och ursköljning mindre.

Av TAB 5.2 framgår vidare en uppskattning av den mängd slam, dvs cement och mycket fina partiklar, som vid gjutningen rörts upp i vattnet och sedan sedimenterat på monolitens lågparti. Man ser tydligt sambandet stor släntlutning - stor slammängd, vilket bekräftar den iakttagna ursköljningen vid branta slänter.



### 5.7.2 Satsernas slutliga läge - färgfotografier

I FIG 5.21-34 finns fotografier av samtliga monoliter. Satsernas färger finns redovisade i asnitt 5.6.2. Fotografierna ger en bild av rörelsemönstret i ett snitt lagt radiellt ut från gjutröret. Generellt kan följande sägas. Den första satsen förskjutes efterhand något bort från röret utefter botten. De andra satserna kommer i huvudsak att lägga sig i skikt över varandra. Armeringen har utgjort ett hinder för betongen. Gränserna mellan satserna har ibland varit mycket skarpa, se monolit 8 och 12. I vissa fall har satserna blandats. I FIG 5.35 och FIG 5.36 har för monoliter gjutna med ett respektive två gjutrör markerats med siffror var de olika satserna generellt blivit lokaliserade. Den sista satsen, nummer 8, syns ibland inte på fotografierna eftersom den ligger inne i monoliten, intill gjutröret.

## 5.8 Provningsresultat

### 5.8.1 Normenliga kuber

Tryckhållfastheten vid 28 dygn för de normenliga kuberna är redovisad för varje sats i TAB 5.3. Varje värde är medeltal av två kuber.

I TAB 5.4 är medelvärdet för varje hel monolit angivet. Betongens hållfasthetsklass är i medeltal K40 enligt normkuberna.

TAB 5.5 ger tryckhållfastheten för kuber uppdelade efter färg. Variationen färgerna emellan är liten.

I den inbördes jämförelsen mellan monoliterna i avsnitt 5.8.2 har hänsyn tagits till den variation i hållfasthet som normkuberna ger uttryck för.

TAB 5.6 ger en redovisning av tryckhållfastheten hos den tredje, icke bearbetade kuben från varje sats. För varje monolit anges ett värde som är medeltalet av 8 kuber (8 satsar). Det är svårt att avgöra i vilken grad betongen i den tredje kuben i varje serie verkligen förblev obearbetad. Viss bearbetning kan ha åstadkommit vid betongens ifyllning och avstrykning samt vid transporten till förvaringsstället. Det kunde heller inte undvikas att detta arbete utfördes av olika personer. Säkra slutsatser av varia-

tionen i förhållandet mellan ej bearbetade och bearbetade kuber bör därför inte dragas. Konstateras kan dock att bearbetning vid så höga konsistensnivåer som det här är fråga om, 140-170 mm sättningsmått, inte ger något stort hållfasthetstillskott. Vid undervattensgjutning kan dock som senare skall visas, bearbetning medföra andra fördelar.

#### 5.8.2 Ur monoliter utborrade provkroppar

I FIG 5.37-50 är varje enskild provkropp tryckhållfasthet redovisad i sitt läge i monoliten. Medelvärden för provkroppar ur samma borrhärna anges. Dessa medelvärden återfinns även i TAB 5.7-8 där vidare medelvärdet för hela monoliten anges. Dessutom finns redovisat medelkubhållfastheten för varje monolit och förhållandet hållfasthet i konstruktion till kubhållfasthet.

Hållfasthetens variation i monolitens längdled framgår vid en jämförelse av medelvärdena hos borrhärnor A, B och C (ett gjutrör) respektive A, B, C, D och E (två gjutrör) TAB 5.7-8. Inom ett måttligt avstånd från gjutröret, ca 0,8 m i dessa försök, sker ingen försämring av hållfastheten. Med växande avstånd från röret har i vissa monoliter emellertid betongen blivit något sämre, kärna C ca 1,4 m från gjutröret. Lokalt har lägre hållfasthet erhållits.

I den zon där, vid gjutning med två rör, gjutfronterna möts och pressas mot och i varandra har en tydlig försämring av betongen erhållits. Denna zon är alltid en lågpunkt på betongytan varför här sannolikt slam samlas och bäddas in.

Hållfasthetens variation i verktikalled är inte entydig. Betongen har ofta en "omvänd" profil dvs den bästa hållfastheten erhålles upptill. Härvid bortses från det översta ca 50 mm tjocka ojämna skiktet där prover ej uttagits men som okulärt bedömt var dåligt.

Vid jämförelse monoliterna emellan visar medelvärdena på hållfastheten liksom förhållandet konstruktion/kub, inga dramatiska svängningar, möjligen med undantag av monolit 11. Betongen i denna hade rörlighetsvärdet ca 4,0 definierat enligt avsnitt 4.1.3, medan i övriga monoliter värdet varierade mellan 8,5 och 13.



Medelvärden ger emellertid inte ett helt tillförlitligt utslag på om en undervattensbetong är fullgod eller inte eftersom svagheter kan uppträda lokalt. Rangordnas därför monoliterna gjutna med ett gjutrör efter lägsta hållfastheten hos utborrade provkroppar erhålles följande tabell.

Monolit		Lägsta cyl.hållf.
<u>Nr</u>	<u>Utförande</u>	<u>MPa</u>
3	Retarder	34,7
7	Vibrering + retarder	32,7
10	Avbrott - retarder	32,2
8	Flyttillsats + retarder	31,8
6	Hög stighastighet + retarder	30,0
9	Lufttillsats + retarder	28,0
4	Hög stighastighet	27,3
2	Vibrering	26,6
1	-	26,2
11	Grovt grus	0

Efter korrektion för varierande utgångshållfasthet enligt normkuberna erhålles

Monolit		Lägsta cyl.hållf
<u>nr</u>	<u>Utförande</u>	<u>MPa</u>
3	Retarder	33,8
7	Vibrering + retarder	32,5
10	Avbrott - retarder	31,3
9	Lufttillsats + retarder	30,9
6	Hög stighastighet + retarder	30,1
8	Flyttillsats + retarder	28,9
4	Hög stighastighet	28,8
1	-	27,4
2	Vibrering	25,5
11	Grovt grus	0

Den största skillnaden med tabellen utan hänsyn till normkuberna är att monolit 8 och 9 har bytt plats.

Den korrigerade tabellen ger ett mer renodlat uttryck för hur själva gjutningsförloppet och betongens rörlighet har påverkat kvaliteten. Man bör dock inte bortse från att flyttillsats+retarder ger möjlighet att utgå från en hög-

re hållfasthetsnivå vid blandningen (lägre vct) liksom att luft+retarder ger en något lägre utgångshållfasthet.

Ett annat mått på jämnheten och kvaliteten på gjutningen är variationskoefficienterna. Rangordnas monoliterna efter dessa erhålles:

Monolit		Variationskoeff
nr	Utförande	%
3	Retarder	4,3
9	Lufttillsats + retarder	5,9
7	Vibrering + retarder	6,3
10	Avbrott - retarder	7,2
4	Hög stighastighet	7,5
8	Flyttillsats + retarder	8,2
6	Hög stighastighet + retarder	8,7
1	-	11,1
2	Vibrering	12,3
11	Grovt grus	27,6

Av tabellerna framgår framförallt retarders mycket gynnsamma inverkan, vilken sammanhänger med dess effekt på betongmassans rörlighet. Retarder höjer rörlighetsvärdet påtagligt (jmf avsnitt 4).

Vid rangordning av monoliterna 12-15, gjutna med två rör, efter såväl lägsta hållfasthet som efter variationskoefficient placerar sig de två med retarder i toppen och den helt obehandlade i botten, dvs enligt mönstret för övriga monoliter.

Retarder i kombination med flyttillsats eller retarder i kombination med lufttillsats har givit något sämre hållfasthet än enbart retarder. Motsvarande rörlighetsvärden definierade enligt avsnitt 4.1.3 är ca 13, 13, 12 dvs ungefär lika. Retarder + flyttillsats har dock haft gynnsam inverkan på ingjuten armerings vidhäftning. Avsnitt 5.8.4.

Vibrering ger i medeltal något starkare betong, TAB 5.7-8, men förbättrar knappast försvagade partier. Det bör dock observeras att vibreringen utförd enligt kap 5.4.3 inte i något fall haft skadlig inverkan. Vibrering bör kunna vara

ett hjälpmedel vid undervattensgjutning för att få bättre utrinning, framför allt vid armerade konstruktioner.

Hög stighastighet, 0,6 m/h, har varit gynnsam för betong utan retarder (monolit 1 jämföres med 1) och ogynnsam för betong med retarder (monolit 6 jämföres med 3). Huruvida det senare resultatet skulle stå sig vid ett reproducerat försök är osäkert. Det är emellertid inte uteslutet att det kan finnas en optimal stighastighet beroende på betongens rörlighet. Denna bör i så fall också påverkas av en mängd andra faktorer som avstånd mellan gjutrör, armeringstäthet m m. Även vid den höga stighastigheten gäller dock att betong med retarder ger ett gynnsammare resultat än betong utan. (Monolit 4 jämföres med 1.) Jmf även avsnitt 5.8.4.

I monolit 10 med gjutavbrott användes samma betong som i monolit 3. Av TAB 5.7 framgår att detta avbrott i betong med retarder medförde något sämre hållfasthet och jämnhet än vad som erhöles för monolit 3 som göts utan avbrott. Monolit 10, med avbrott och retarder, är dock fortfarande bättre än monolit 1, utan avbrott och utan retarder. För monolit 12, med ofrivilligt avbrott saknas identiskt referensobjekt utan avbrott.

Monolit 11, utan retarder och med grovt grus har genomgående visat sämst resultat. Vid borring av kärna C påträffades skikt helt utan hållfasthet, bestående endast av grus och sten. Detta är markerat med 0 i FIG 5.46. Monolit 11 får därför hänföras till kategorien misslyckade undervattensgjutningar. Detta trots att ballastkurvan genom tillskott av finmaterial bringats att nära ansluta sig till kurvorna för övriga monoliter. Sättnmättet har inte heller varit lågt, 16,7 i medeltal, för de 8 satserna. Det går alltså inte att utifrån dessa kriterier påvisa att betongen är olämplig för undervattensgjutning. Bestämningen av betongens rörlighetsvärde enligt avsnitt 4 ger emellertid klart besked om att betongen inte är lämplig. Rörlighetsvärdet var mycket lågt, ca 4. Om trolig orsak till detta se avsnitt 4.3.5.

Med ledning av betongens färg kunde gränserna mellan olika blandarsatser lokaliseras. Vid hållfasthetsprovingen av

varje enskild cylinder antecknades betongens färg. I vissa cylindrar ingick betong från flera satser. Jämföres hållfastheten för cylindrar av en viss färg med medeltalet för alla cylindrar ( $C_{medel}$ ) erhålles för monoliterna 1-10:

<u>Färg</u>	<u>Antal prov</u>	<u>Hållfasthet</u>
Ofärgad	8	1,033· x $C_{medel}$
Röd	25	1,030 x $C_{medel}$
Gul	18	0,941 x $C_{medel}$
Svart	20	1,030 x $C_{medel}$
Flera färger	76	0,966 x $C_{medel}$

Den gula färgen har haft en något försvagande inverkan, jmf TAB 5.5. Även cylindrar med flera färger ligger under medeltalet, men endast obetydligt. Gult ingår i flertalet av dessa. Flerfärgad till enfärgad förhåller sig som 0,958:1. Någon påtaglig försvagning i gränsskikten mellan de olika satserna har alltså inte erhållits. En sådan skulle ha orsakat ännu lägre värden för cylindrar med flera färger. Såväl horisontella som vertikala gränsskikt uppträdde i provkropparna. Tidsintervallet mellan satserna var i allmänhet 30 min. 15 cylindrar innehöll betong av mer än två färger.

Densiteten bestämdes för varje cylinder i samband med hållfasthetsprovningen. Medelvärde för varje monolit redovisas i TAB 5.9. I monoliterna 12-15 har ett relativt stort antal cylindrar tagits ur mittzonen. Därav de låga densiteterna jämfört med monoliterna 1-11. I monolit 9 tillsattes luftporbildande medel.

### 5.8.3 Kontroll av betongkvaliteten med icke förstörande provning

Vid gjutning av monoliter med två gjutrör möts i zonen mellan rören betongfronter från två håll. Det låg nära till hands att förvänta att partier med nedsatt betongkvalitet skulle kunna bildas. Med avsikt att så fullständigt som möjligt kartlägga hur betongens kvalitet varierade inom zonen, utfördes kontrollmätningar enligt icke förstörande metoder. En komplettering således till provningen av utborrade kärnor.

Detta provningssystem, också benämnt NDT-mätning (Non-Destruc-

tive Testing Methods) består dels av mätning av ythårdheten med studsätare, dels mätning av ljudhastigheten tvärs genom betongkonstruktionen, vilket senare ger besked om hålligheter och ställen med porös betong. Mätresultaten kombineras sedan på sätt som anges av Bellander (1978) samt i SS 13 72 52.

Resultaten, angivna i MPA, för de fyra monoliterna 12-15 anges i FIG 5.51-54, där de markerats i respektive mätpunkt. Vid utvärderingen av erhållna resultat är det här inte i första hand hållfasthetsnivån som är av intresse utan hur den varierar mätpunkterna emellan.

Monolit 12, utan retarder, ej vibrering. Mitt emellan gjutrören är ett område med tydligt nedsatt hållfasthet. Den horisontella betongytan i monolitens mitt täcker ett område med slam.

Monolit 13, retarder, ej vibrering. Mitt emellan gjutrören är också här ett område med nedsatt hållfasthet, dock inte lika markerat. Den horisontella betongytan täcker ett område med slam, och gränsande till detta är två mätpunkter, som uppvisar låg hållfasthet belägna.

Monolit 14, retarder, vibrering. Denna monolit är enligt tillämpat mätsystem den bästa men nedsatt hållfasthet, om än i liten omfattning, uppträder i mittpartiet.

Monolit 15, ej retarder, vibrering. Samma tendens med nedsatt hållfasthet i övre mittpartiet föreligger.

Skillnaderna mellan monoliterna 13-15 är små. Vikten av att undvika slänter framgår tydligt också av denna provning.

I följande tabell anges hållfasthetens medelvärde med tillhörande variationskoefficient för respektive hel monolit.

Jmfr avsnitt 5.8.2.

Monolit nr	Hållfasthet medelvärde	Variations- koefficient
12	35 MPa	17,6 %
13	40 <sup>*</sup>	10,3
14	41	10,0
15	39	13,1

\* De två lägsta värdena i gränsskiktet mot slamlagret slopade.



#### 5.8.4 Vidhäftning betong - armering

Vid provdragningen av armeringsstängerna erhöles spänningsdeformationssamband enligt i FIG 5.51-56 angivna exempel. Abskissan anger den fria stångändens rörelse och ordinatan medelvidhäftningsspänningen. Jämför avsnitt 5.5.2. Den streckade linjen i figurerna anger den förlängning som teoretiskt skulle erhållits om stängen varit absolut fast i ingjutningsstället, om E-modulen varit  $2,1 \times 10^5$  MPa och om arean varit  $2,0 \text{ cm}^2$ . Vid två provningstillfällena gjordes avlastningsmätning och vid ett tillfälle avlastning och förnyad pålastning. FIG 5.54-56.

Armering av kvalitet Ks 40 i monoliterna 1-4 drogs, om inte vidhäftningsbrott inträffade, till sträckgränsen, vilken låg på ca 450 MPa. Detta motsvarade en vidhäftningspåskänning av ca 11,2 MPa ( $112 \text{ kg/cm}^2$ ) med 160 mm ingjutningslängd. Armering av kvalitet Ks 60 i monoliterna 6-15 drogs till maximalt ca 560 MPa, dvs strax under sträckgränsen. Detta för att undvika förstörelse av den gängade stång som användes som spindel i domkraften. 560 MPa motsvarade en vidhäftningspåskänning av ca 14,0 MPa ( $140 \text{ kg/cm}^2$ ).

Mätningarna av stångförlängningen påbörjades vid avläsningen 4,0 MPa på manometern, vilket motsvarade 2,1 MPa i vidhäftningsspänning och ca 84 MPa i dragspänning. Detta gjordes för att mothållsplattan skulle ligga stadigt an mot betongen och för att inte åtdragningskraften skulle inverka vid första avläsningen av deformationen.

Det eventuella brottet var alltid ett rent vidhäftningsbrott. Någon spjälkning av betongen förekom inte. Täcksikt var väl tilltagna, se avsnitt 5.2.2.

Uppnådd vidhäftningsspänning för varje stång i monoliterna finns redovisad i TAB 5.10-11. Om sträckgränsen uppnåtts utan att vidhäftningsbrott inträffat, anges detta med tecknet > följt av vidhäftningsspänningen vid avslutad dragning dvs 7,5, 11 eller 14 MPa.

Någon påtaglig systematisk skillnad i vidhäftningen hos armeringsstänger belägna på olika ställen i monoliterna kan inte urskiljas. Möjligen kan en liten försämring med

ökande avstånd från gjutröret iakttas, liksom att horisontell armering i botten är något bättre än vertikal. Lokalt svaga partier i betongen, konstaterade genom tryckhållfasthetsmätning ger dock utslag, se t ex stång 4 och 11 i monolit 4 och stång 4 i monolit 11, TAB 5.10. Viss försiktighet bör iakttas med överkantsarmering, här representerad av stång nr 11 i monolit 12-15. Bortsett från risken att hamna i det översta dåliga betongskiktet, kan sättningar hos betongmassan, liksom på stängerna eventuellt sedimenterat slam från gjutningen längre ned, möjligen förorsaka nedsatt vidhäftningshållfasthet.

En inbördes jämförelse mellan monoliterna försvåras av det nödvändiggjorda kvalitetsbytet hos armeringen fr o m monolit nr 6. En rangordning av monoliterna från bäst till sämst ifråga om vidhäftning enligt tabellen nedan, följer relativt väl motsvarande rangordning för betongens tryckhållfasthet.

<u>Monolit nr</u>	<u>Utförande</u>	<u>Antal stänger &lt; 11 MPa</u>
7	Vibr. + retarder	0
8	Flytillsats + retarder	0
10	Avbrott retarder	0
6	Hög stighastighet + retarder	1
2	Vibrering	2
3	Retarder	3
9	Luft + retarder	5
4	Hög stighastighet	8
11	Grovt grus	8
(1	-	?)
14	Vibr. + retarder	0
13	Retarder	1
15	Vibrering	1
12	-	5

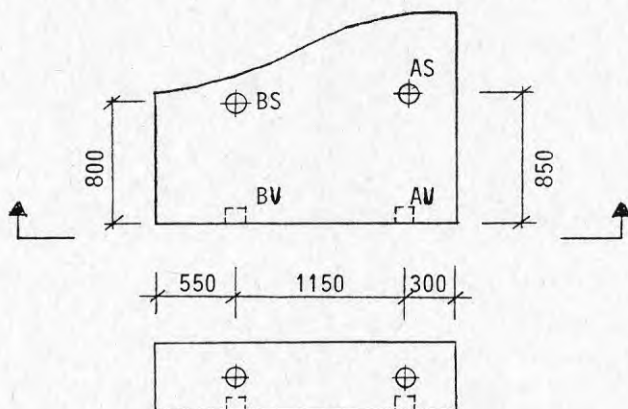
Monoliter med retarder befinner sig i tabellens topp, monoliter utan retarder i botten. För kringgjutning av armering och därmed för vidhäftningen har vibrering haft en märkbart gynnsam inverkan. Jämför de vibrerade monoliterna 2, 7, 14 och 15 med motsvarande ej vibrerade 1, 3, 13 och 12 i TAB 5.10-11. För övrigt kan alltså konstateras att man med en betong med god rörlighet även får en god kringgjutning av armeringen, vilket ger en mycket bra vidhäftning, ungefär vad som kan förväntas vid i torrhet gjuten betong.



En viktig faktor i detta sammanhang kan betongens utströmningshastighet vara, dvs den hastighet med vilken betongmassan pressas ur gjutröret. Vid monolitgjutningarna var hastigheten mycket låg. Vid fältmässiga gjutningar har iakttagits att vid hög utströmningshastighet, t ex vid gjutning med pump, kaviteter kan uppträda bakom armering som är tvärställd betongens rörelseriktning. Detta problem bör emellertid kunna bemästras med en något reducerad hastighet, kombinerad med vibrering och betong med god rörlighet.

#### 5.8.5 Vattentäthet

Vattentätheten provades på 4 st ur monolit 4 utborrade cylindrar med läge enligt nedanstående figur.



Resultatet framgår av tabell.

<u>Cylinder märkt</u>	<u>Inträngningsdjup cm</u>	<u>Max inträngningsdjup enl B5 mm</u>
AU	2,0	27
AS	1,5	21
BU	2,0	23
BS	1,0	22

Mätvärdena visar att den provade undervattensbetongen har god vattentäthet. Dock gäller naturligtvis att dålig betong, som t ex delar av monolit 11, även har dålig vattentäthet.

## 6 SAMMANSTÄLLNING AV SYNPUNKTER OCH REKOMMENDATIONER

### 6.1 Betongsammansättning

En väsentlig förutsättning för att en undervattensgjutning skall gå bra är betong med god rörlighet. Vilket rörlighetsvärde som i varje särskilt fall kan behövas beror på konstruktionens art och hur gjutningsarbetet bedrivs. Man kan i första hand påverka rörligheten genom lämpligt val av ballastgradering och konsistens, tillsats av retarder, samt när så är möjligt, sänkning av betongtemperaturen. Rekommendationerna nedan bygger på litteraturstudier, undersökning av olika betongtypers rörlighet, erfarenheter från gjutningen av betongmonoliter samt förda diskussioner.

#### 6.1.1 Konsistensnivå, med och utan retarder

Betong utan retarder kan endast med mycket lös konsistens, sättmått 180-200 mm, erhålla ett rörlighetsvärde som närmar sig betydligt god betong enligt undersökningens värdering.

Betong med retarder däremot kan med sättmått 140-160 mm erhålla utmärkt god rörlighet. Användning av retarder rekommenderas därför generellt. Ett sättmått av 140-170 mm kan då väljas som konsistensnivå, vilket är att föredraga framför en lösare konsistens med större separationstendens. Mängden retarder avpassas så att fördröjningen blir 1-1,5 tim mätt med Proctornål.

#### 6.1.2 Ballastgradering

Mängden material < 0,25 mm har visat sig väsentlig för rörligheten och bör utgöra lägst 10 % av totala ballastmängden.

Mängden material > 4 mm som i undersökningen ej nämnvärt varierats, bedöms bära utgöra högst 52 % av totala ballastmängden vid en stenstorlek av 35 mm och högst 44 % vid en stenstorlek av 16 mm. I armerade konstruktioner kan angiven stenhalt behöva minskas.

#### 6.1.3 Cementshalt

Den i Statliga betongbestämmelser angivna cementhalten, 350 kg/m<sup>3</sup> har i undersökningen genomgående använts. Enligt litteraturstudien har både högre och lägre cementhalt förekommit. Använd

cementhalt synes vara väl avpassad för normalfallet men kan eventuellt sänkas om ballastmaterialet är bra och retarder används.

#### 6.1.4 Betongtemperatur

Sänkning av betongens temperatur från 20 °C till 10 °C har en mycket gynnsam inverkan på rörligheten hos betong utan retarder. Inverkan är gynnsam också på betong med retarder, men i mindre grad.

### 6.2 Arbetsutförande

I detta avsnitt lämnas en del synpunkter och rekommendationer för utförandet av undervattensgjutning. Sammanställningen är en redogörelse för faktorer i utförandet som aktualiserats i projektet. Uppgifterna består således inte enbart av direkta resultat från den genomförda undersökningen utan även av synpunkter som diskuterats med bl a projektets referensgrupp.

#### 6.2.1 Gjutrörens placering

Gjutrören bör inte placeras omedelbart intill stående armering, t ex uppstickande pelararmering i en platta, eftersom betongens strömningshastighet är störst närmast röret.

Mittemellan två gjutrör erhålles ofta en något försvagad zon i betongen. Med vetskap om detta kan man med gjutrörens placering styra denna zon bort från konstruktivt hårt utnyttjade delar av t ex en platta.

#### 6.2.2 Utströmningshastighet

Med utströmningshastighet menas här den hastighet betongmassan har i gjutröret. Vid den hittills vanligaste metoden för undervattensgjutning, gjutrör med tratt, har hastigheten reglerats med rörets nedsticksdjup i betongen och hållits ganska låg. Vid direktanslutning av gjutröret till en betongpump erhålles emellertid ofta mycket höga utströmningshastigheter, ca 2 m/s eller mer. Denna höga hastighet i kombination med pumpens okänslighet för betongens viskösa motstånd och eventuella hinder (armering, pålar) nere i formen, gör att man kan få en mycket ojämn betongyta. Höga branta slänter byggs upp där betongen efterhand rasar och kaviteter bildas bakom armeringsstänger. Det

är således angeläget att sänka utströmningshastigheten vid direktpumpning, kanske till  $\leq 0,5$  m/s. Kapaciteten bör ändå vara tillräcklig.

Det bör påpekas att vid de genomförda monolitgjutningarna var utströmningshastigheten mycket låg. Det är en angelägen uppgift för kommande undersökningar att söka bedöma rimlig utströmningshastighet med hänsyn till i första hand armeringens kringgjutning.

#### 6.2.3 Gjutrörets nedsticksdjup

Generellt kan sägas att slänlutningen blir mindre och därmed gjutningens resultat bättre med ett stort nedsticksdjup. Detta kan uppnås med en betong som är lättrörlig under hela den aktuella gjuttiden.

Vid direktpumpning i gjutröret kan mynningen ofta hållas djupt i betongmassan eftersom tillgängligt pumptryck är stort. En viss försiktighet måste dock iakttagas så att man inte med pumpens stora kraft rör om och deformerar djupt liggande gammal betong som mist en stor del av sin rörlighet. Större rördjup än ca 1,5 m torde knappast behöva eftersträvas.

#### 6.2.4 Stighastighet

En ökning av stighastigheten utöver Betongbestämmelsernas lägsta tillåtna 0,3 m/h bör ge ett bättre gjutresultat, särskilt om man arbetar med betong utan retarder. Med retarder, dvs en betong med god rörlighet, torde 0,3 m/h vara tillräckligt för ett fullgott resultat. Pumpning ger ökad kapacitet och möjlighet att öka stighastigheten. Man bör dock se upp med för hög utströmningshastighet, jmf detta avsnitt.

#### 6.2.5 Gjutuppehåll

Önskvärt är att gjutningen sker så kontinuerligt som möjligt. Statliga Betongbestämmelser anger 30 min som längsta uppehåll, utan krav på tillsatsmedel. Med retarderad betong med god rörlighet bör emellertid längre uppehåll i gjutrör kunna accepteras.

### 6.2.6 Vibrering

Bearbetning av undervattensbetong är för närvarande inte tillåten enligt Statliga Betongbestämmelser på annat sätt än som lätt vibrering i gjutröret efter avslutad gjutning. En riktigt utförd vibrering underlättar emellertid betongens utflytning och minskar risken för att branta slänter skall byggas upp kring gjutröret med dålig betong som följd. Vibrering är även gynnsam för kringgjutning av eventuell armering.

För att inte erhålla ursköljning av betongen bör vibreringen tillgå på följande sätt. Vibrering i gränsskiktet mellan betong och vatten skall undvikas. Vibratorstaven startas först sedan den vibrerande delen helt nedsänkts i betongen och stoppas innan den uppdrages - långsamt och med pumpande rörelse för att utfylla hålet. För att veta när staven är nere i betongen på lämplig nivå kan denna, 10-20 cm ovanför den vibrerande delen, kanske förses med en krage som stoppar mot betonggytan. Om svårighet föreligger att få ned staven stillastående kan den böjliga delen uppstyvas genom att fästas vid ett armeringsjärn eller en bräda. Den vibrerande delen bör vara kort för att kunna användas i ett tidigt skede av gjutningen samt ha förhållandevis låg frekvens och stor amplitud. Vibreringstiden bör vara 5-10 sek per nedstick.

### 6.2.7 Armering

Armering utgör ett stort hinder för betongens utflytning varför särskild uppmärksamhet måste ägnas åt betongens rörlighet och armeringens anordning, om ett lyckat resultat med armerad undervattenbetong skall erhållas.

Täckskikten bör väljas så att betongen har möjlighet att passera mellan botten och armering respektive formsida och armering. Mot formsida är kanske 10 cm tillräckligt. Mot botten som ofta utgörs av makadam eller grus torde minst 15 cm erfordras emedan dels motståndet mot rörelsen här är större, dels betongen kan förväntas bli av dålig kvalitet längst ned. Något slag av slät botten i form av plastduk eller liknande kan eventuellt anordnas, i varje fall vid sådana konstruktioner som t ex grundplatta på pälår, där man inte är beroende av bärigheten mot underlaget.



Erforderliga täckskikt bör emellertid bli föremål för vidare utredning då det med hänsyn till både armeringsekonomi och sprickvidder är ogynnsamt med alltför stora sådana.

Minsta avståndet mellan stänger bör likaså ökas jämfört med på vanligt sätt gjuten betong. Minst det dubbla avståndet torde erfordras.

Armeringen måste vara styv och väl fastnadjad då den utsätts för stora krafter under gjutningen. Företrädesvis grova dimensioner bör väljas då dessa medger större avstånd vid viss armeringsarea och ger ett styvare armeringsnät. Öppningar måste lämnas i u.k-armeringen där gjutröret kan nedföras till botten vid gjutningens början.

### 6.3 Betongkvalitet - hållfasthetsklass - vidhäftning

Det kan vara vanskligt att fästa för stor vikt vid den uppnådda hållfasthetsnivån i monoliterna. Dessa är gjutna under kontrollerade förhållanden på laboratorium. Skillnader mellan monoliterna på grund av olika betong och utförande, inte den absoluta nivån, var också det som i första hand skulle undersökas. Det förefaller dock sannolikt att man genom att använda en betong med god rörlighet och iakttaga den noggrannhet i utförandet som undervattenbetong kräver, skulle kunna tillåta högre tryckpåkänning för konstruktioner ute på fältet än för närvarande. Därför kan det vara av intresse att beröra de hållfasthetsnivåer som kan vara möjliga att uppnå, dem nämligen som uppnåtts vid monolitgjutningarna.

Medelhållfastheten för normkuberna för alla monoliterna utom nr 8 (flyttillsats) och nr 9 (luftporbildande medel) ligger på 47 MPa, vilket är en ungefärlig kravnivå för hållfasthetsklass K40. Bellander (1976) ger en sammanställning över kravnivåer för karakteristisk hållfasthet, 10 %-fraktil, för olika i fält gjutna konstruktioner. Se tabellen nedan.

	Hållfasthetsklass				
	K20	K25	K30	K35	K40
Vert. gjutna konstr.					
under topp	18,5	23,0	27,4	31,7	36,1
Hor. gjutna konstr.					
i sin helhet	17,6	22,1	26,3	30,5	34,8



Värdena gäller på vanligt sätt gjuten betong.

Antages normalfördelning av cylinderproven från varje monolit kan 10%-fraktilen ( $C_{10}$ ) beräknas enligt uttrycket ( $M_v$  = medelvärdet)  $C_{10} = M_v - 1,28 \times M_v \times (\text{var.koeff.})$ .

Härmed erhålles

Monolit	Retarder	$M_v$	Var.koeff.	$C_{10}$
1	-	32,6	11,1	28,0
2	-	38,5	12,3	32,4
3	R	37,2	4,3	35,1
4	-	33,1	7,5	29,9
6	R	33,7	8,7	30,1
7	R	36,7	6,3	33,7
8	R	38,2	8,2	34,2
9	R	31,6	5,9	29,2
10	R	35,6	7,2	32,3
11	-	31,4	27,6	20,3
12	-	33,1	15,0	26,7
13	R	37,5	8,5	33,4
14	R	38,9	9,1	34,3
15	-	34,3	13,6	28,3

Den undervattengjutna betongen når alltså inte upp till de krav som ställs på hållfastheten på i torrhet gjuten betong. Med K40 som utgångsbetong har, med två undantag, erhållits monoliter som uppfyller fordringarna för K35 med retarder och för K30 utan retarder. Undantagen utgörs av nr 9 med lufttillsats där utgångshållfastheten var lägre ( $\sim$  K35) och nr 11 gjuten med en enligt avsnitt 4 dålig betong för undervattensgjutning. Tillåtna påkänningar skulle alltså kunna erhållas från en hållfasthetsklass som ligger 1 à 2 klasser under utgångsbetongens.

Den i undersökningen erhållna vidhäftningen mellan armering och betong, TAB 5.10-11, är med betong med god rörlighet mycket bra. Statliga konstruktionsbestämmelser (1968) anger som tillåtet värde på vidhäftningen med kamstänger om betongen beräknas ta tvärkraft:

	Normalt	"Med särskild förankring"
	<u>MPa</u>	<u>MPa</u>
K30	1,50	2,15
K35	1,65	2,35

Dessa värden bör med betryggande säkerhet även kunna användas för beräkning av väl utförda undervattensgjutna ärmerade konstruktioner.

TAB 4.1 Betongs rörlighet. Förteckning över genomförda försök.

Försök nr	Ballastgradering Sikt- kurva	Sätt- mätt mm				Vatten- sep.	Pene- tration	VCT	Cement	Grus	Anmärkning
		1	4	1	4						
1-5	A	8,3	28	48	-	-	0,57	Slite	Underås	Förb. försök	
6	B	9,6	29	47	-	-	0,56	"	"		
7	A	7,7	26	45	-	-	0,58	"	"		
8	B	9,5	29	46	-	P	0,58	"	"		
9	B	10,1	29	47	R 0,3 %	P	0,57	"	"		
10	B	10,1	29	47	R	-	0,56	"	"		
11	B	10,1	29	47	R	-	0,59	"	"		
12	B	10,1	29	47	R	P	0,55	"	"		
13	G	5,9	26	45	R	-	0,57	"	Bro	Jmf 7	
14	A	8,3	28	48	R	-	0,60	"	Underås	Jmf 13	
15	G	5,7	26	47	R	S	0,57	"	Bro	Utan frakt 8-16	
16	E	10,5	32	52	R	-	0,61	"	Underås	Makadam	
17	F	10,5	32	51	R	-	0,59	"	"	Lufthalt 4,5 %	
18	A	8,1	27	48	R	S	0,56	"	"	" 4,3 %	
19	A	8,1	27	48	R	-	0,55	"	"	Vattenreduc.	
20	B	9,3	28	49	-	-	0,54	"	"	Flyttillsats	
21	B	9,3	28	49	-	-	0,55	"	"		
22	B	9,2	27	48	R	-	0,55	Skövde	"		
23	B	9,2	27	48	R	-	0,56	"	"		
24	B	8,9	29	50	R	-	0,57	"	"		
25	B	8,9	29	50	R	-	0,53	"	"		
26	B	10,3	29	50	R	S	0,55	Slite	"	Flyttillsats	
27	D	12,4	33	56	R	-	0,58	"	Underås	Stenstorl. 16 mm	
28	H	10,5	31	51	R	S	0,55	"	Bro		
29	H	10,5	31	51	R	S	0,55	"	"		
30	B	8,7	28	48	R	-	0,54	"	Underås		
31	C	12,1	31	49	R	-	0,55	"	"	Jmf 28	
32	B	9,2	29	48	R	S	0,58	"	"	Röd färg, flytande	
33	B	9,2	29	48	R	S	0,57	"	"	" pulver	
34	B	9,9	26	47	R	S	0,59	"	"	Btg. temp. 90°C	
35	B	9,9	26	47	R	S	0,58	"	"	" 90°C	

Där ej annat anges har mängden retarder R varit 0,4 % av cementmängden. Betongtemperatur normalt 18-20 °C.

Försök nr	Sikt-kurva	Varianter	Sätt-mått	Rörlighetsvärde											
				0	2	4	6	8	10	12	14	16			
<b>Olika konsistensnivåer</b>															
6	B	-	110 mm	[Bar chart showing Rv ≈ 110]											
10	B	R 0,4 %	120	[Bar chart showing Rv ≈ 120]											
8	B	-	160	[Bar chart showing Rv ≈ 160]											
9	B	R 0,3	150	[Bar chart showing Rv ≈ 150]											
12	B	R 0,4	150	[Bar chart showing Rv ≈ 150]											
11	B	R 0,4	185	[Bar chart showing Rv ≈ 185]											
7	A	-	195	[Bar chart showing Rv ≈ 195]											
14	A	R 0,4	185	[Bar chart showing Rv ≈ 185]											
<b>Olika tillsatsmedel</b>															
8	B	-	160	[Bar chart showing Rv ≈ 160]											
9	B	R 0,3 %	150	[Bar chart showing Rv ≈ 150]											
12	B	R 0,4	150	[Bar chart showing Rv ≈ 150]											
30	B	R 0,8	145	[Bar chart showing Rv ≈ 145]											
18	A	R 0,4 + LP	150	[Bar chart showing Rv ≈ 150]											
19	A	- LP	150	[Bar chart showing Rv ≈ 150]											
20	B	- VR	150	[Bar chart showing Rv ≈ 150]											
<b>Olika cementfabrikat</b>															
8	B	Slite	-	160	[Bar chart showing Rv ≈ 160]										
12	B	Slite	R	150	[Bar chart showing Rv ≈ 150]										
22	B	Skövde	R	150	[Bar chart showing Rv ≈ 150]										
23	B	Skövde	-	155	[Bar chart showing Rv ≈ 155]										
24	B	Skövde	R	180	[Bar chart showing Rv ≈ 180]										
25	B	Skövde	R	110	[Bar chart showing Rv ≈ 110]										
<b>Olika grus- och stentyper</b>															
16	E	Sten 16-32	R	155	[Bar chart showing Rv ≈ 155]										
17	F	Makadam 8-32	R	155	[Bar chart showing Rv ≈ 155]										
27	D	Sten 8-16	R	155	[Bar chart showing Rv ≈ 155]										
28	H	Bro	R	155	[Bar chart showing Rv ≈ 155]										
29	H	Bro	-	160	[Bar chart showing Rv ≈ 160]										
13	G	Bro	R	150	[Bar chart showing Rv ≈ 150]										
15	G	Bro	R	150	[Bar chart showing Rv ≈ 150]										
<b>Olika mängd material &lt; 0,25 mm</b>															
13	G < 0,25	5,7 % Bro	R	155	[Bar chart showing Rv ≈ 155]										
28	H	10,5 Bro	R	150	[Bar chart showing Rv ≈ 150]										
12	B	10,1	R	150	[Bar chart showing Rv ≈ 150]										
31	C	12,1	R	150	[Bar chart showing Rv ≈ 150]										
<b>Olika betongtemperaturer</b>															
8	B	19 °C	-	160	[Bar chart showing Rv ≈ 160]										
12	B	20 °C	R	150	[Bar chart showing Rv ≈ 150]										
34	B	9 °C	-	175	[Bar chart showing Rv ≈ 175]										
35	B	9 °C	R	165	[Bar chart showing Rv ≈ 165]										
<b>Flyttillsats,</b>															
8	B	-	-	160	[Bar chart showing Rv ≈ 160]										
12	B	-	R	150	[Bar chart showing Rv ≈ 150]										
21	B	Flyttillsats	-	120-220	[Bar chart showing Rv ≈ 120-220]										
26	B	Flyttillsats	R	110-210	[Bar chart showing Rv ≈ 110-210]										

Tillsatsmedel R = retarder, LP = luftporbildande, VR = vattenreducerande.

Underås fingrus där ej annat anges.

Rörlighetsvärde Rv

Praktiskt max. Rv ~ 14,5

$Rv < 7$  dålig betong  
 $7 \leq Rv < 10$  mindre god betong  
 $10 \leq Rv < 13$  god betong  
 $Rv \geq 13$  utmärkt god betong

TAB 5.1 Förteckning över tillverkade monoliter.

Monolit nr	Ballastgradering			Tillsatsmedel	Rörlighet	Stigh. m/h	Vibre- ring	Anmärkning
	% mindre än 0,25	1,0	4,0					
Ett gjutrör								
1	9,6	26,9	46,2	-	9	0,3	-	
2	8,4	24,5	45,8	-	8,5	0,3	V	
3	7,9	25,2	47,2	R	12	0,3	-	
4	7,9	25,4	47,9	-	8,5	0,6	-	
5								Monoliten göts om pga felaktig färgkvalitet
6	8,1	24,3	45,4	R	12,5	0,6	-	
7	8,1	24,7	45,2	R	12,5	0,3	V	
8	8,9	27,4	46,5	R+flyttillsats	13	0,3	-	
9	7,9	26,9	46,5	R + LP	13	0,3	-	Lufthalt 4,5 %
10	9,1	28,4	47,2	R	12,5	(0,3)	-	Gjutuppehåll
11	7,8	27,6	46,4	-	4	0,3	-	Grus från Bro
Två gjutrör								
12	8,3	31,0	48,9	-	8,5	(0,4)	-	(Gjutuppehåll)
13	8,7	29,6	47,6	R	12	0,4	-	
14	9,0	29,9	48,2	R	12,5	0,4	V	
15	8,6	28,3	46,7	-	8,5	0,4	V	

Där ej annat anges har fingruset varit Underås.

Mängden retarder (R) har genomgående varit 0,4 % av cementvikten.

Cementhalt 350 kg/m<sup>3</sup>

Konsistens 140-170 mm sättmått

Rörlighet se avsnitt 4.

TAB 5.2 Släntlutning och mängd slam på ytan i % av betongvolymer. Monolit 1-15.

Monolit nr	Utförande	Släntlutning	Slam %	Anmärkning
1	-	1:2	3,5	Ett gjutrör
2	Vibrering	1:2,5	1,1	"-
3	Retarder	1:3,3	1,6	"-
4	Hög stighast.	1:2	3,5	"-
6	Hög stigh.+ret.	1:4	1,3	"-
7	Vibr. + ret.	1:∞	1,1	"-
8	Flyt + ret.	1:5	0,8	"-
9	Luft + ret.	1:2,5	1,1	"-
10	Avbrott (ret.)	1:3,3	2,0	"-
11	Grovt grus	1:1,3	4,0	"-
12	-	1:1	3,0	Två gjutrör
13	Retarder	1:2,5	2,5	"-
14	Vibr. + ret.	1:∞	1,5	"-
15	Vibrering	1:20	1,5	"-



TAB 5.3 A Tryckhållfasthet mormenliga kuber. Medelvärde för varje sats. Monolit 1-11.

Monolit nr	Sats nr	Färg	Tryckhållf. MPa	Monolit nr	Sats nr	Färg	Tryckhållf. MPa
1	1	O	45,0	7	1	O	46,4
	2	R	46,3		2	R	44,2
	3	G	45,0		3	G	46,4
	4	O	46,7		4	S	50,9
	5	R	44,3		5	O	48,0
	6	G	43,9		6	R	45,7
	7	O	44,7		7	G	46,1
					8	S	48,5
2	1	O	48,3	8	1	R	47,8
	2	R	47,5		2	O	54,9
	3	G	47,0		3	G	49,4
	4	O	49,1		4	S	53,5
	5	R	50,9		5	O	53,1
	6	G	47,8		6	R	51,2
	7	O	50,9		7	G	50,2
	8	R	47,8		8	S	53,0
3	1	O	52,8	9	1	O	42,7
	2	R	45,6		2	R	41,4
	3	G	48,7		3	G	39,2
	4	O	47,1		4	S	44,8
	5	R	47,2		5	O	42,9
	6	G	44,4		6	R	47,0
	7	O	48,3		7	G	36,7
	8	R	49,7		8	S	43,9
4	1	O	42,6	10	1	O	50,6
	2	R	44,9		2	R	49,2
	3	G	44,8		3	G	46,4
	4	O	41,0		4	S	44,7
	5	R	47,3		5	O	47,1
	6	G	43,1		6	R	48,3
	7	O	44,1		7	G	48,2
	8	R	46,0		8	S	49,4
6	1	O	46,9	11	1	O	45,7
	2	R	47,7		2	R	42,6
	3	G	44,7		3	G	44,1
	4	O	47,7		4	S	47,7
	5	R	44,4		5	O	46,9
	6	G	46,8		6	R	46,9
	7	O	47,2		7	G	43,5
	8	S	46,5		8	S	48,9

TAB 5.3 B Tryckhållfasthet mörmenliga kuber. Medelvärde för varje sats. Monolit 12-15.

Monolit nr	Sats nr	Färg	Tryckhållf. MPa
11	1	O	47,3
	2	R	45,0
	3	G	45,0
	4	S	46,6
	5	O	50,1
	6	R	46,4
	7	G	46,7
	8	S	49,4
13	1	O	52,1
	2	R	50,9
	3	G	49,6
	4	S	50,7
	5	O	50,7
	6	R	47,3
	7	G	48,4
	8	S	51,6
14	1	O	47,9
	2	R	50,0
	3	G	48,3
	4	S	49,4
	5	O	49,9
	6	R	52,1
	7	G	46,7
	8	S	51,6
15	1	O	40,4
	2	R	43,6
	3	G	45,3
	4	S	44,4
	5	O	46,7
	6	R	48,0
	7	G	45,4
	8	S	46,9

TAB 5.4 Tryckhållfasthet normenliga kuber. Medelvärde för hel monolit.

Monolit nr	Tillsatsmedel	Tryckhållfasthet MPa	Var. koeff. %
1	-	44,7	4,1
2	-	48,7	4,8
3	Retarder	48,0	5,4
4	-	44,2	6,0
6	Retarder	46,5	3,1
7	"	47,0	5,2
8	Ret. + flyttillsats	51,6	4,8
9	Ret. + luft	42,3	7,5
10	Retarder	48,0	4,4
11	-	45,8	5,2
12	-	47,1	4,6
13	Retarder	50,1	4,0
14	"	49,5	3,9
15	-	45,1	5,2

TAB 5.5 Tryckhållfasthet normenliga kuber. Medelvärden för olika färgtillsatser

Färg	Tryckhållfasthet	Var. koeff.
Ofärgad	47,3	7,6
Röd	46,9	5,6
Gul	45,7	6,8
Svart	48,6	6,4

TAB 5.6 Tryckhållfasthet hos ej bearbetade kuber. Avsnitt 5.8.1.  
Medelvärden för hela monoliter. Jämförelse med normkuber.

Monolit nr	Ej bearbetade kuber MPa	Normkuber MPa	Ej bearbetade/ Norm
1	-	44,7	-
2	45,6	48,7	0,94
3	45,9	48,0	0,96
4	43,3	44,2	0,98
6	45,3	46,5	0,97
7	44,4	47,0	0,94
8	49,3	51,6	0,96
9	39,2	42,3	0,93
10	41,0	48,0	0,85
11	45,3	45,8	0,99
12	45,5	47,1	0,97
13	45,4	50,1	0,91
14	43,3	49,5	0,87
15	39,4	45,1	0,87

TAB 5.7 Tryckhållfasthet monolit 1-11. Borrkärnor A-C. 28 dygnsvärden.

Monolit nr	Utförande	Tryckhållfasthet MPa			Var. koeff. %			Kub MPa	A-C/ kub		
		A	B	C	A	B	C				
1	-	30,8	35,5	30,3	32,6	13,4	1,3	7,9	11,1	44,7	0,73
2	Vibrering	36,1	41,1	38,1	38,5	13,6	8,3	13,5	12,2	48,7	0,79
3	Retarder	38,2	36,1	37,3	37,2	3,2	3,5	4,7	4,3	48,0	0,78
4	Hög stighastighet	33,0	34,2	31,1	33,1	9,3	5,6	1,0	7,5	44,2	0,75
6	Hög stigh. + retarder	35,3	31,6	35,3	33,9	10,3	4,0	4,0	8,7	46,5	0,73
7	Vibr. + retarder	38,5	36,0	35,6	36,7	5,4	6,2	4,4	6,3	47,0	0,78
8	Flyttillsats + ret.	35,6	38,2	40,8	38,2	7,8	5,5	5,5	8,2	51,6	0,74
9	Lufttillsats + ret.	33,1	29,8	32,2	31,6	3,3	3,7	4,1	5,9	42,3	0,75
10	Avbrott (ret.)	36,0	35,3	35,5	35,6	10,4	6,7	3,7	7,2	48,0	0,74
11	Grovt grus	32,1	36,1	19,9	31,4	3,1	4,8	90,6	27,6	45,8	0,68

8

TAB 5.8 Tryckhållfasthet monolit 12-15. Borrkärnor A-E. 28 dygnsvärden.

Monolit nr	Ut- förande	Tryckhållfasthet MPa					Var. Koeff. %					Kub			
		A	B	C	D	E	A-E	A	B	C	D	E	A-E	MPa	kub
12	-	34,4	32,9	23,1	36,1	34,1	33,1	12,4	13,3	18,3	7,0	5,4	15,0	47,1	0,70
13	Retarder	37,4	37,5	34,1	39,4	38,7	37,5	5,0	10,7	5,0	9,2	5,4	8,5	50,1	0,75
14	Vibr+ret	39,6	39,0	35,3	41,4	38,7	38,9	8,5	10,7	5,9	4,6	9,1	9,1	49,5	0,79
15	Vibrering	35,4	36,6	29,7	35,5	33,7	34,3	12,7	2,9	15,3	15,3	14,5	13,6	45,1	0,76



TAB 5.9 Densitet för normenliga kuber och utborrade cylindrar. Monolit 1-15.

Monolit nr	Densitet	
	Kuber	kg/m <sup>3</sup> Cylindrar
1	2360	2330
2	2360	2330
3	2360	2350
4	2350	2330
6	2350	2350
7	2360	2340
8	2370	2370
9	2300	2300
10	2370	2340
11	2360	2330
12	2350	2310
13	2360	2310
14	2360	2330
15	2350	2320

TAB 5.10 Vidhäftning för ingjutna armeringsstänger 1-14. Monolit 1-11.

Monolit nr	Ut-förande	Arm. kval.	Ingj. längd	$\bar{\sigma}$ brott (MPa)														
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
1	-	Ks40	15 d	7	>7,5	-	5,5	>7,5	>7,5	>7,5	>7,5	>7,5	>7,5	>7,5	>7,5	>7,5	>7,5	>7,5
2	Vibr.	Ks40	10 d	>11	>11	>11	>11	8,5	>11	>11	>11	>11	>11	>11	>11	>11	9,5	>11
3	Ret.	Ks40	10 d	>11	9,5	9,5	>11	>11	10,5	>11	>11	>11	>11	>11	>11	>11	>11	>11
4	Hög stigh.	Ks40	10 d	>11	>11	9,5	5,5	6,5	7,5	8,5	>11	10,5	10,5	6,5	>11	>11	>11	>11
6	Hög stigh + ret.	Ks60	10 d	11,5	13	>14	>14	>14	13	13	13	>14	13	>14	>14	>14	14	9
7	Vibr.+ ret.	Ks60	10 d	14	>14	>14	>14	13	13	13	>14	>14	>14	>14	>14	>14	>14	13
8	Flyt.+ ret.	Ks60	10 d	14	14	14	>14	14	14	14	>14	>14	>14	>14	>14	>14	>14	>14
9	Luft + ret.	Ks60	10 d	10	13	14	>14	-	9	10	>14	>14	>14	>14	>14	>14	>14	10,5
10	Avbrott (ret.)	Ks60	10 d	14	14	>14	14	14	13	14	>14	>14	>14	>14	>14	>14	14	14
11	Grovt grus	Ks60	10 d	13	13	-	5	-	9	8,5	>14	>14	>14	14	11,5	10,5	10,5	9,5

Anm. Olikhetstecknet > före angivet värde innebär att armeringens sträckgräns uppnåtts utan att vidhäftningsbrott inträffat.

- Innebar att ingjutningsdelen av stängen hamnat ovanför betongens överyta.

TAB 5.11 Vidhäftning för ingjutna armeringsstänger 1-12. Monolit 12-15.

Monolit nr	Ut-förande	Arm. kval.	Ingj. längd	$\tau$ brott (MPa)												
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
12	-	Ks60	10 d	11	11	9	10	11	8,5	10	12	>14	>14	>14	-	>14
13	Ret.	Ks60	10 d	>14	>14	12	>14	>14	>14	13	>14	>14	>14	>14	5	>14
14	Vibr +, ret.	Ks60	10 d	>14	>14	>14	>14	>14	>14	>14	>14	>14	>14	>14	>14	>14
15	Vibr.	Ks60	10 d	>11*	>14	13	>14	>14	>14	>14	>14	>14	>14	>14	10	>14

Anm. Olikhetstecknet > före angivet värde innebär att armeringens sträckgräns uppnåtts utan att vidhäftningsbrott inträffat.

- Innebär att ingjutningsdelen av stängen hamnat ovanför betongens överyta.

\* Ks40.



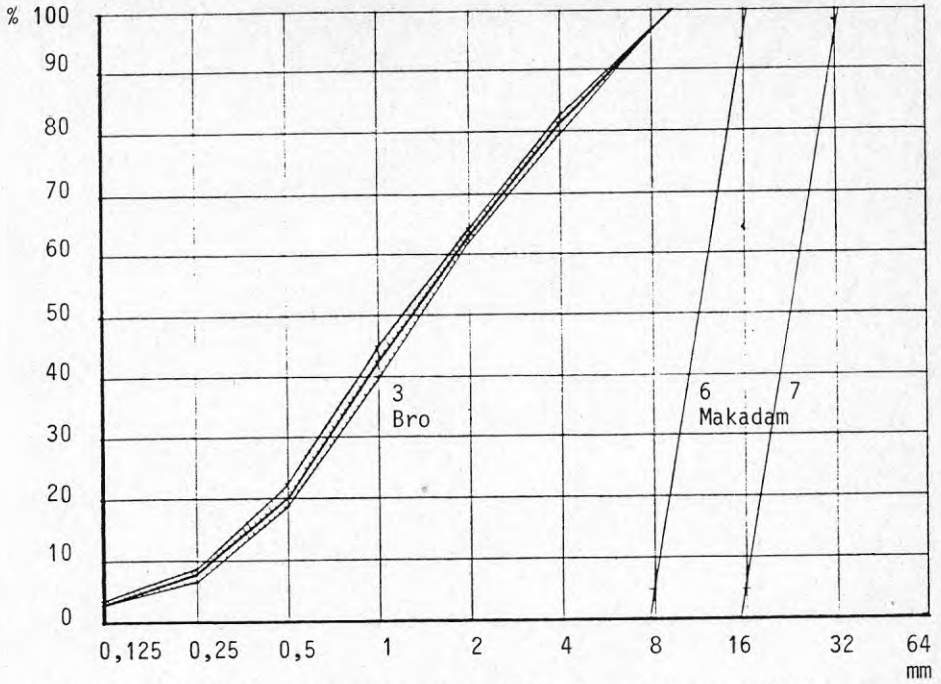


FIG 3.1 A Ballasttypernas gradering. Sifferbeteckningar enligt avsnitt 3.1.2.

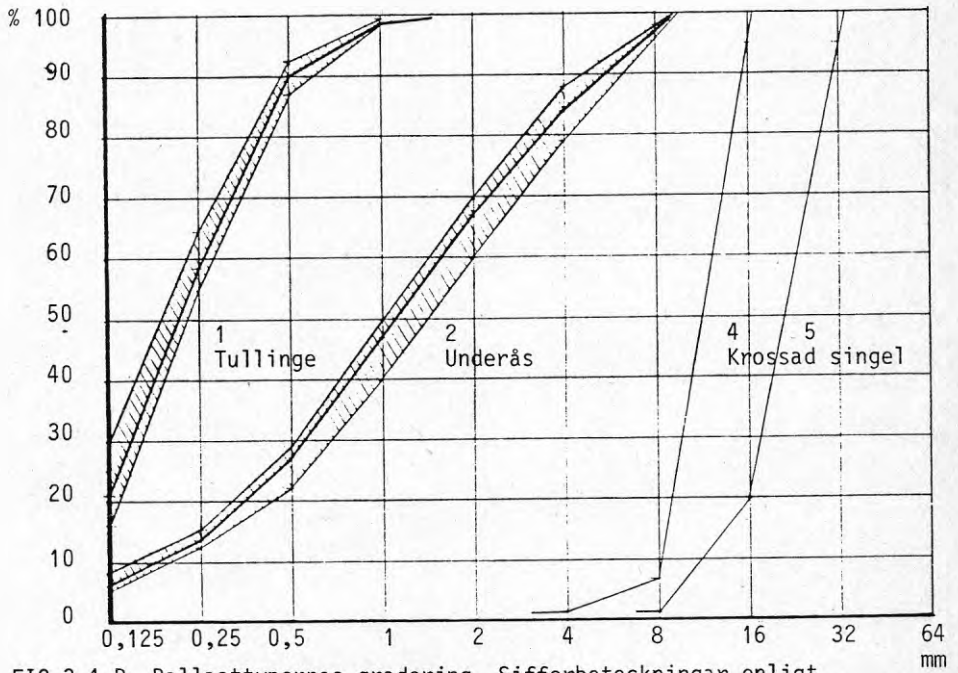


FIG 3.1 B Ballasttypernas gradering. Sifferbeteckningar enligt avsnitt 3.1.2.

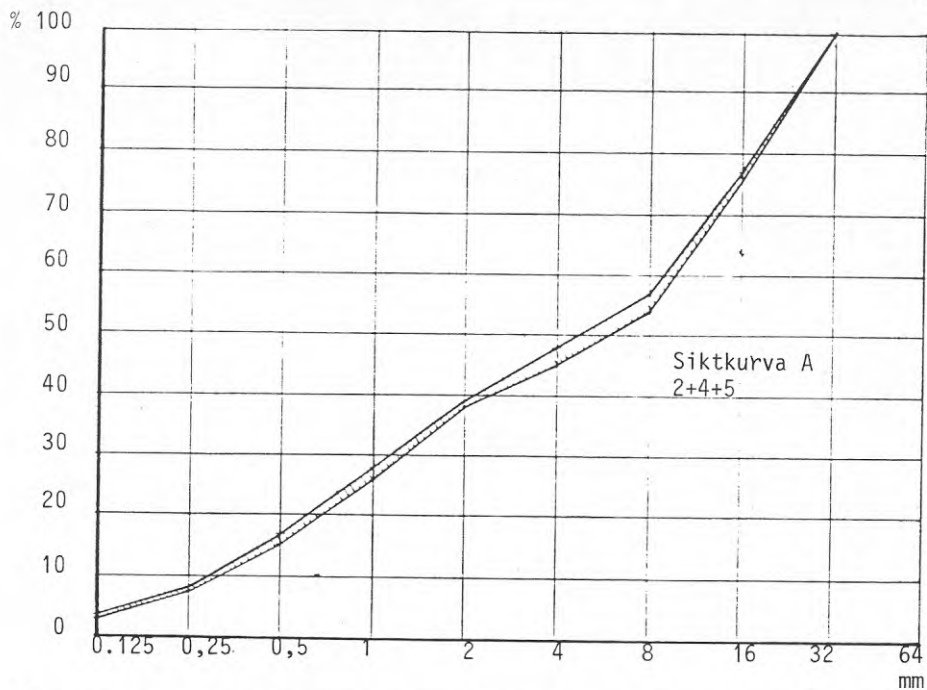


FIG 3.2 A Sammansatt ballastgradering. Se avsnitt 3.2.2 och TAB 4.1.  
Sifferbeteckningar avser ingående ballasttyper, avsnitt 3.1.2 och FIG 3.1 B.

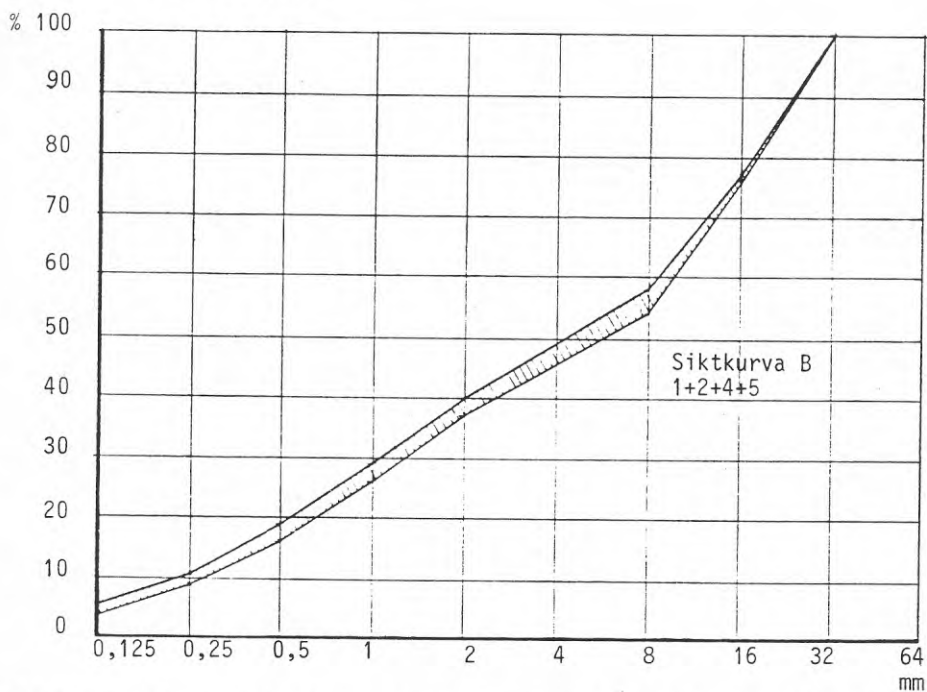


FIG 3.2 B Sammansatt ballastgradering. Se avsnitt 3.2.2 och TAB 4.1.  
Sifferbeteckningar avser ingående ballasttyper, avsnitt 3.1.2 och FIG 3.1 B.



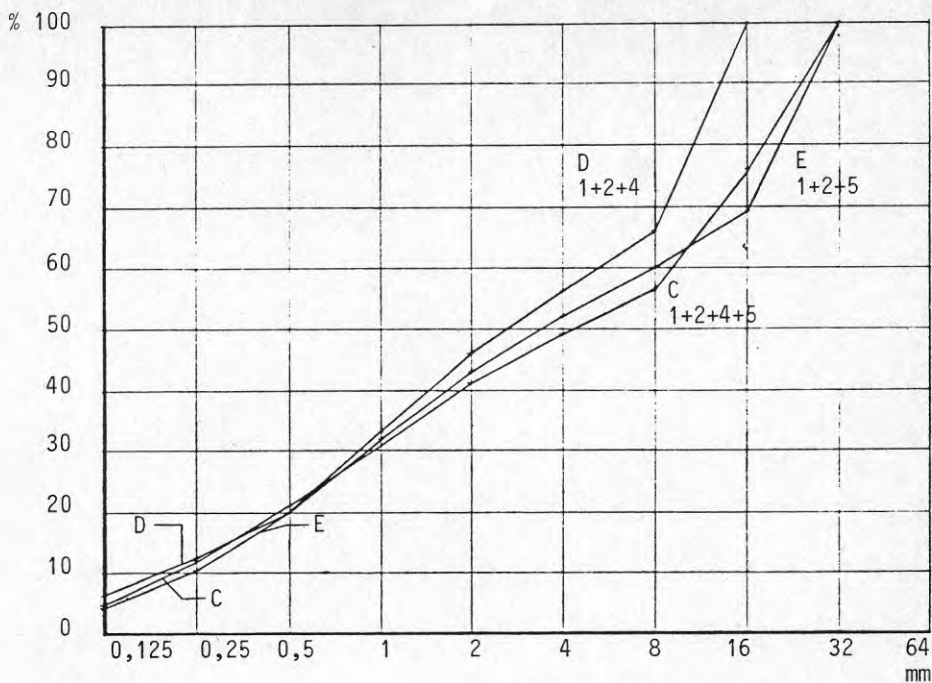


FIG 3.2 C Sammansatt ballastgradering. Se avsnitt 3.2.2 och TAB 4.1.  
Sifferbeteckningar avser ingående ballasttyper, avsnitt 3.1.2 och FIG 3.1 B.

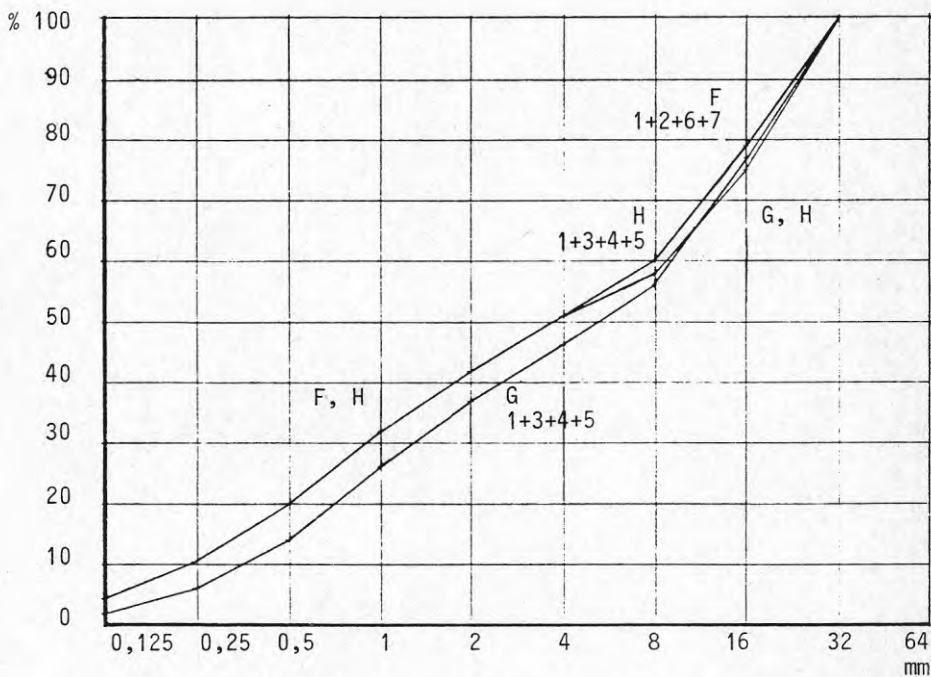


FIG 3.2 D Sammansatt ballastgradering. Se avsnitt 3.2.2 och TAB 4.1.  
Sifferbeteckningar avser ingående ballasttyper, avsnitt 3.1.2 och FIG 3.1 A-B.

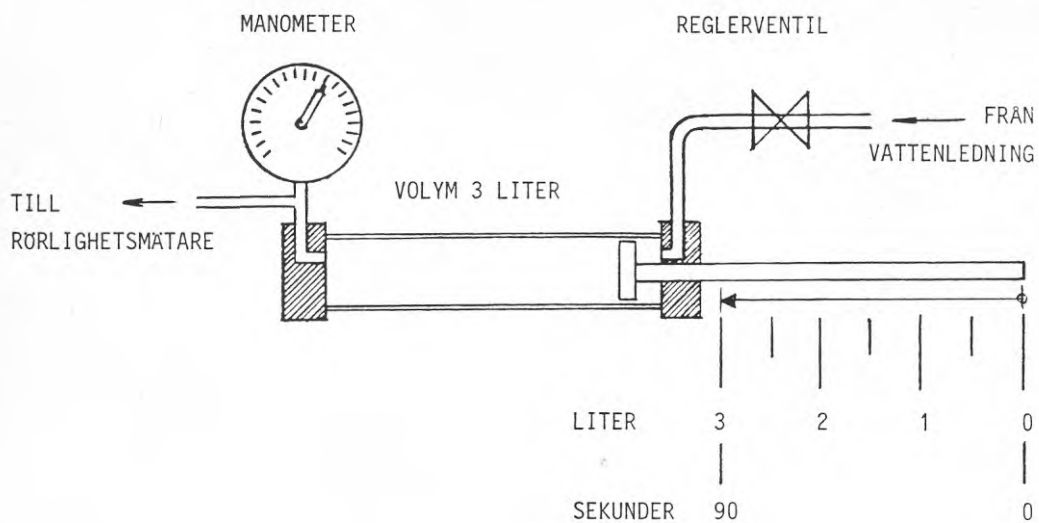


FIG 4.1 Mätning av betongmassas rörlighet.

Arrangemang för intryckning av en bestämd volym vatten och manometer för samtidig avläsning av erforderligt vattentryck.

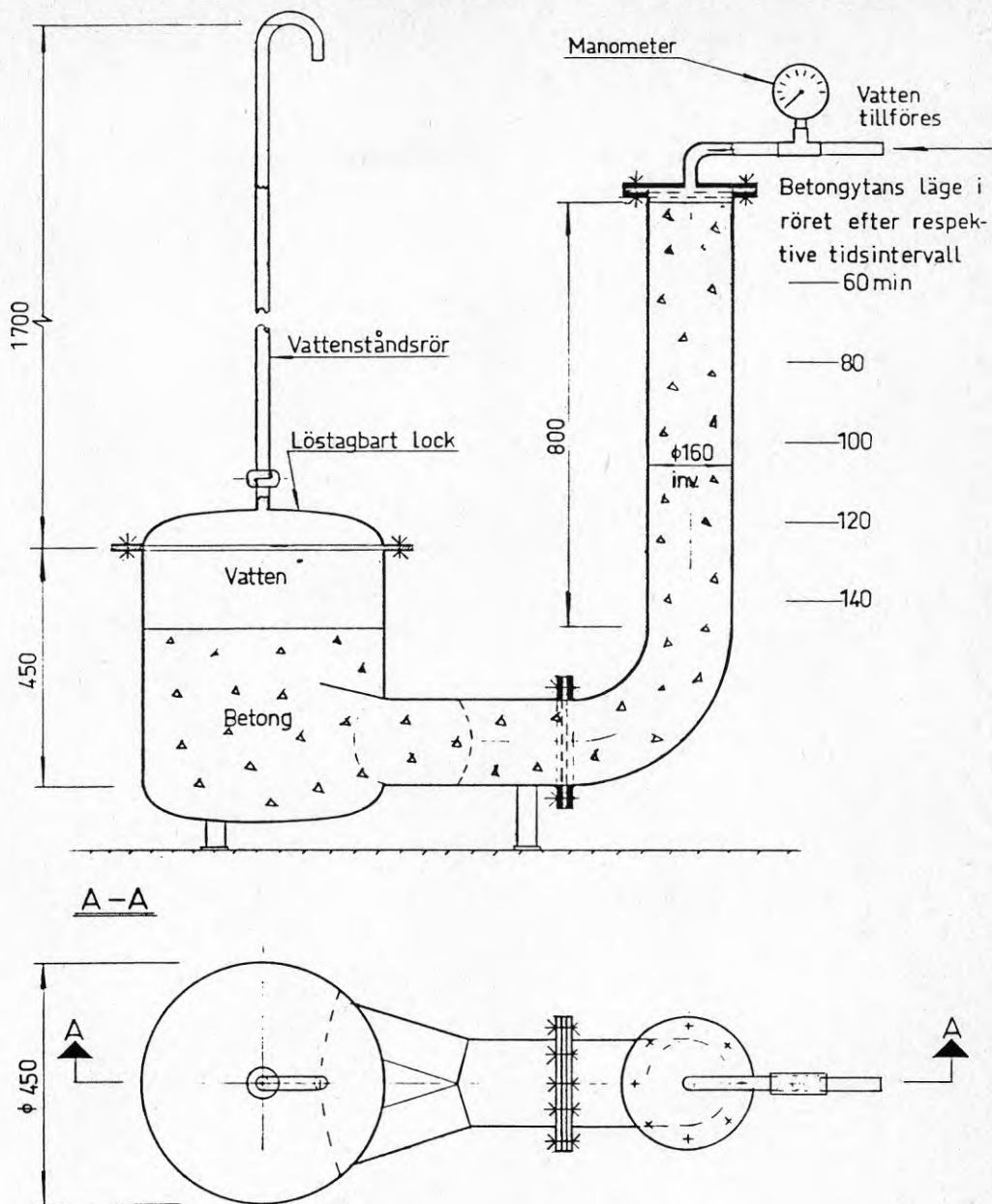


FIG 4.2 Mätning av betongmassas rörlighet.

Efter ifyllning av betong och vatten enligt figuren göres första mätning 60 min efter betongens blandning. 3 liter vatten tillföres under 90 sek med konstant hastighet, varvid betongmassan pressas nedåt i röret ca 150 mm. Erforderligt vattentryck mätes. Avläsning sker för varje 1/2 liter. Operationen upprepas var 20 min med sista mätning efter 140 min. Efter varje mätning nollställes vattentrycket.

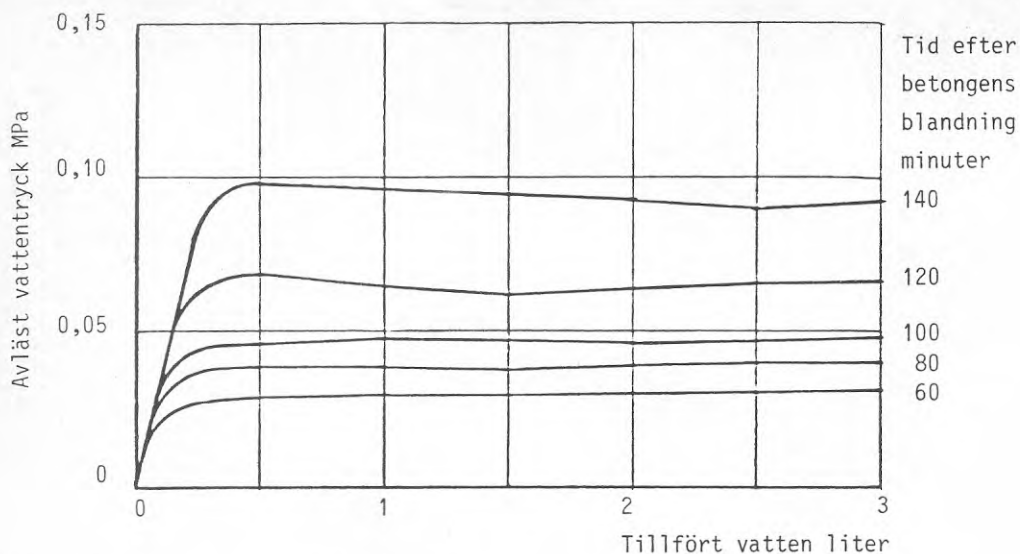


FIG 4.3 Betongs rörlighet. Exempel på mätningar under ett försök (nr 12). Varje kurva representerar avläsningar av erforderligt vattentryck vid ett mätningstillfälle, dvs då 3 liter vatten med jämn hastighet under loppet av 90 sekunder tryckes in.

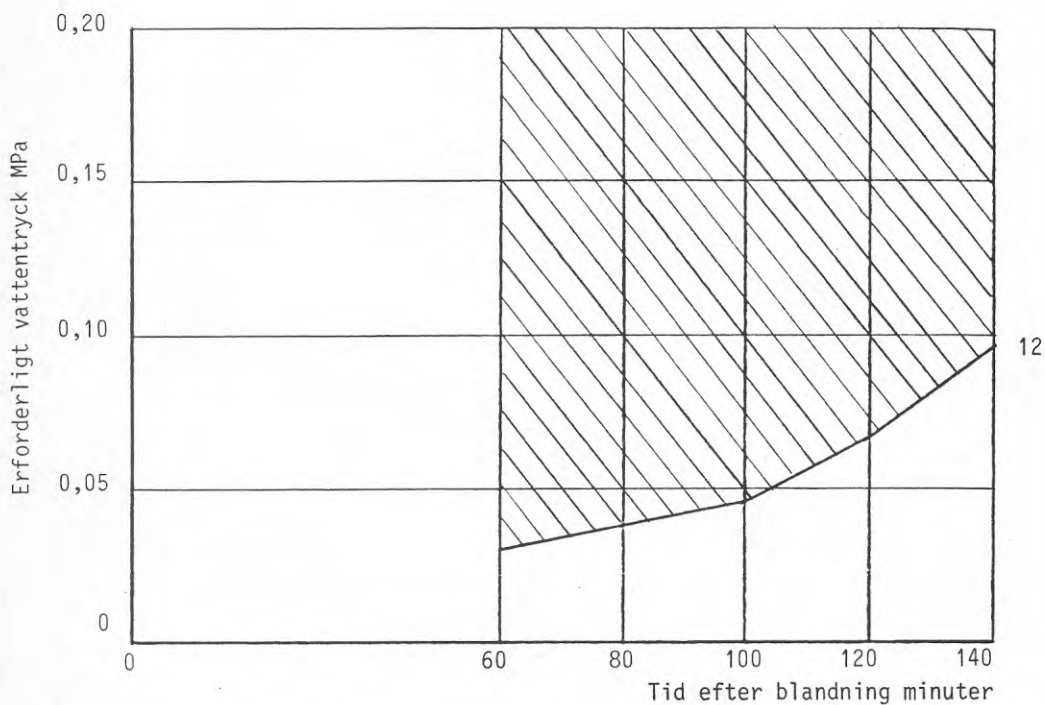
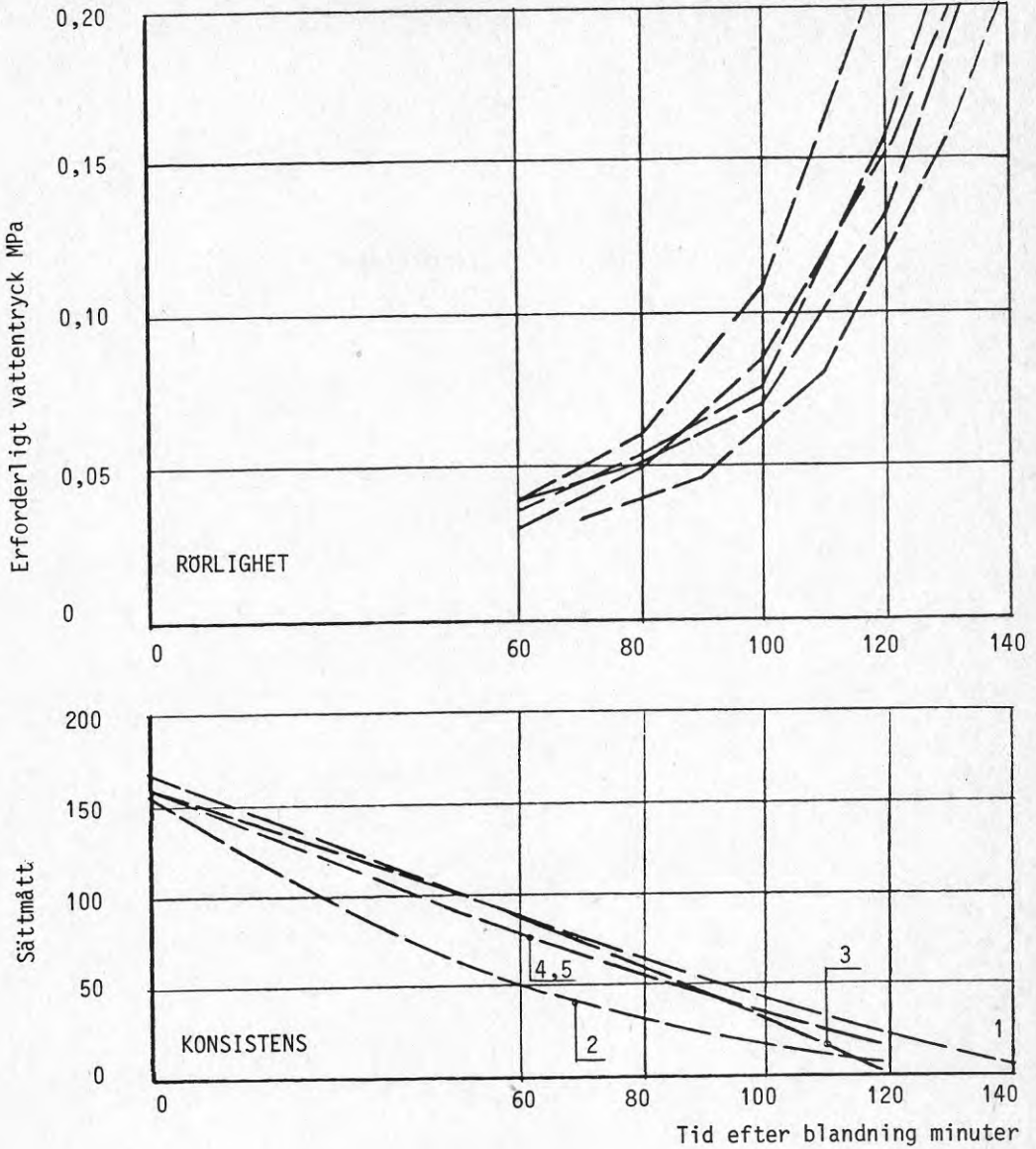


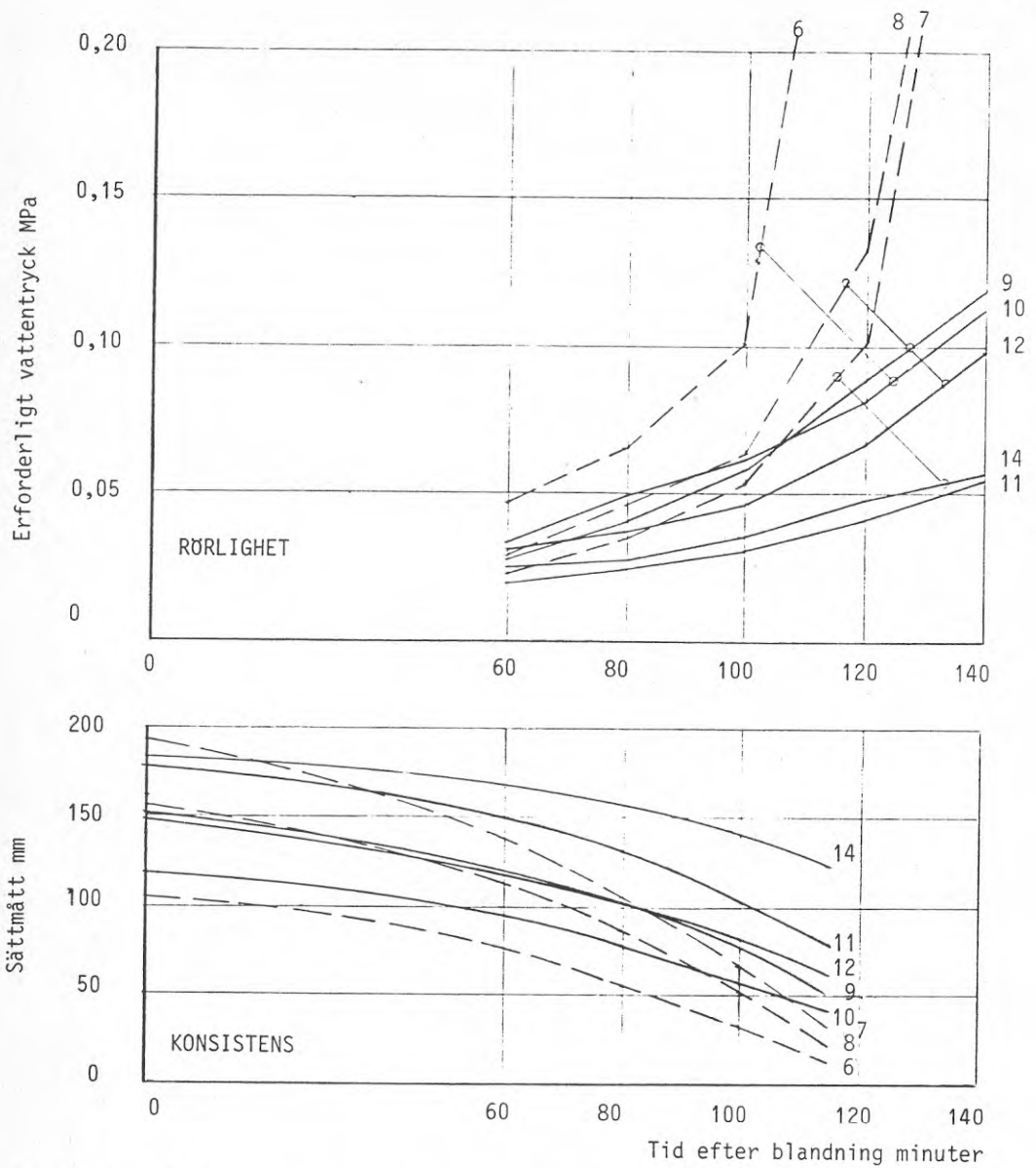
FIG 4.4 Betongs rörlighet. Exempel som anger hur mätresultaten, försök nr 12, redovisas. Det för varje tidpunkt angivna vattentrycket är medeltal av avläsningar enligt FIG 4.3. Den streckade ytan i diagrammet, ovanför respektive kurva benämns betongens rörlighet.

2 5 3 4 1



Försök nr	Siktkurva	Retarder	Sättnmätt	Rörlighet
1	A	-	165 mm	7,9
2	A	-	165	5,5
3	A	-	160	7,9
4	A	-	160	8,3
5	A	-	160	7,9

FIG 4.5 Rörlighet och konsistens. Mätresultat.  
Förberedande försök.



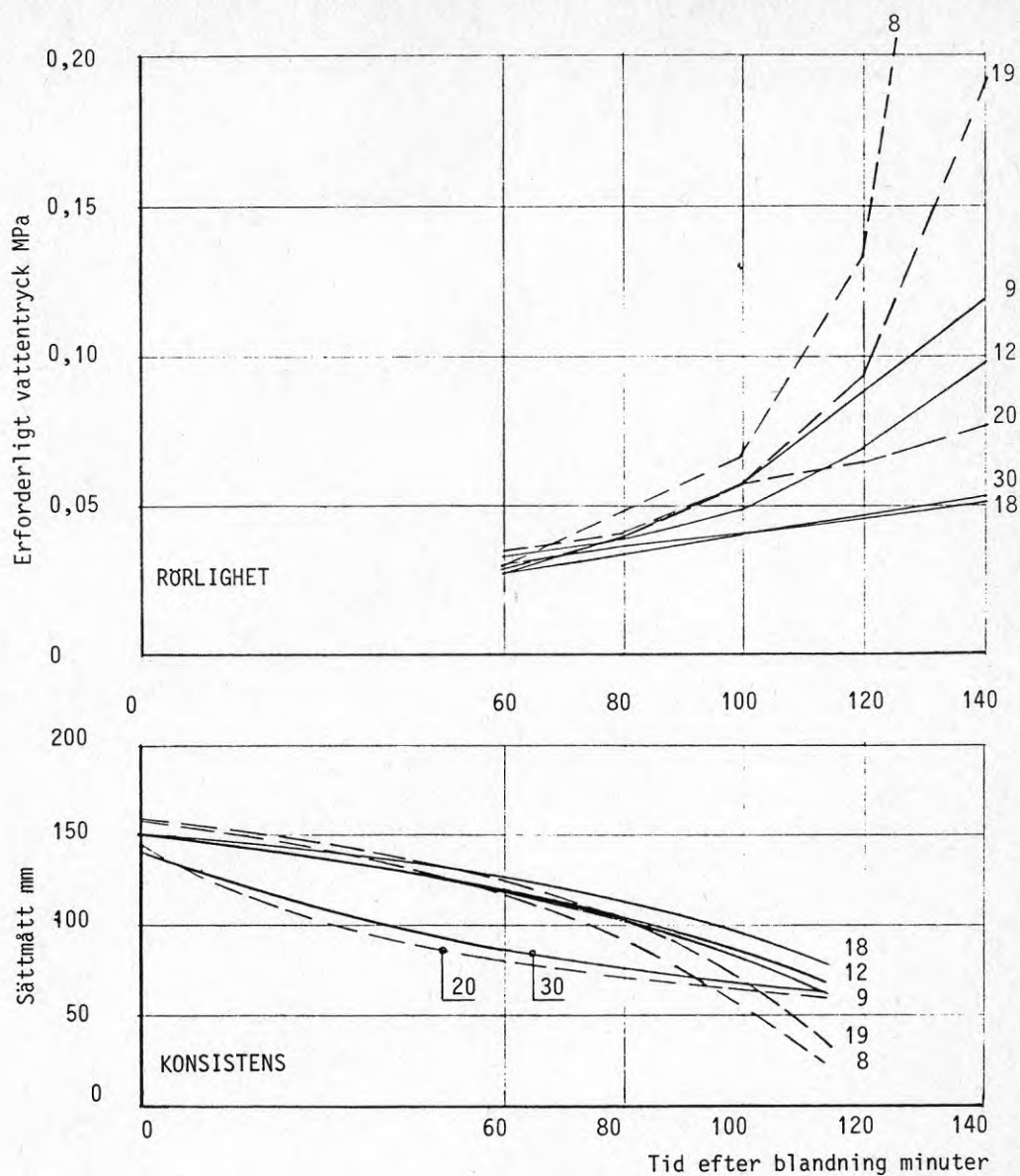
Försök nr	Siktkurva	Retarder	Sättnmätt	Rörlighet
6	B	-	110 mm	5,6
10	B	0,4 %	120 mm	10,8
8	B	-	160 mm	8,5
9	B	0,3 %	150 mm	11,0
12	B	0,4 %	150 mm	11,6
11	B	0,4 %	185 mm	13,5
7	A	-	195 mm	9,5
14	A	0,4 %	185 mm	13,1

Heldragen kurva betong med retarder. Streckad utan retarder.

FIG 4.6 Rörlighet och konsistens.

Olika konsistensnvar, med och utan retarder.

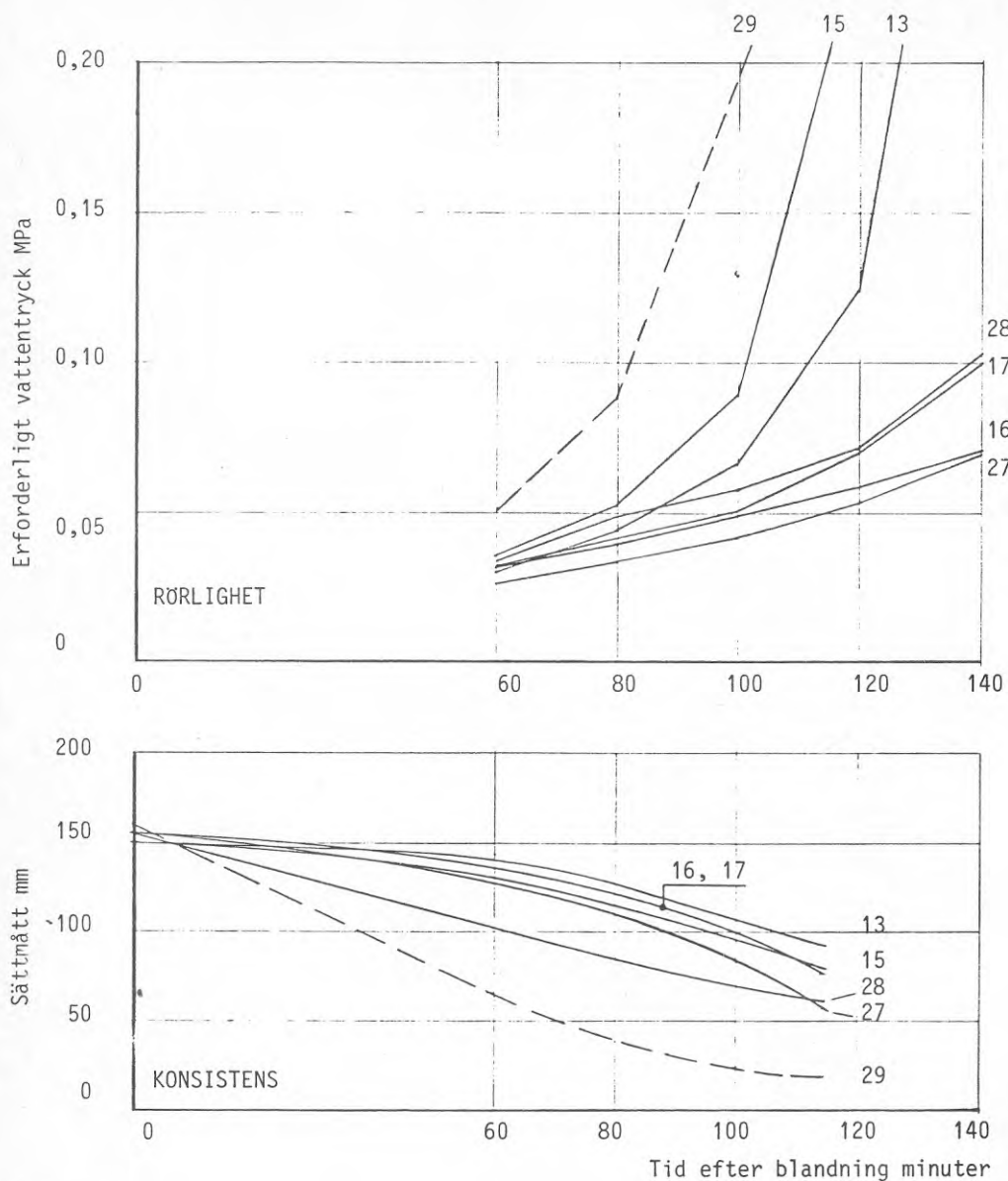




Försök nr	Siktkurva	Retarder	Annat tills.	Sättmått	Rörlighet
8	B	-	-	160 mm	8,5
9	B	0,3 %	-	150 mm	11,0
12	B	0,4 %	-	150 mm	11,6
30	B	0,8 %	-	145 mm	13,0
18	A	0,4 %	LP	150 mm	13,1
19	A	-	LP	160 mm	10,4
20	B	-	VR	150 mm	11,9

Heldragen kurva betong med retarder. Streckad utan retarder.

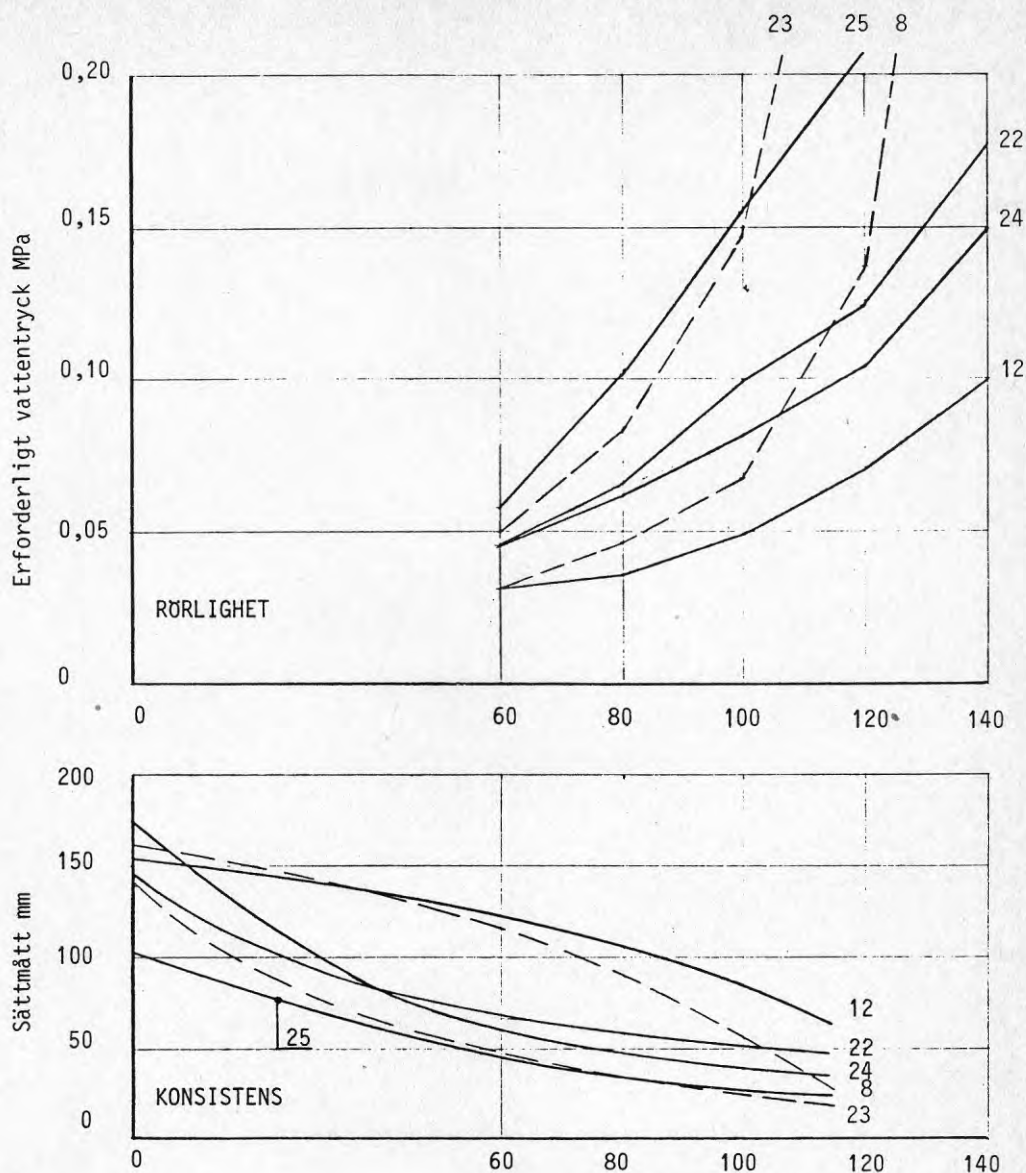
FIG 4.7 Rörlighet och konsistens.  
Olika tillsatsmedel.



Försök nr	Siktkurva	Stentyyp	Grustyp	Retarder	Sättmått	Rörlighet
16	E	Halvkross 16-32	Underås	R	155 mm	12,1
17	F	Makadam 8-32	Underås	R	155 mm	11,5
27	D	Rund 8-16	Undersås	R	155 mm	12,6
28	H	Halvkross 8-32	Bro	R	155 mm	11,2
29	H	Halvkross 8-32	Bro	-	160 mm	3,8
13	G	Halvkross 8-32	Bro	R	150 mm	8,5
15	G	Halvkross 8-32	Bro	R	150 mm	6,6

Heldragen kurva betong med retarder. Streckad utan retarder.

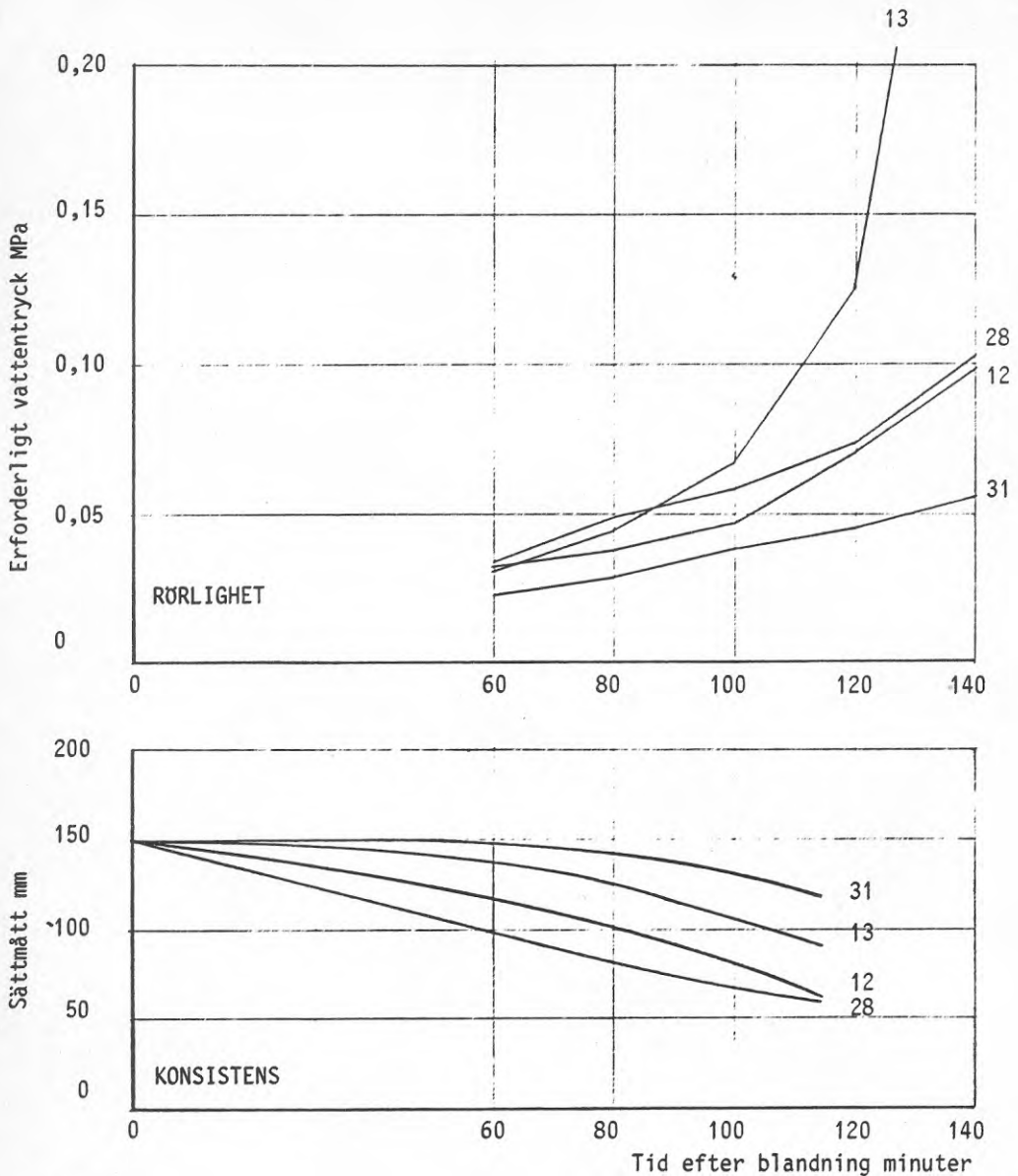
FIG 4.8 Rörlighet och konsistens.  
Olika grus- och stentyper.



Försök nr	Siktkurva	Retarder	Cement fabrikat	Sättnädd	Rörlighet
8	B	-	Slite	160 mm	8,5
12	B	R	Slite	150 mm	11,6
22	B	R	Skövde	150 mm	8,5
23	B	-	Skövde	155 mm	4,5
24	B	R	Skövde	180 mm	9,3
25	B	R	Skövde	110 mm	4,2

Heldragen kurva betong med retarder. Streckad utan retarder.

FIG 4.9 Rörlighet och konsistens.  
Olika cementfabrikat.

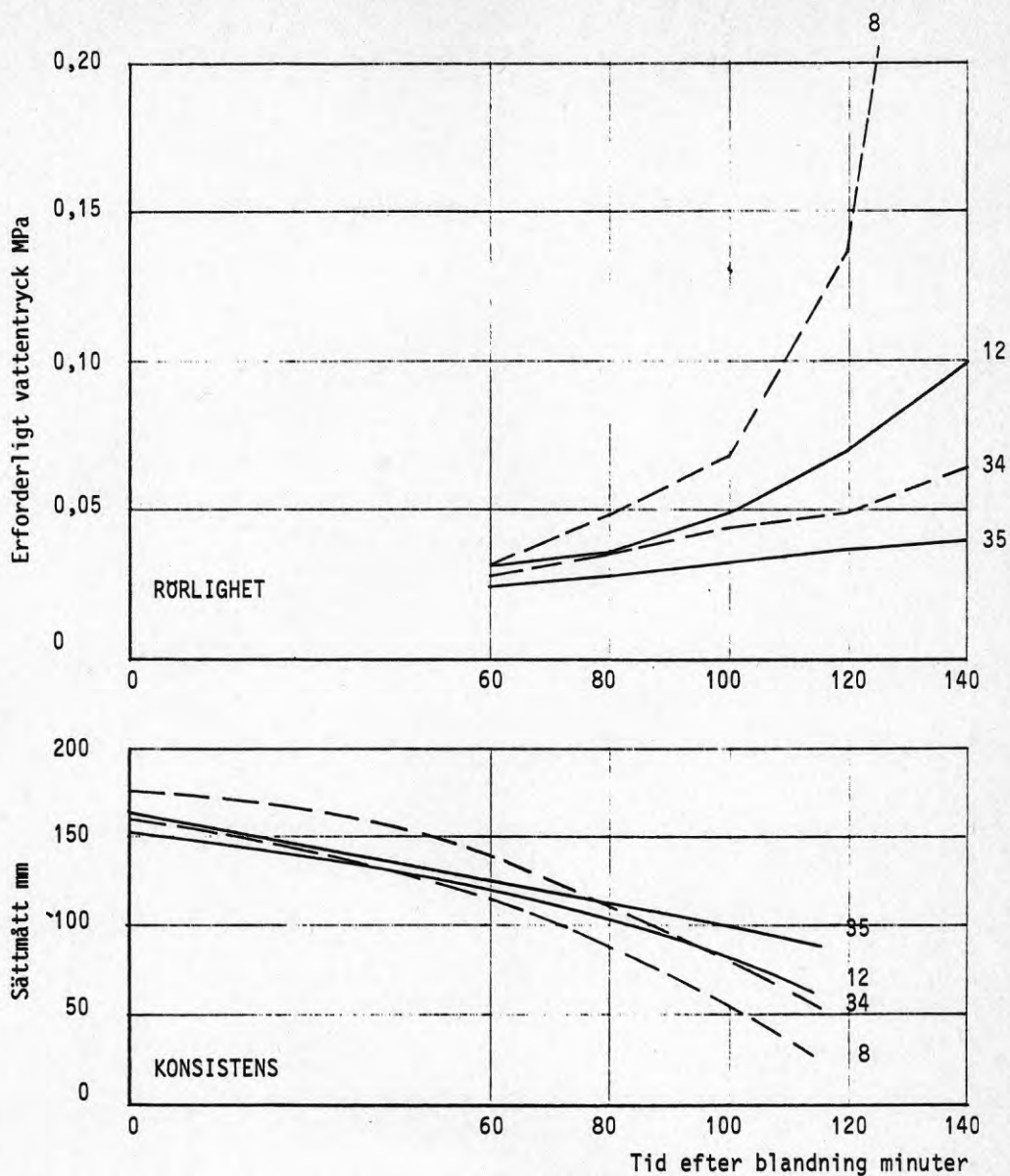


Försök nr	Siktkurva	Grus	% < 0,25 mm	Retarder	Sättnmätt	Rörlighet
13	G	Bro	5,7	R	155 mm	8,5
28	H	Bro	10,5	R	150 mm	11,2
12	B	Underås	10,1	R	150 mm	11,6
31	C	Underås	12,1	R	150 mm	13,1

Heldragen kurva betong med retarder. Streckad utan retarder.

Fig 4.10 Rörlighet och konsistens.

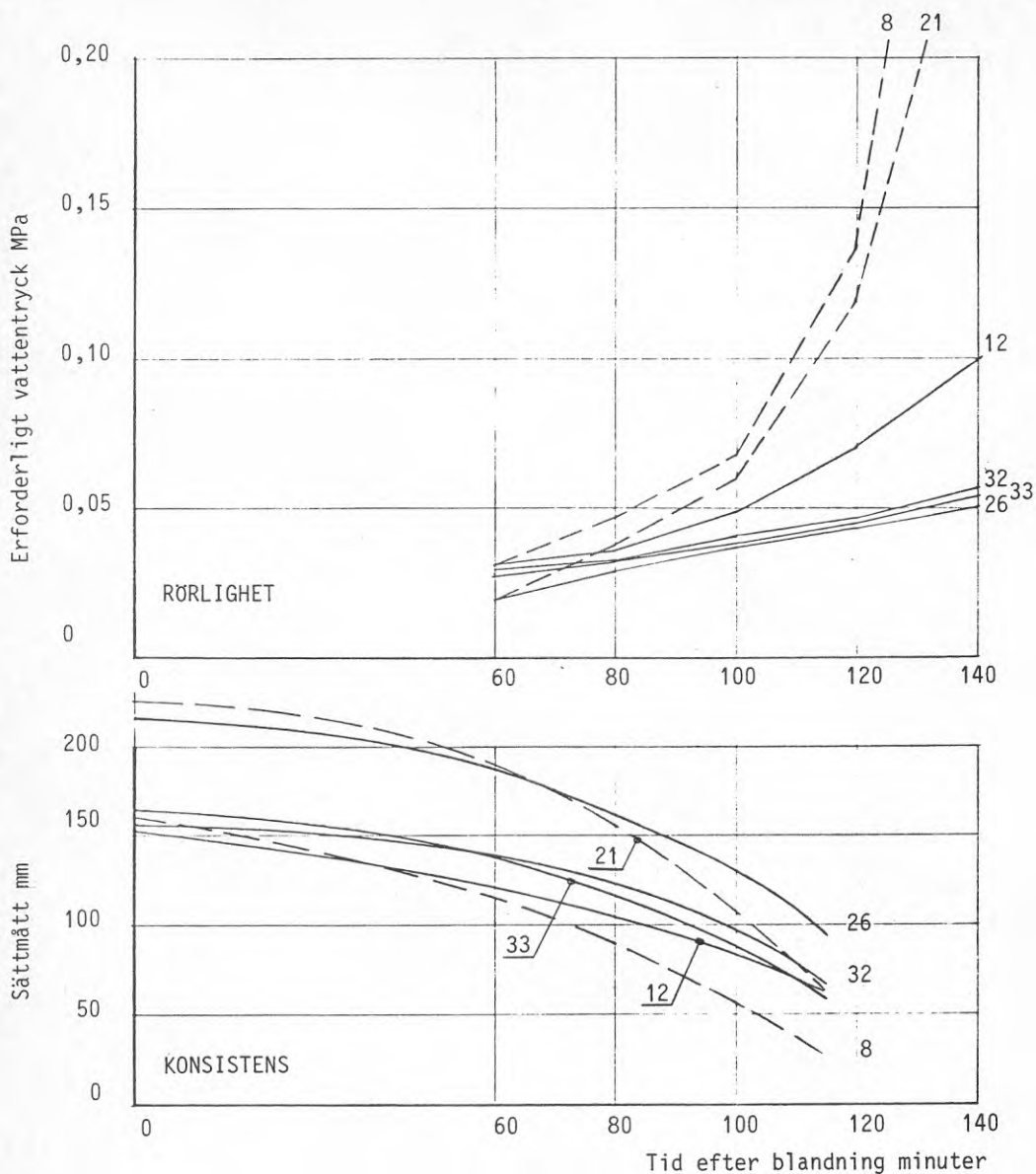
Olika mängd material < 0,25 mm hos sammansatt ballast.



Försök nr	Siktkurva	Temp.	Retarder	Sättnått	Rörlighet
8	B	19 <sup>o</sup> C	-	160 mm	8,5
12	B	20 <sup>o</sup> C	R	150 mm	11,6
34	B	9 <sup>o</sup> C	-	175 mm	12,6
35	B	9 <sup>o</sup> C	R	165 mm	13,5

Heldragen kurva betong med retarder. Streckad utan retarder.

FIG 4.11 Rörlighet och konsistens.  
Olika betongtemperaturer.

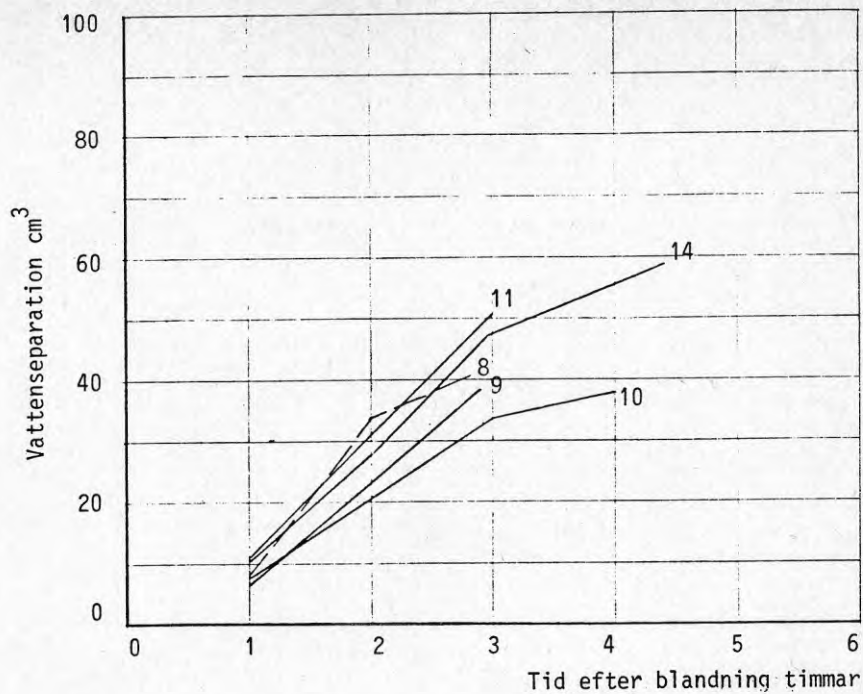


Försök nr	Siktkurva	Tillsats	Retarder	Sättningsmått mm	Rörlighet
8	B	-	-	160	8,5
12	B	-	R	150	11,6
21	B	Flyttillsats	-	120-220	9,2
26	B	Flyttillsats	R	100-210	13,2
32	B	Färg flytande	R	155	12,9
33	B	Färg pulver	R	165	13,1

Heldragen kurva betong med retarder. Streckad utan retarder.

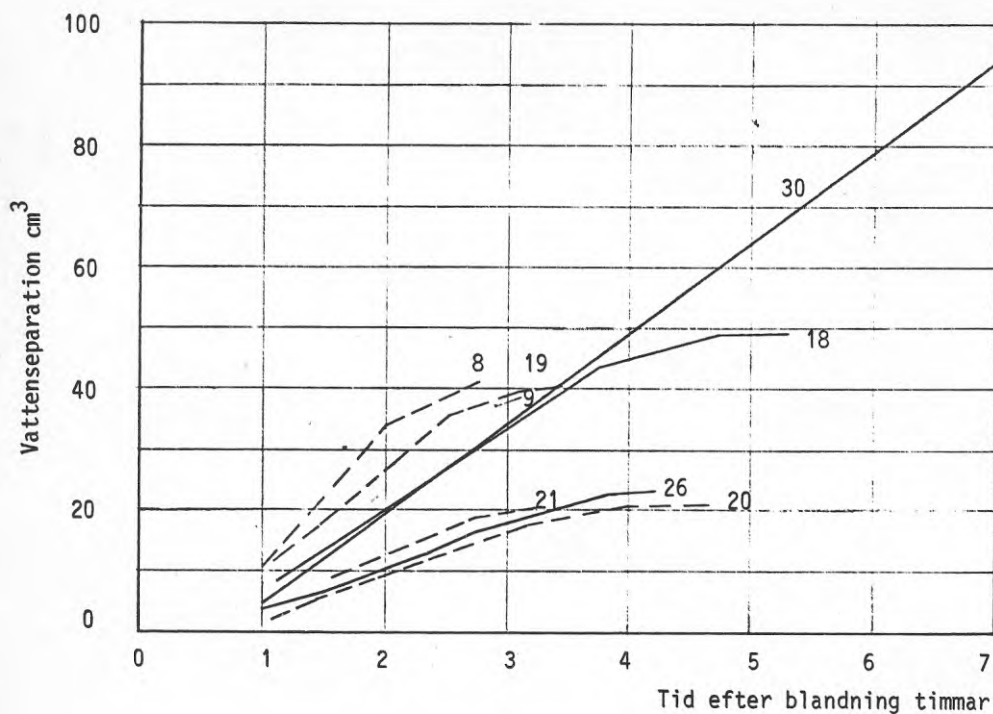
FIG 4.12 Rörlighet och konsistens.  
Flyttillsats, färgtillsats.





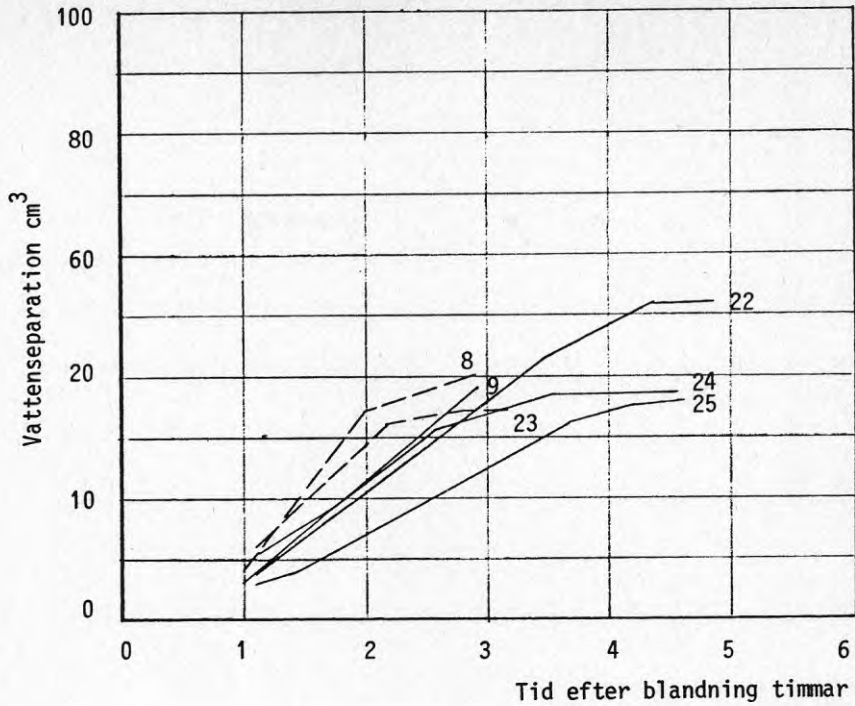
Försök nr	Sikt-kurva	Retarder	Sättnmätt	Rörlighet
10	B	R 0,4 %	120 mm	10,8
8	B	-	160	8,5
9	B	R 0,3	150	11,0
11	B	R 0,4	185	13,5
14	A	R 0,4	185	13,1

FIG 4.13 Vattenseparation  
Olika konsistensnivåer



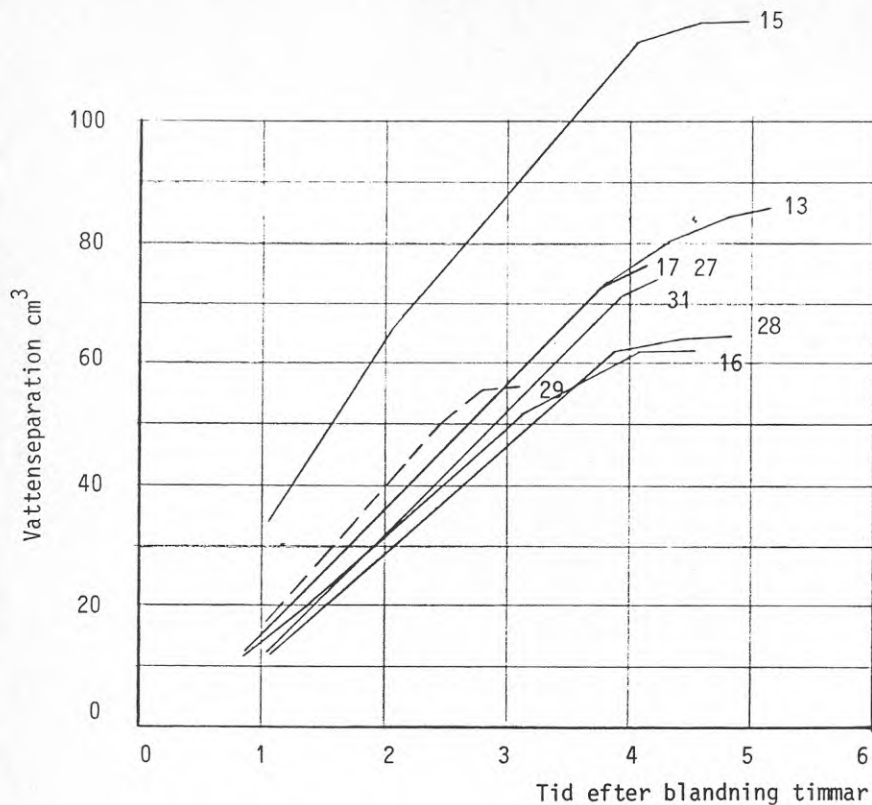
Försök nr	Sikt-kurva	Retarder	Annan tills.	Sättning	Rörlighet
8	B	-	-	160 mm	8,5
9	B	R 0,3 %	-	150	11,0
30	B	R 0,8	-	145	13,0
18	A	R 0,4	LP	150	13,1
19	A	-	LP	150	10,4
20	B	-	VR	150	11,9
21	B	-	Flyttillsats	120 -> 210	9,2
26	B	R 0,4 %	Flyttillsats	110 -> 210	13,1

FIG 4.14 Vattenseparation  
Olika tillsatsmedel



Försök nr	Sikt-kurva	Retarder	Sättnått	Cement-fabrikat	Rörlighet
8	B	-	160	Slite	8,5
9	B	R	150	Slite	11,0
22	B	R	150	Skövde	8,5
23	B	-	155	Skövde	4,9
24	B	R	180	Skövde	9,3
25	B	R	110	Skövde	5,2

FIG 4.15 Vattenseparation  
Olika cementfabrikat



Försök nr	Sikt-kurva	Retarder	Sättnått	Rörlighet	Anmärkning
16	E	R	155 mm	12,1	Sten 16-32
17	F	R	155	11,5	Makadam 8-32
27	D	R	155	12,6	Stenstorl. 16
31	C	R	150	13,1	12,1 % < 0,25 mm
28	H	R	155	11,2	Bro 10,5 % < 0,25
29	H	-	160	3,8	" 10,5 % < 0,25
13	G	R	150	8,5	" 5,7 % < 0,25
15	G	R	150	6,6	" 5,9 % < 0,25

Där ej annat anges har fingruset varit Underås.

FIG 4.16 Vattenseparation  
Olika grus- och stentyper

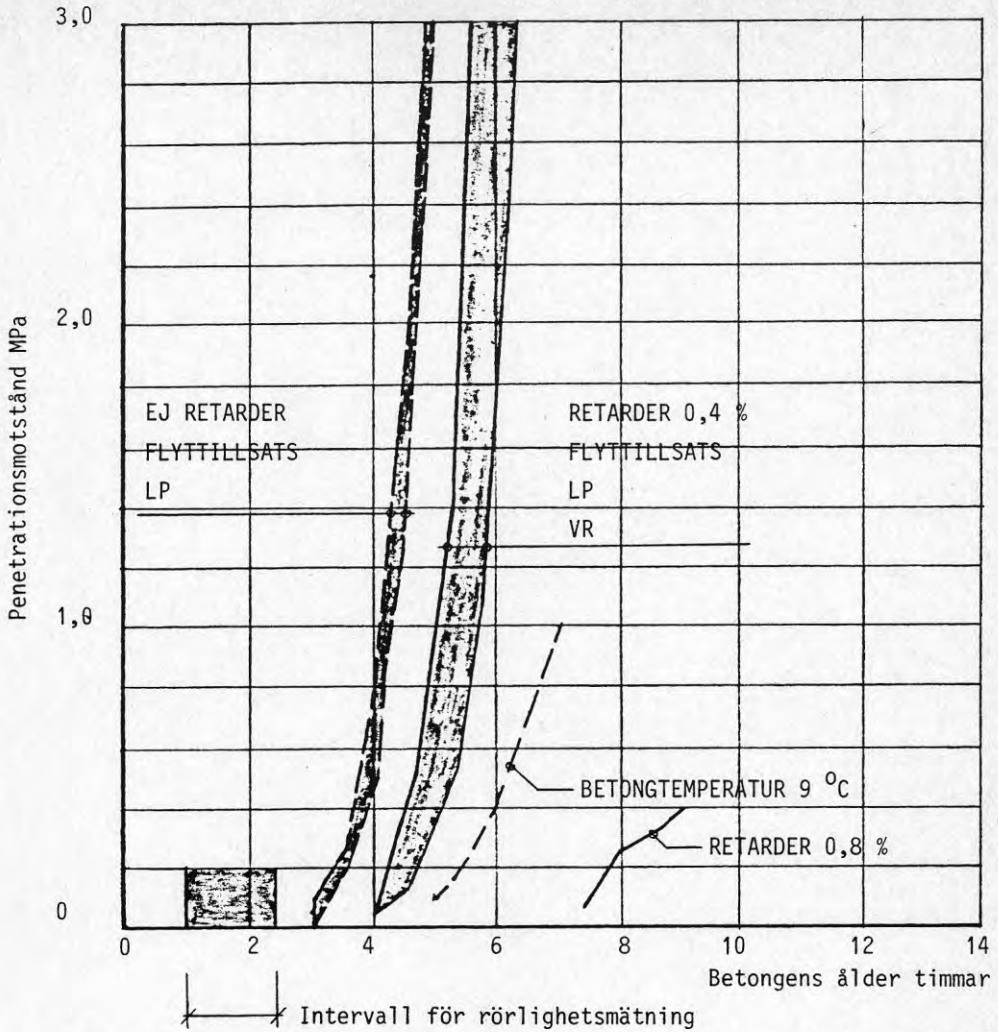


FIG 4.17 Penetrationsmotstånd

Mätresultaten har, med två undantag, samlats i två grupper, utan och med retarder. Mätning av rörlighet sker under ett mera aktuellt tidsskede än mätning av penetration.

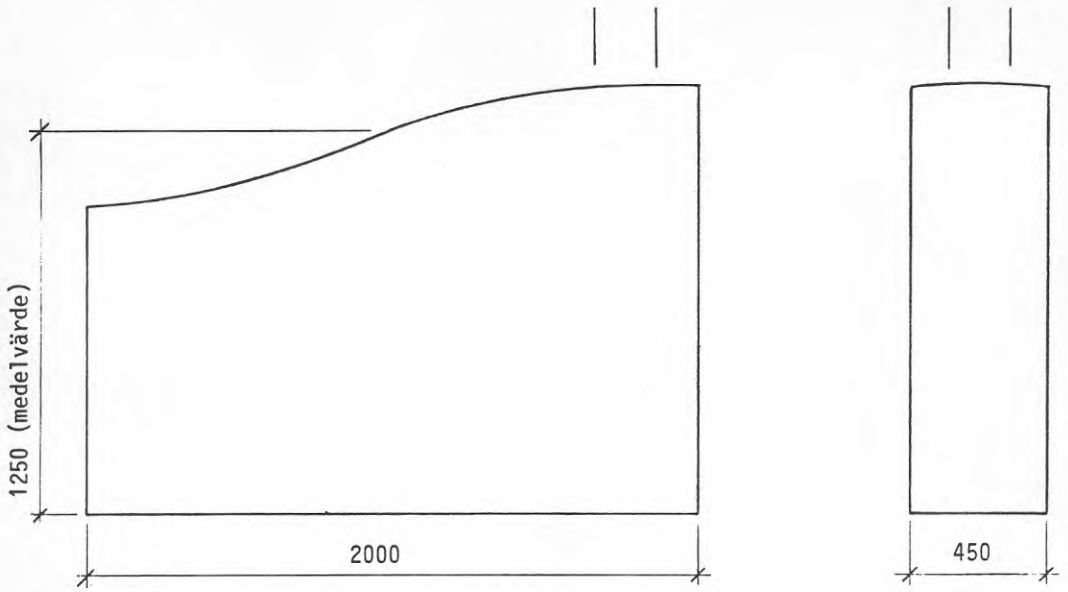


FIG 5.1 Mått. Monolit med ett gjuetrör.

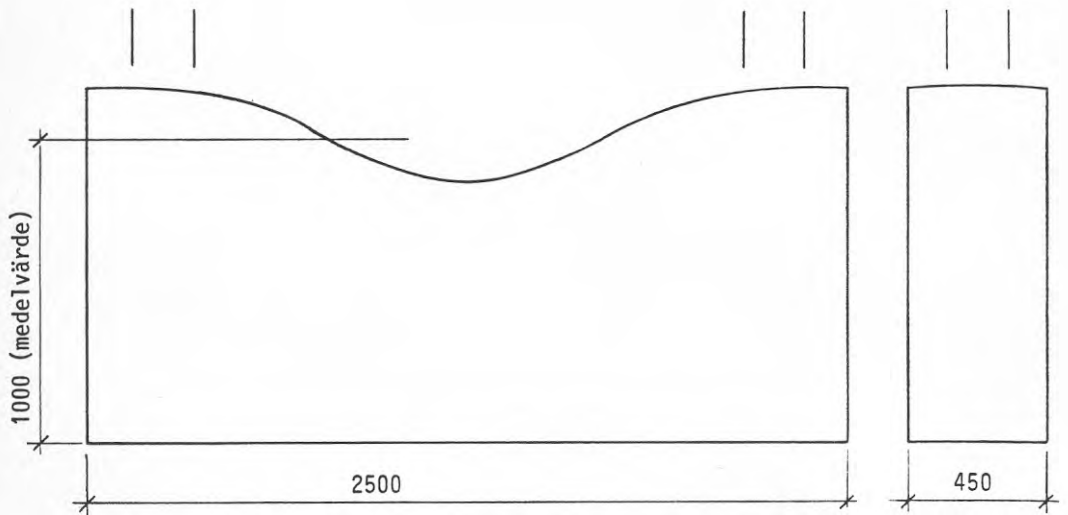


FIG 5.2 Mått. Monolit med två gjuetrör.



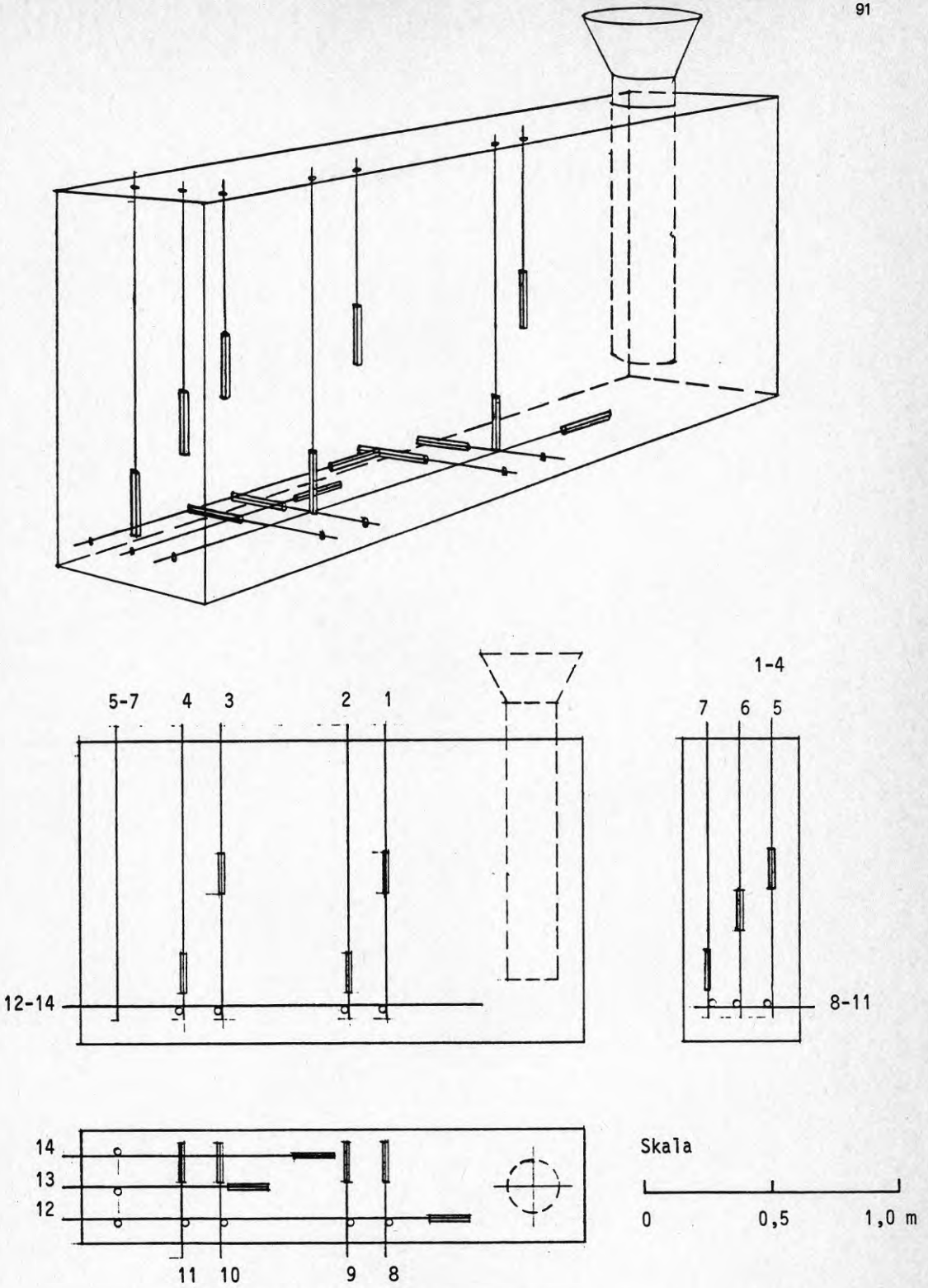


FIG 5.3 Armeringsstänger och ingjutningsställen i monoliter gjutna med ett gjutrör.

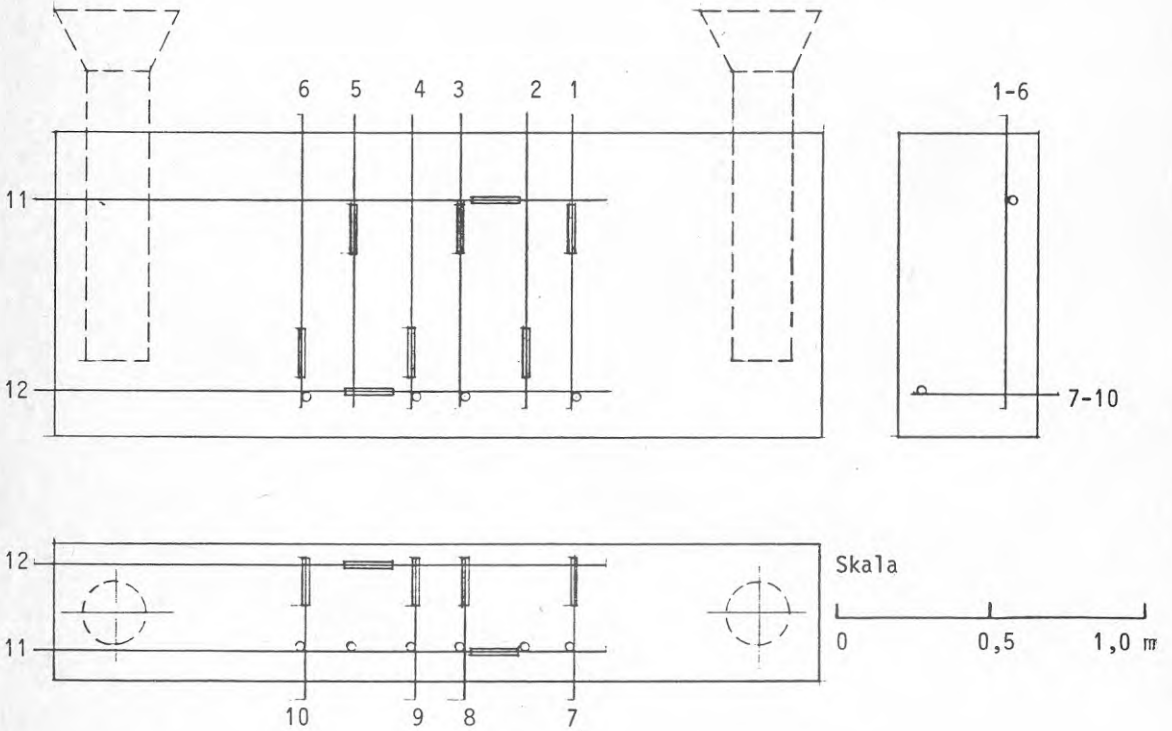
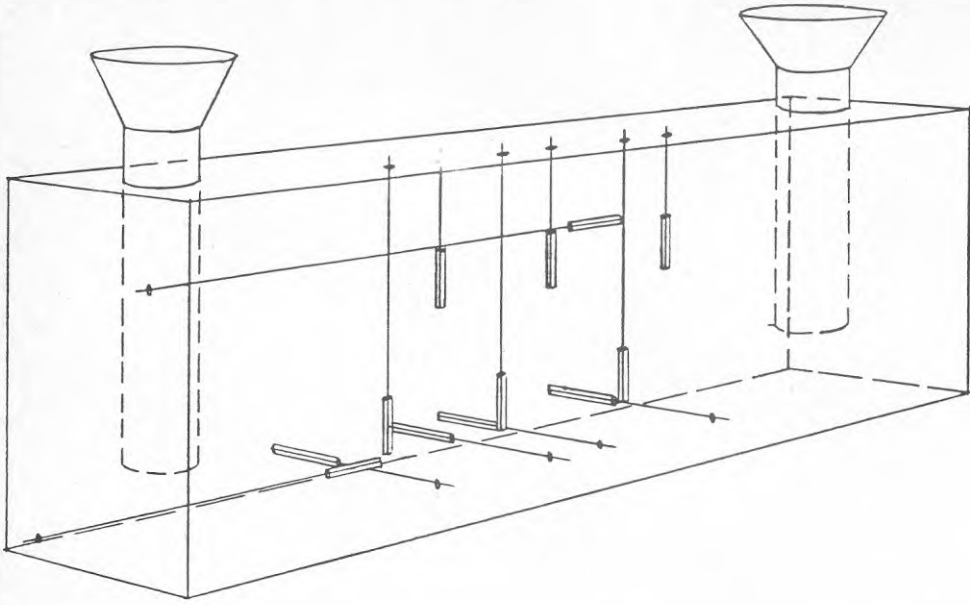


FIG 5.4 Armeringsstänger och ingjutningsställena i monoliter gjutna med två gjutrör.

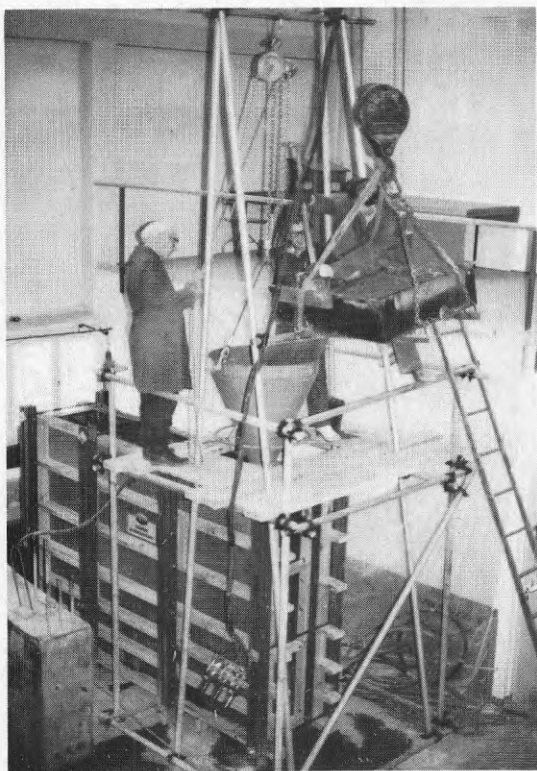
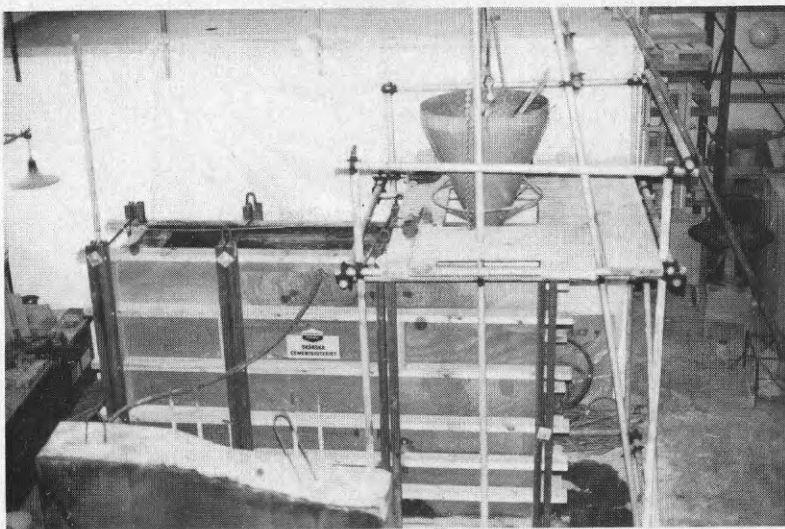
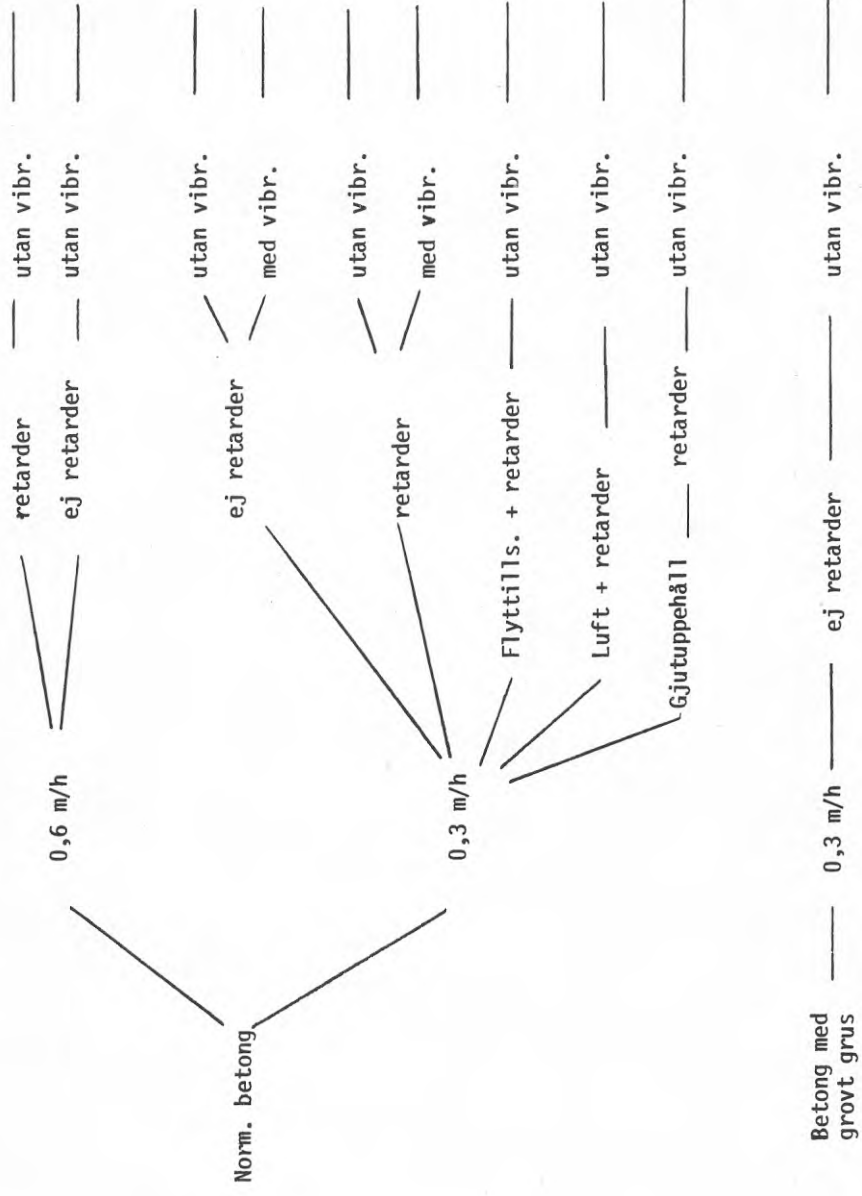


FIG 5.5 Form och gjut-  
anordningar för  
monoliter.



Betong med grovt grus

FIG 5.6 Monoliter med ett gjutrör. Schema över genomförda gjutningar.

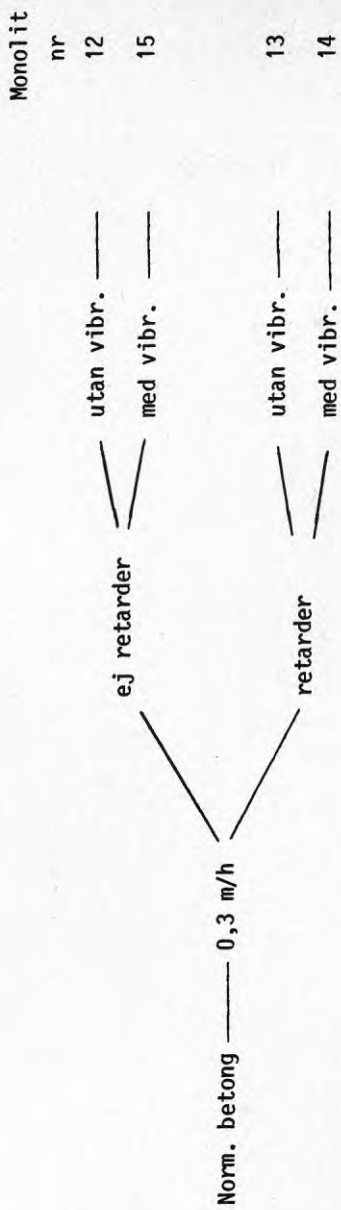


FIG 5.7 Monoliter med två gjutrör. Schema över genomförda gjutningar.

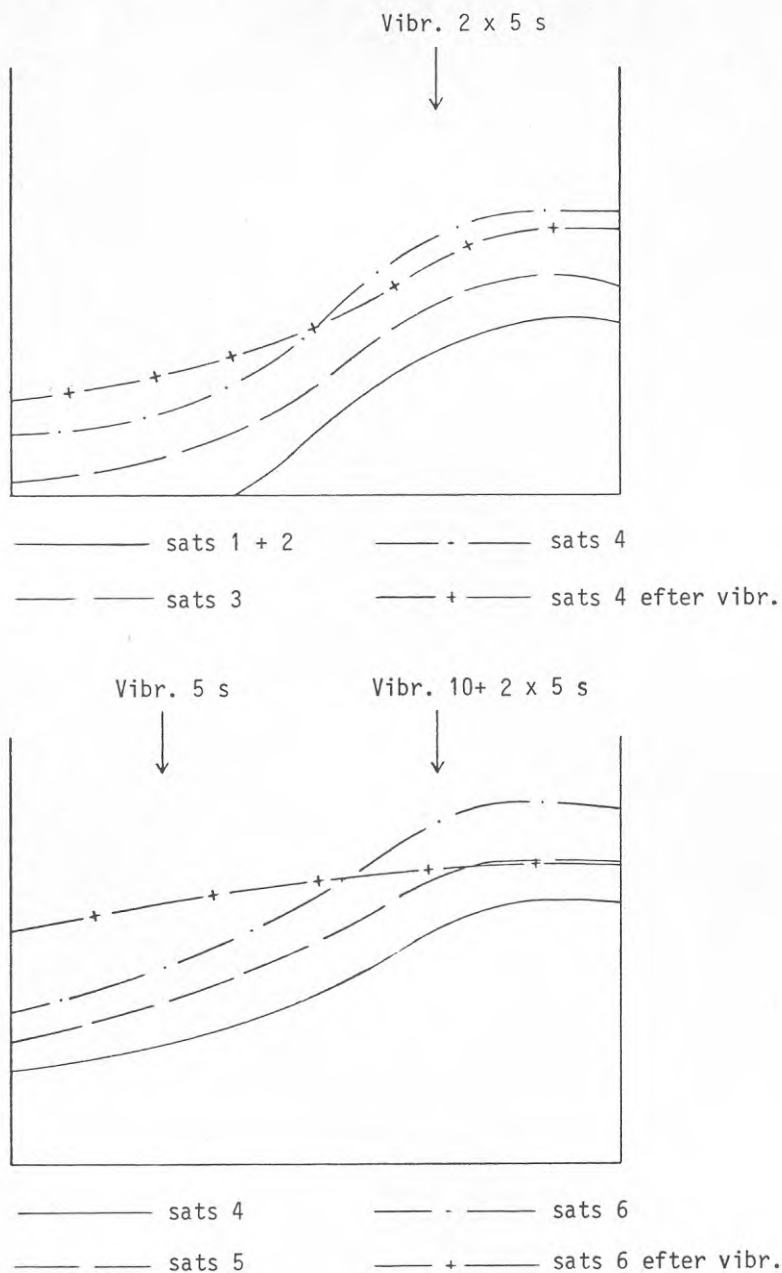


FIG 5.8 A Monolit 2. Pejlat läge hos betongytan efter olika gjutsatser. (Sats 1-6).



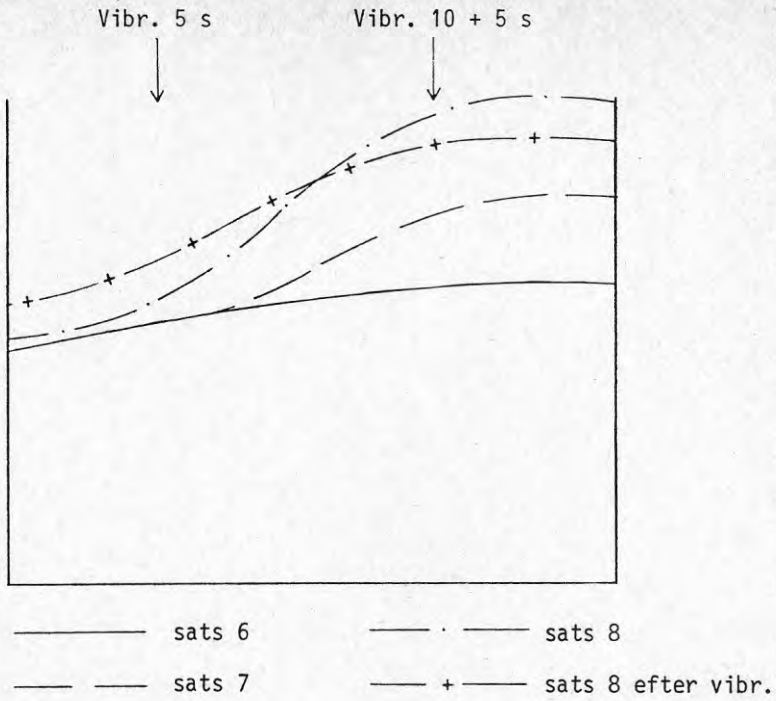
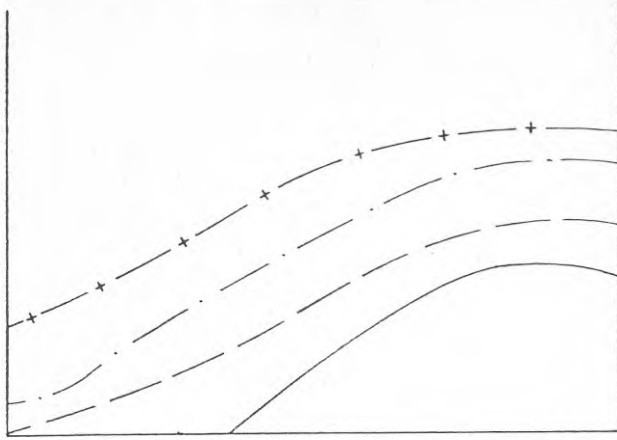


FIG 5.8 B Monolit 2. Pejlat läge hos betongytan efter olika gjutsatser. (Sats 6-8).

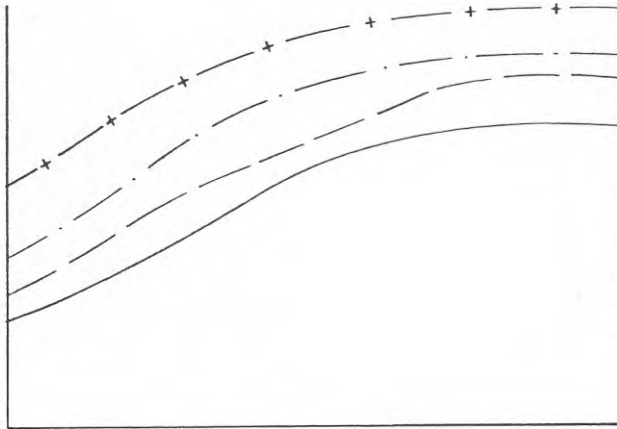


———— sats 1 + 2

— · — sats 4

----- sats 3

— + — sats 5



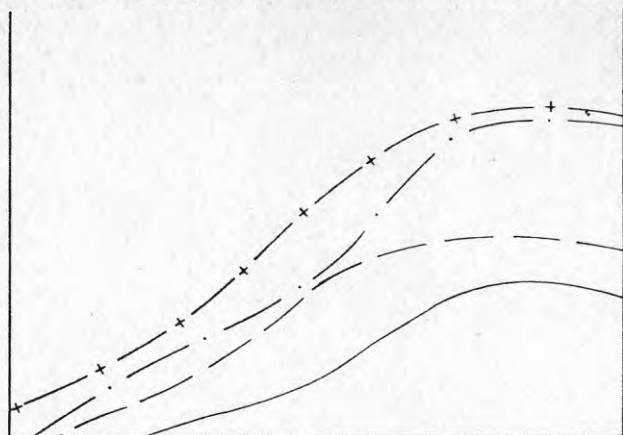
———— sats 5

— · — sats 7

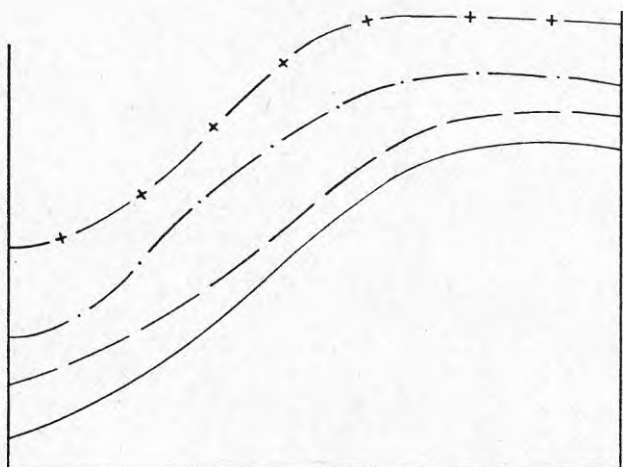
----- sats 6

— + — sats 8

FIG 5.9 Monolit 3. Pejlat läge hos betongytan efter olika gjutsatser.



————— sats 1 + 2      — · — sats 4  
 - - - - - sats 3      — + — sats 5



————— sats 5      — · — sats 7  
 - - - - - sats 6      — + — sats 8

FIG 5.10 Monolit 4. Pejlat läge hos betongytan efter olika gjutsatser.

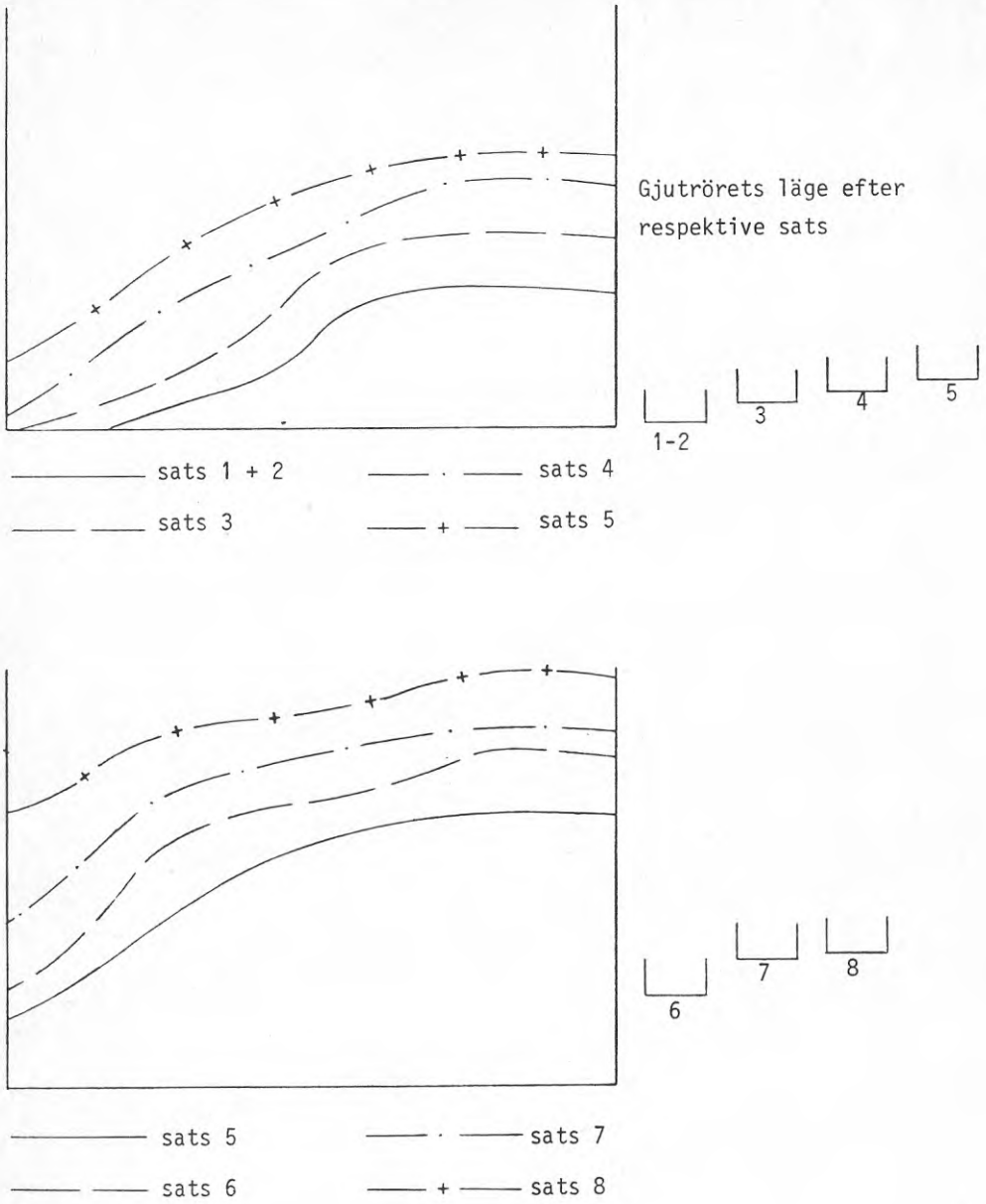


FIG 5.11 Monolit 6. Pejlat läge hos betongytan efter olika gjutsatser.

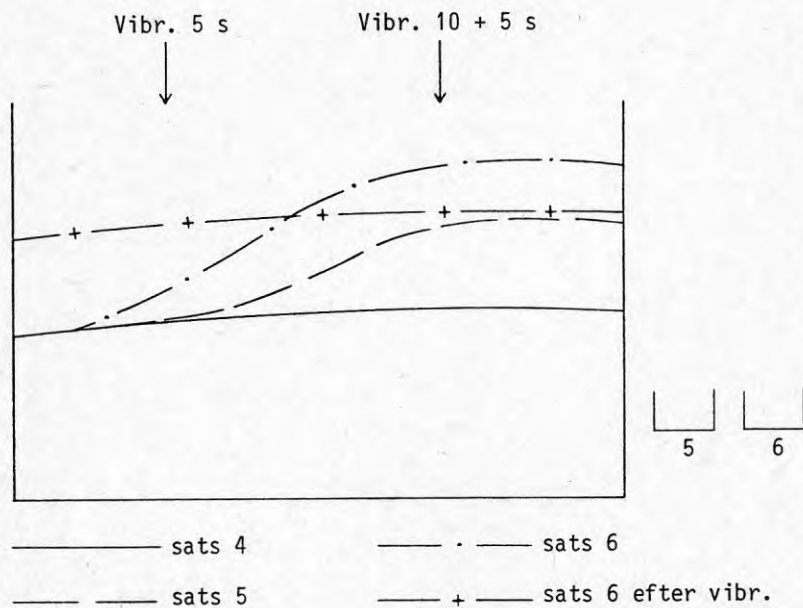
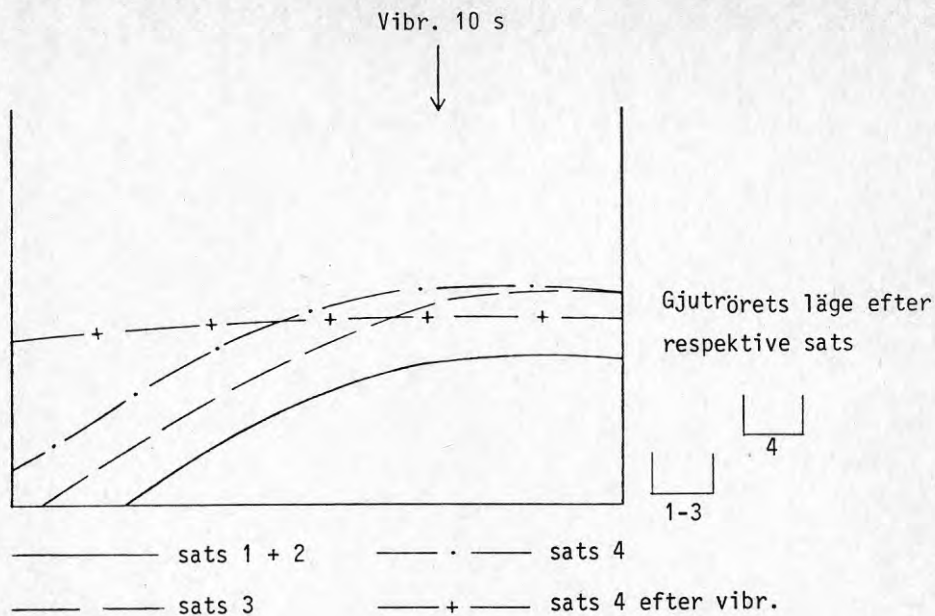


FIG 5.12 A Monolit 7. Pejlat läge hos betongytan efter olika gjutsatser. (Sats 1-6).

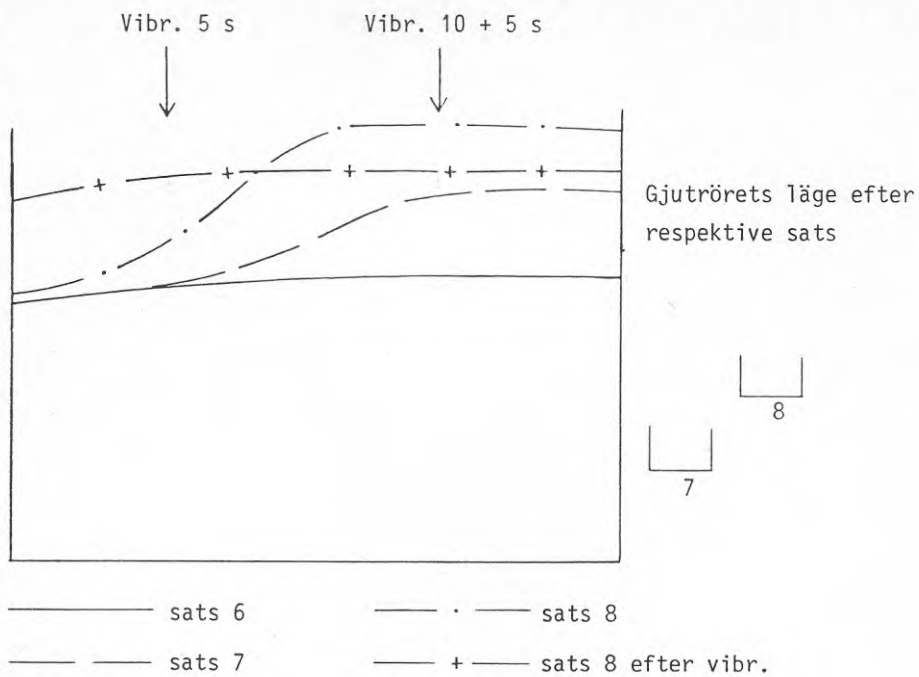


FIG 5.12 B Monolit 7. Pejlat läge hos betongytan efter olika gjutsatser. (Sats 6-8).



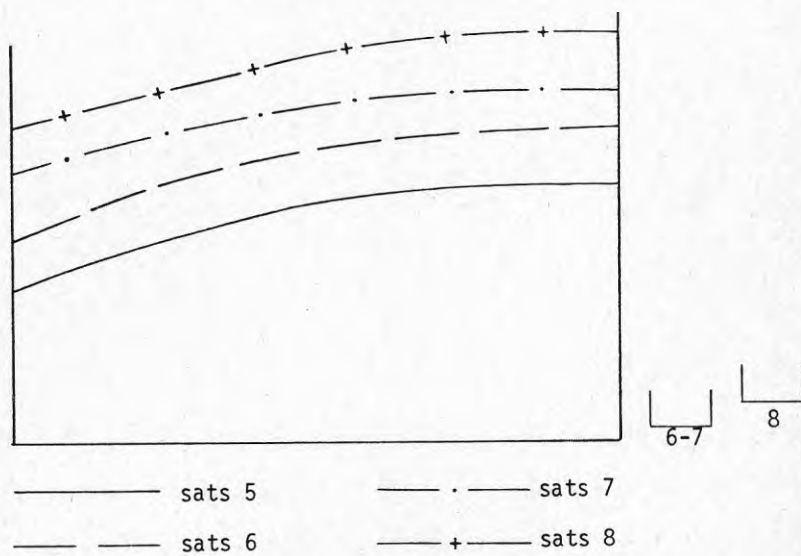
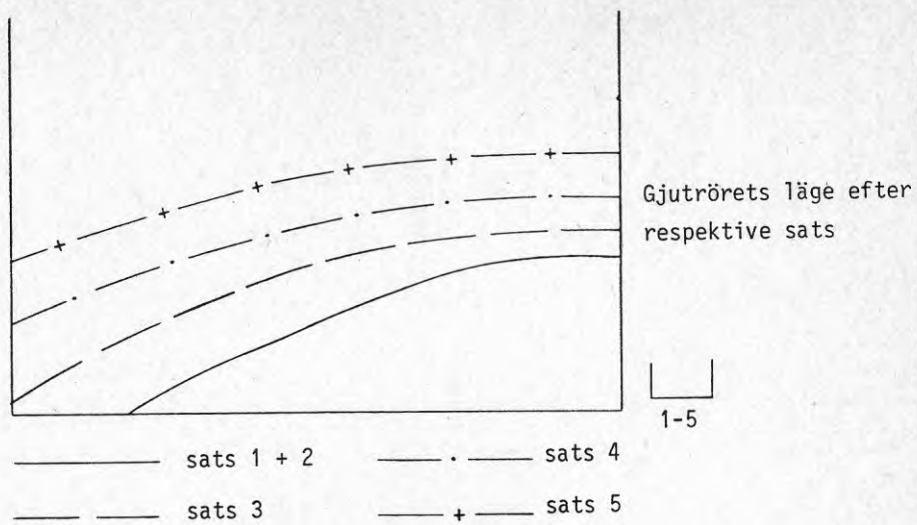


FIG 5.13 Monolit 8. Pejlat läge hos betongytan efter olika gjutsatser.

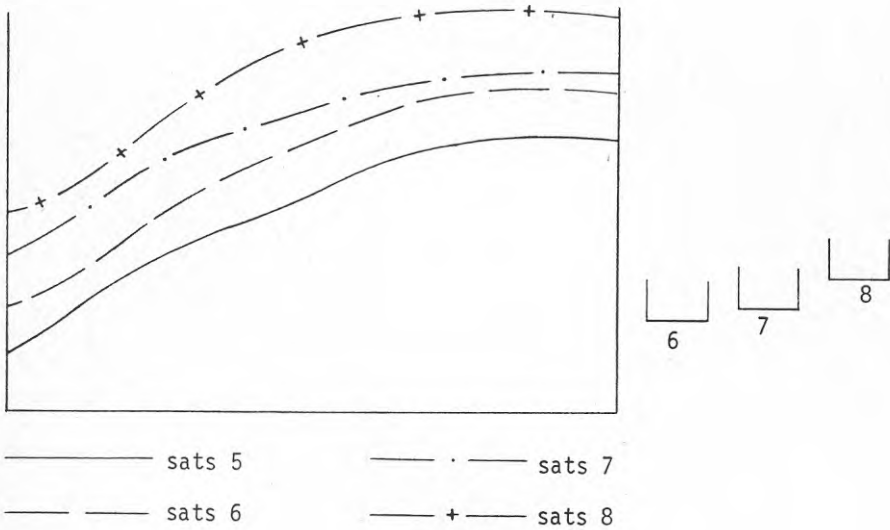
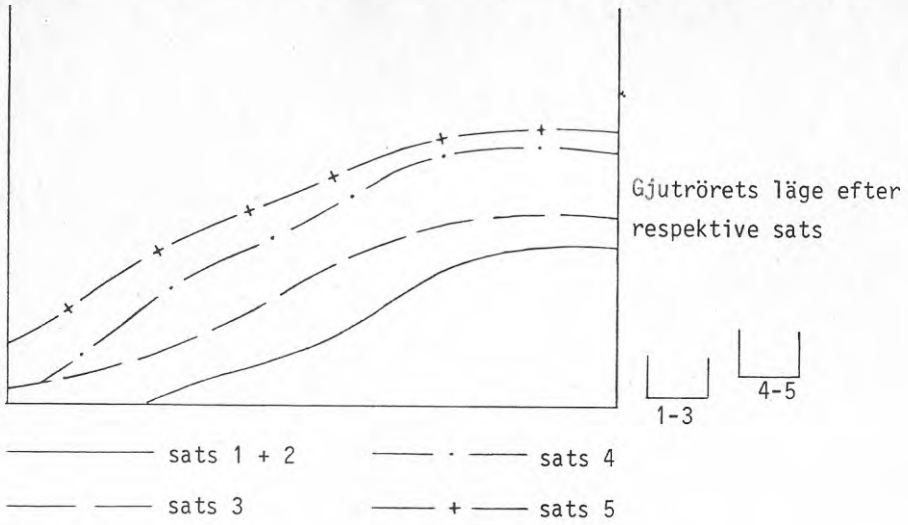


FIG 5.14 Monolit 9. Pejlat läge hos betongytan efter olika gjutsatser.

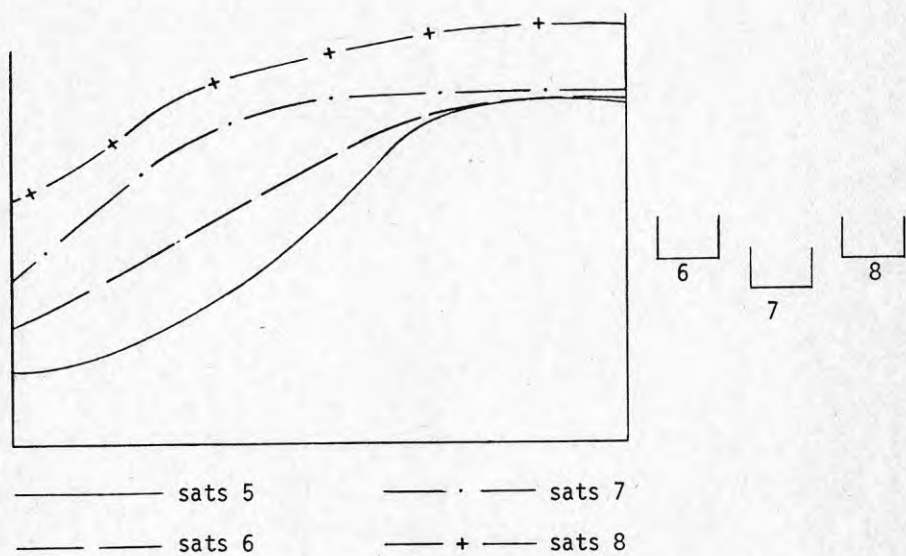
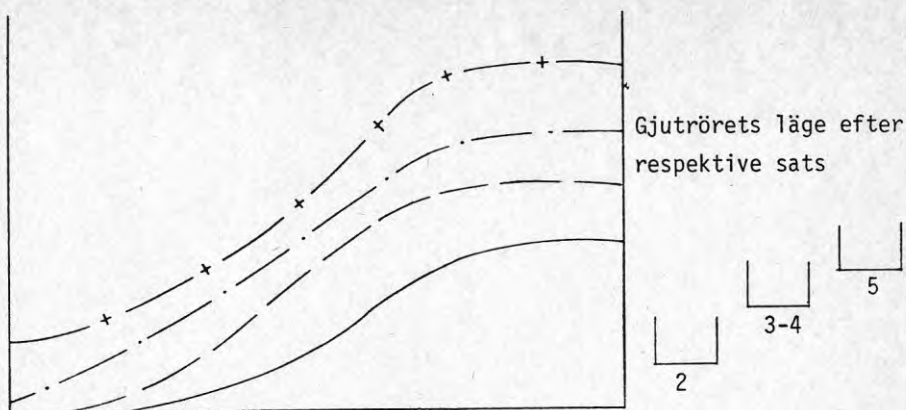


FIG 5.15 Monolit 10. Pejlat läge hos betongytan efter olika gjutsatser.

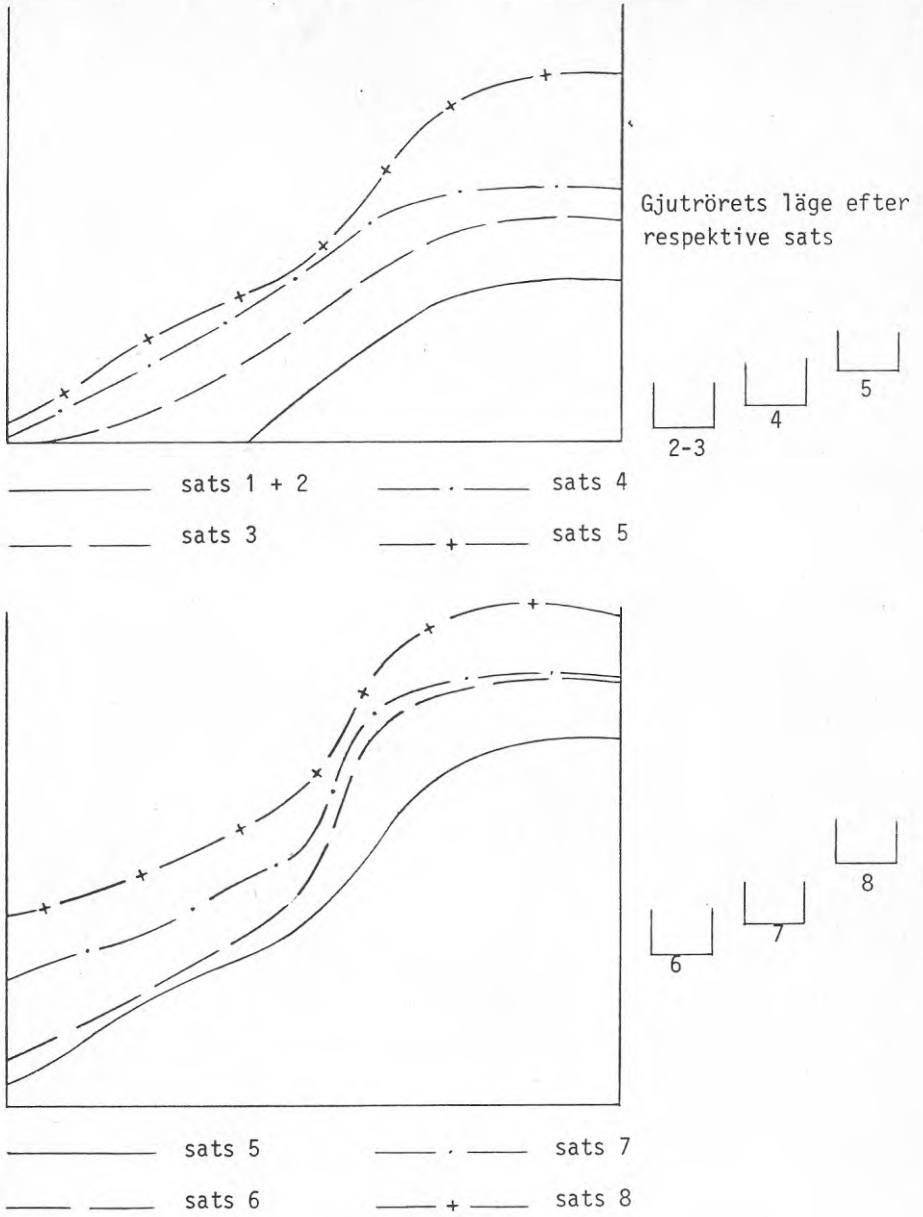


FIG 5.16 Monolit 11. Pejlat läge hos betongytan efter olika gjutsatser.

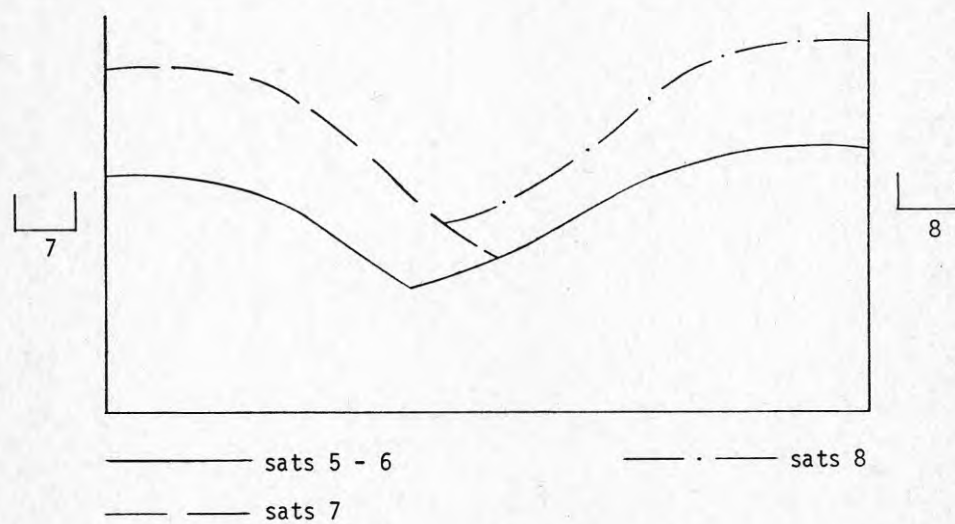
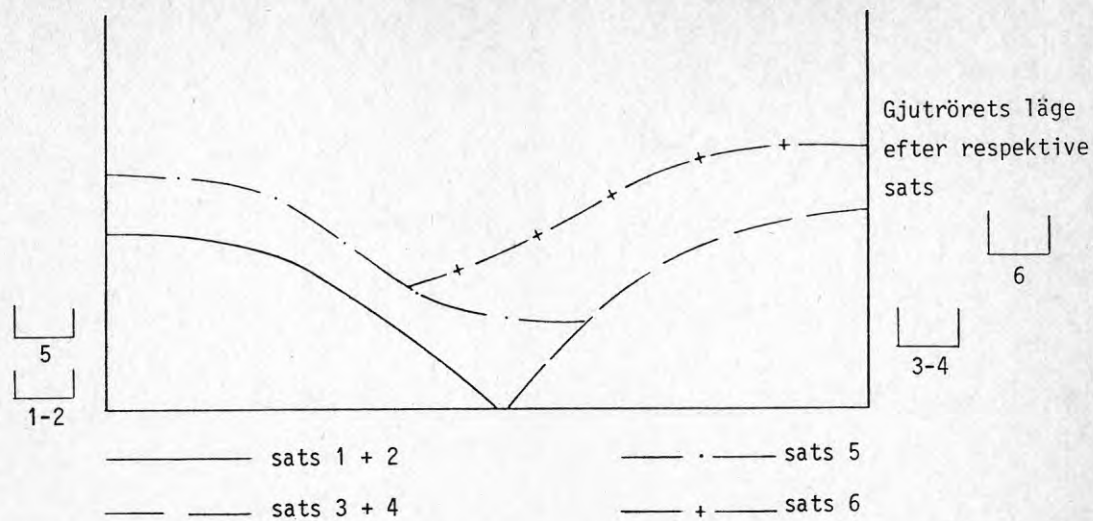


FIG 5.17 Monolit 12. Pejlat läge hos betongytan efter olika gjutsatser.

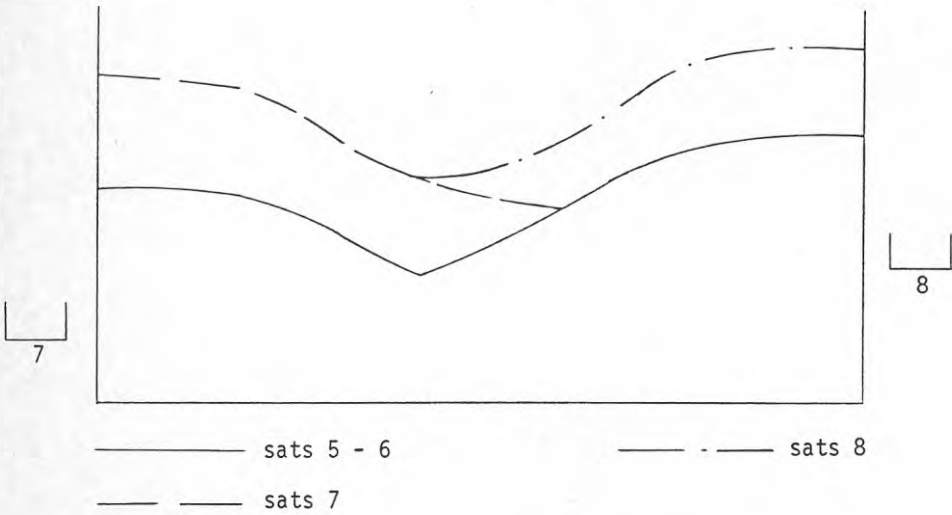
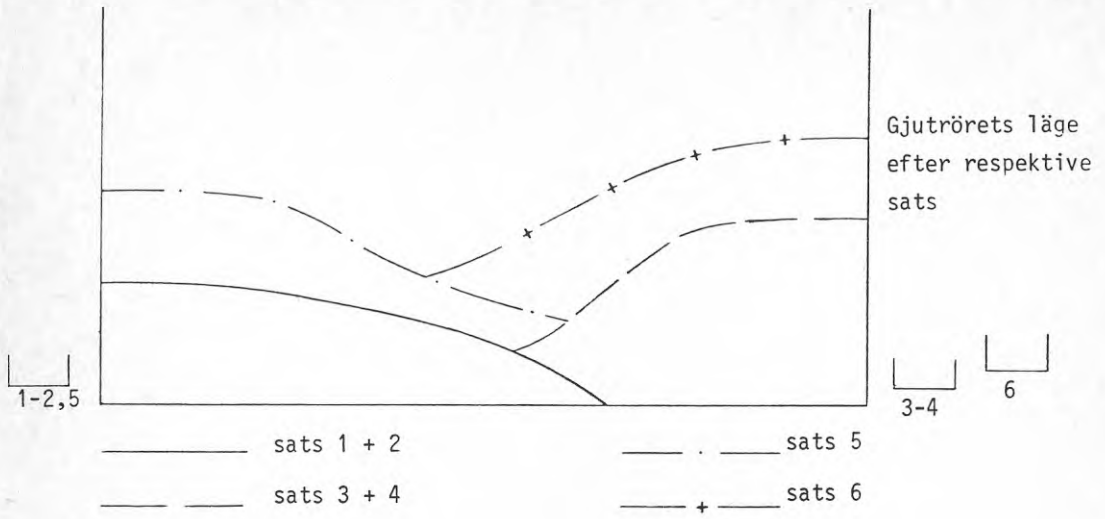


FIG 5.18 Monolit 13. Pejlat läge hos betongytan efter olika gjutsatser.



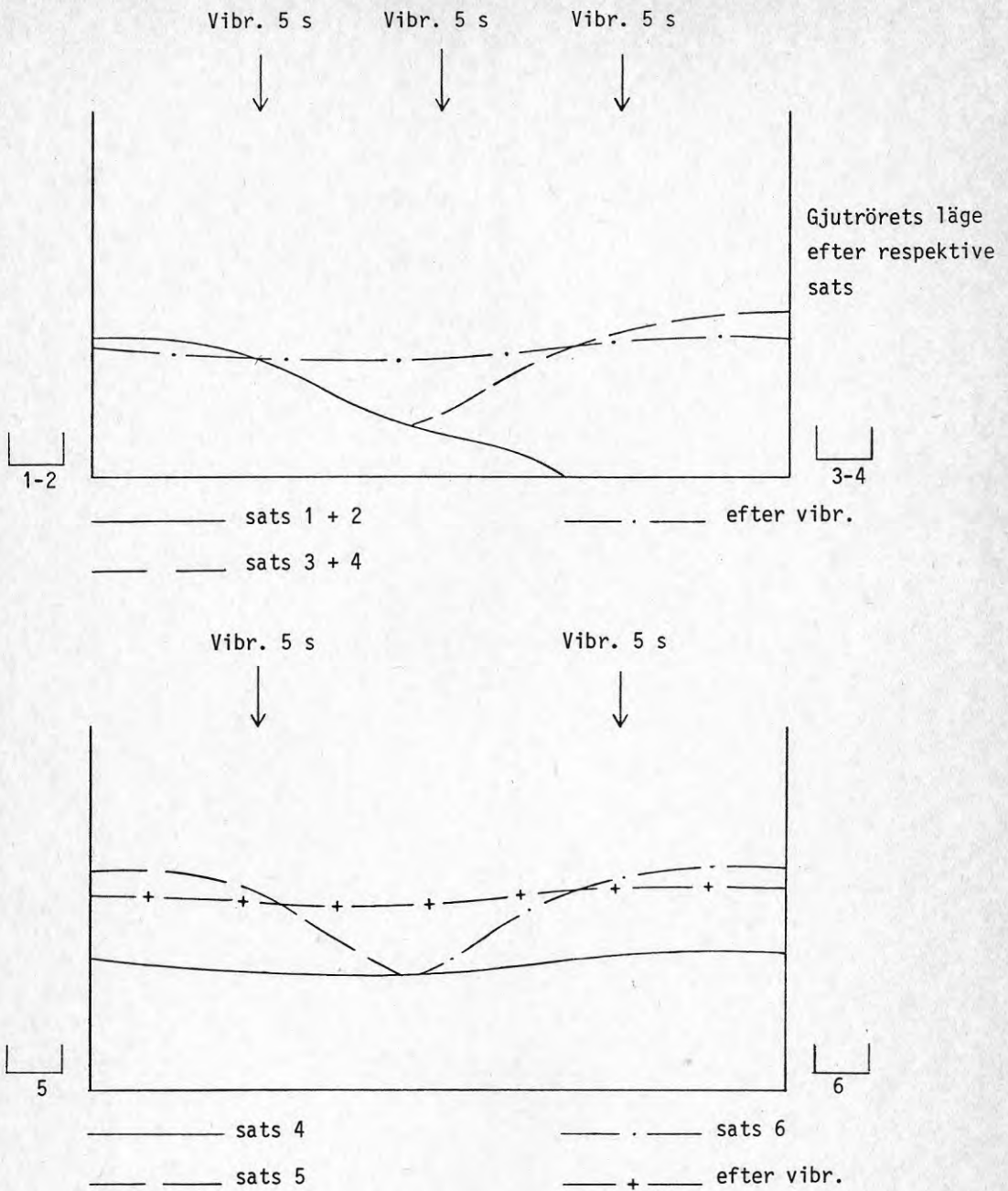


FIG 5.19 A Monolit 14. Pejlat läge hos betongytan efter olika gjutsatser. (Sats 1-6).



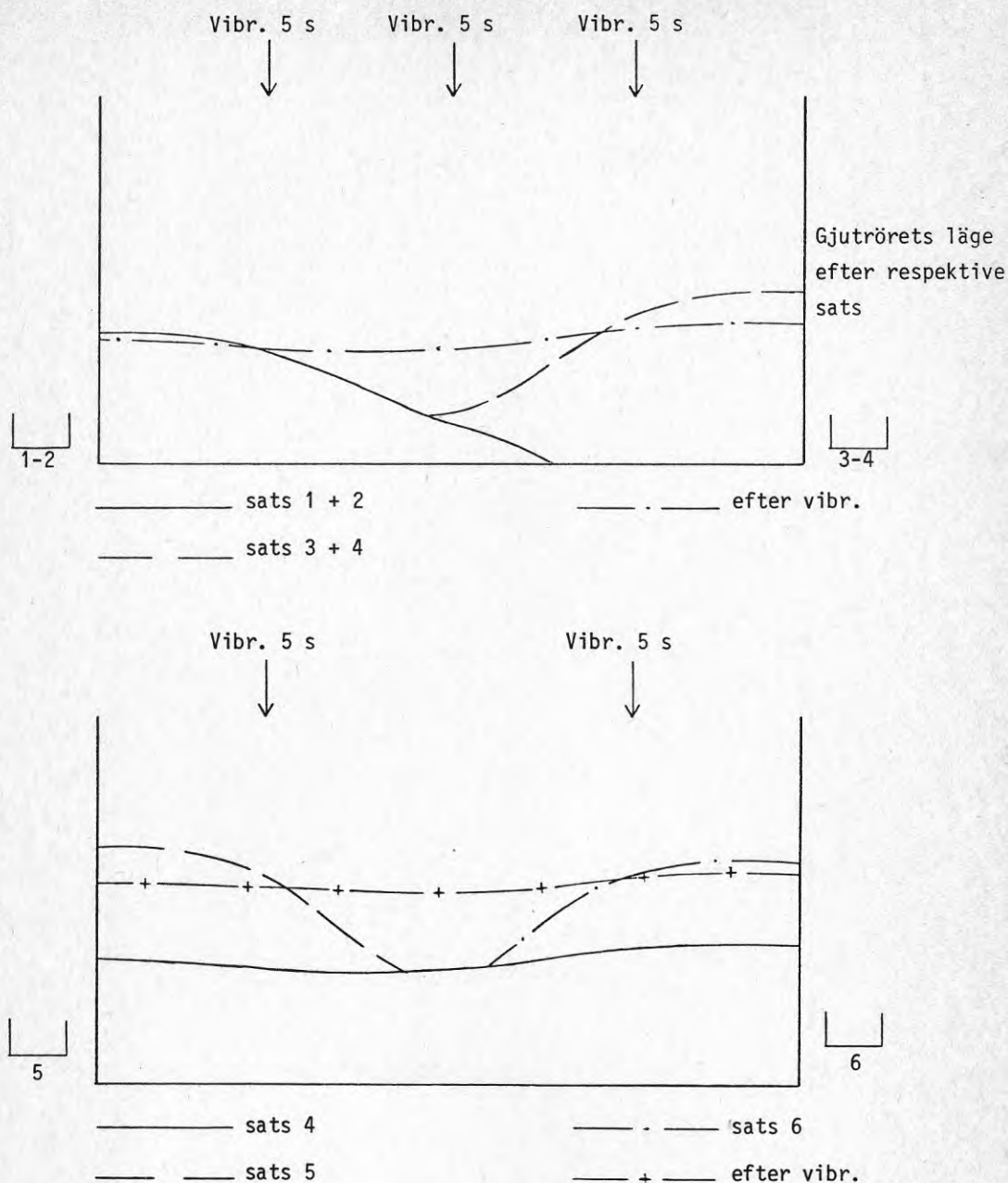


FIG 5.20 A Monolit 15. Pejlat läge hos betongytan efter olika gjutsatser. (Sats 1 - 6).

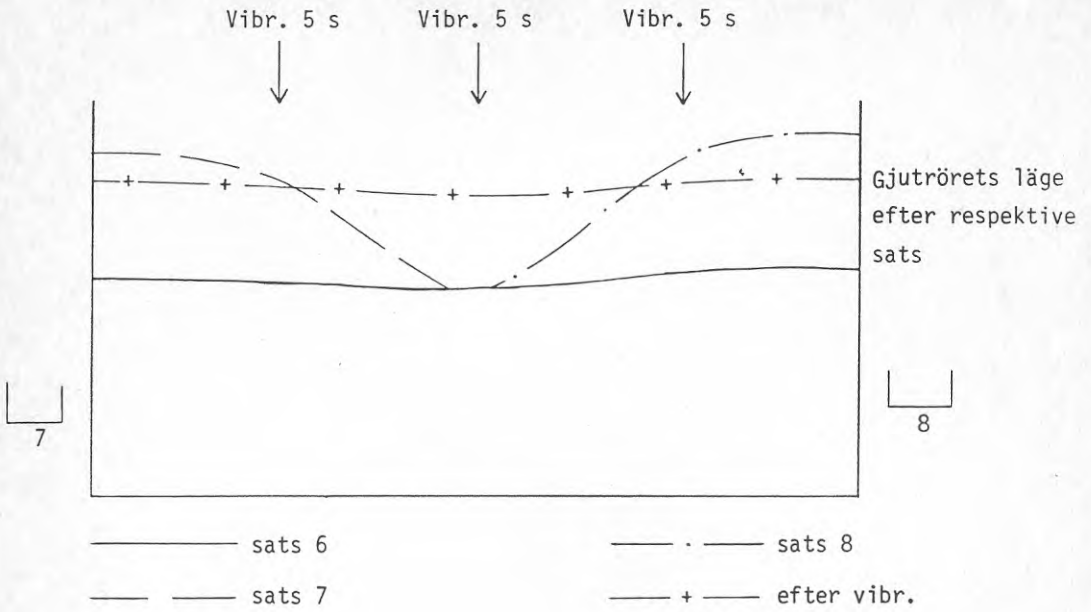


FIG 5.20 B Monolit 15. Pejlat läge hos betongytan efter olika gjutsatser. (Sats 6 - 8).



FIG 5.21 Monolit 1. Satsernas gjutordning: Ofärgad, röd, gul, ofärgad, röd, gul, ofärgad.

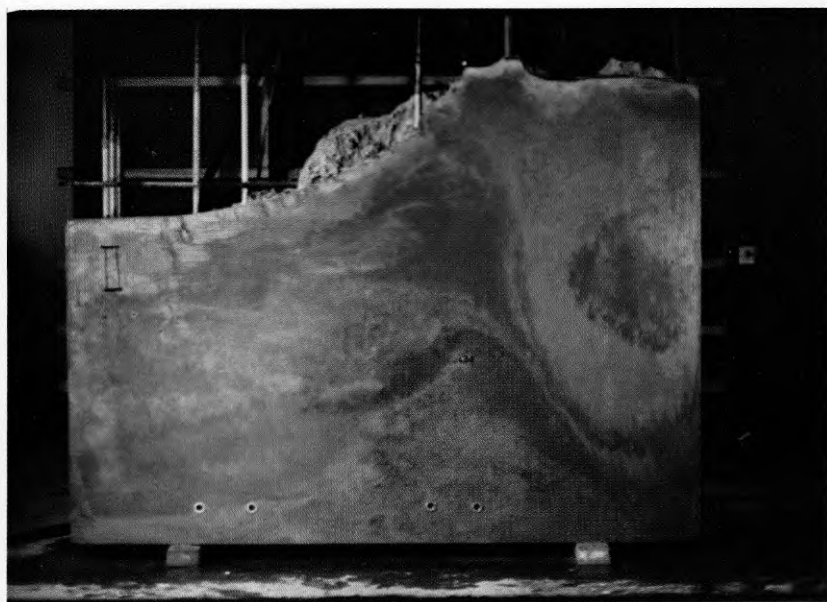


FIG 5.22 Monolit 2. Vibrering. Satsernas gjutordning: Ofärgad, röd, gul, ofärgad, röd, gul, ofärgad, röd.



FIG 5.23 Monolit 3. Retarder. Satsernas gjutordning:  
Ofärgad, röd, gul, ofärgad, röd, gul, ofärgad, röd.



FIG 5.24 Monolit 4. Hög stighastighet. Satsernas gjutordning:  
Ofärgad, röd, gul, ofärgad, röd, gul, ofärgad, röd.



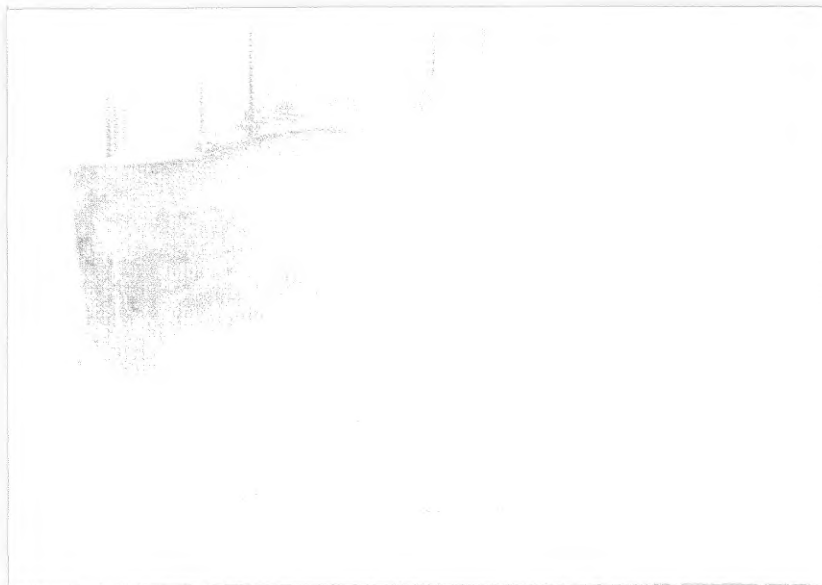


FIG 5.25 Monolit 6. Hög stighastighet + retarder. Satsernas gjutordning: Ofärgad, röd, gul, ofärgad, röd, gul, ofärgad, svart.

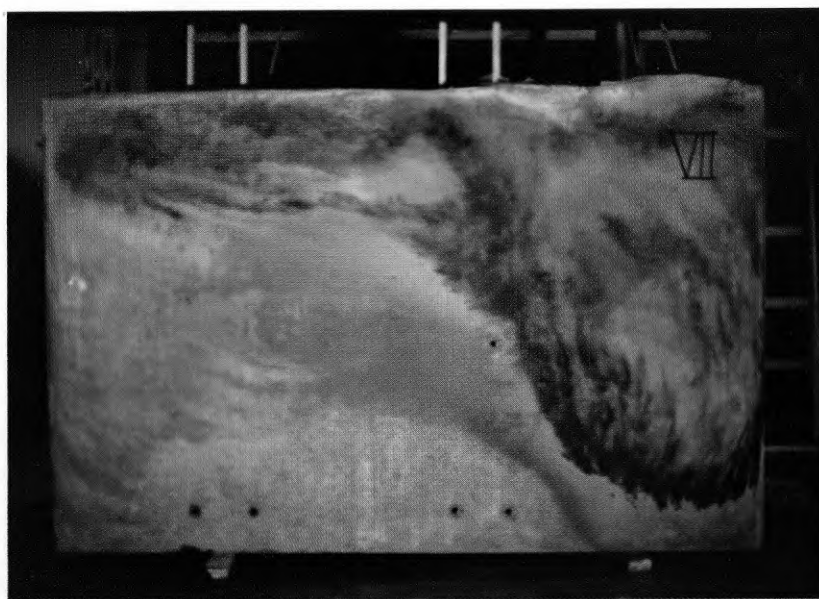


FIG 5.26 Monolit 7. Vibrering + retarder. Satsernas gjutordning: Ofärgad, röd, gul, svart, ofärgad, röd, gul, svart.



FIG 5.27 Monolit 8. Flyttillsats + retarder. Satsernas gjutordning: Röd, ofärgad, gul, svart, ofärgad, röd, gul, svart.

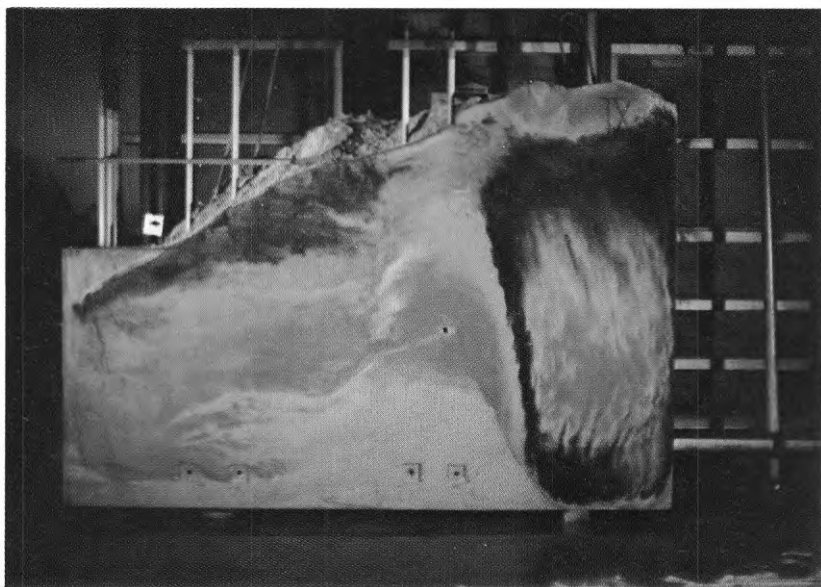


FIG 5.28 Monolit 9. Luft + retarder. Satsernas gjutordning: Ofärgad, röd, gul, svart, ofärgad, röd, gul, svart.



FIG 5.29 Monolit 10. Gjutuppehåll - retarder. Satsernas gjutordning: Ofärgad, röd, gul, svart, ofärgad, röd, gul, svart.



FIG 5.30 Monolit 11. Grovt grus. Satsernas gjutordning: Ofärgad, röd, gul, svart, ofärgad, röd, gul, svart.



FIG 5.31 Monolit 12. Satsernas gjutordning: Ofärgad<sup>V</sup>, röd<sup>V</sup>, gul<sup>h</sup>, svart<sup>h</sup>, ofärgad<sup>V</sup>, röd<sup>h</sup>, gul<sup>V</sup>, svart<sup>h</sup> (v = vänster, h = höger).

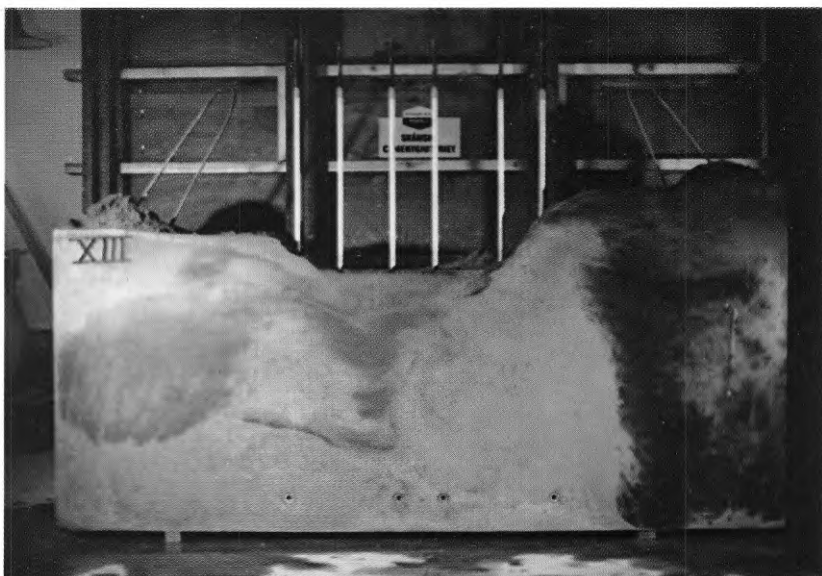


FIG 5.32 Monolit 13. Retarder. Satsernas gjutordning: Ofärgad<sup>V</sup>, röd<sup>V</sup>, gul<sup>h</sup>, svart<sup>h</sup>, ofärgad<sup>V</sup>, röd<sup>h</sup>, gul<sup>V</sup>, svart<sup>h</sup> (v = vänster, h = höger).

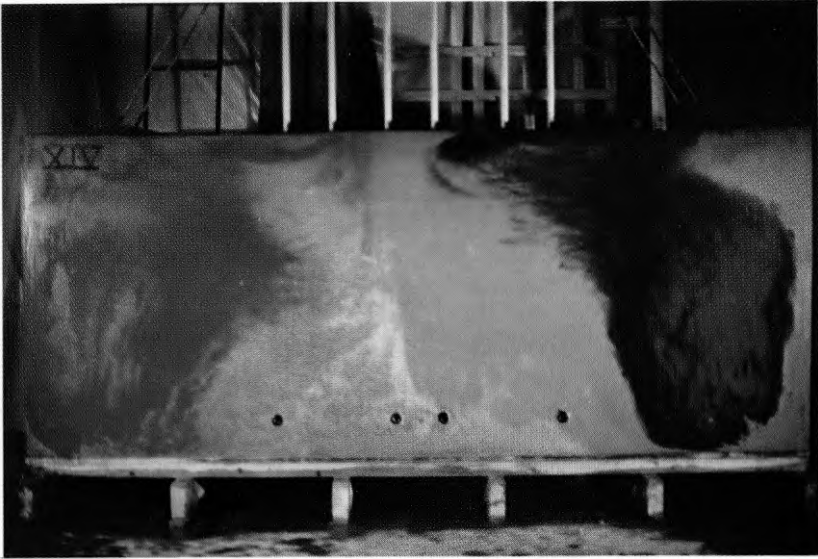


FIG 5.33 Monolit 14. Vibrering + retarder. Satsernas gjut-  
ordning: Ofärgad<sup>v</sup>, röd<sup>v</sup>, gul<sup>h</sup>, svart<sup>h</sup>, ofärgad<sup>v</sup>, röd<sup>h</sup>,  
gul<sup>v</sup>, svart<sup>h</sup> (v = vänster, h = höger).

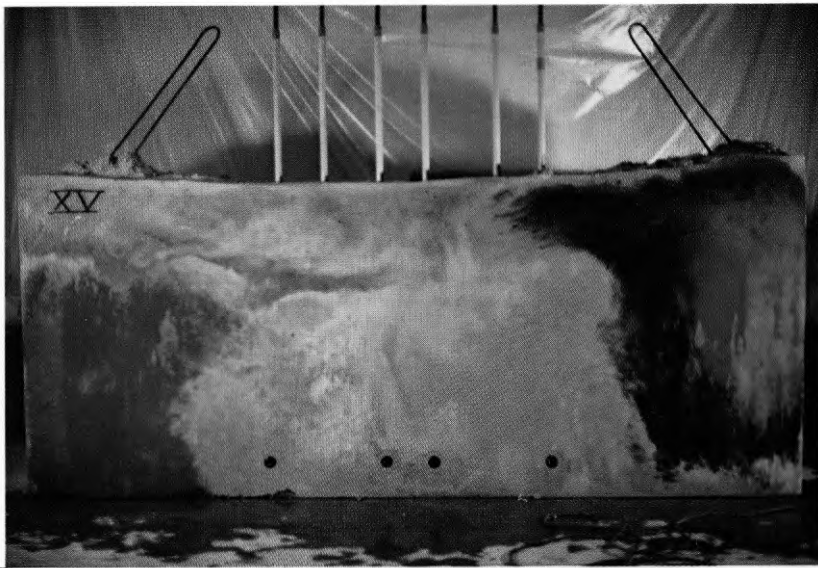


FIG 5.34 Monolit 15. Vibrering. Satsernas gjutordning: Ofärgad<sup>v</sup>,  
röd<sup>v</sup>, gul<sup>h</sup>, svart<sup>h</sup>, ofärgad<sup>v</sup>, röd<sup>h</sup>, gul<sup>v</sup>, svart<sup>h</sup>  
(v = vänster, h = höger).





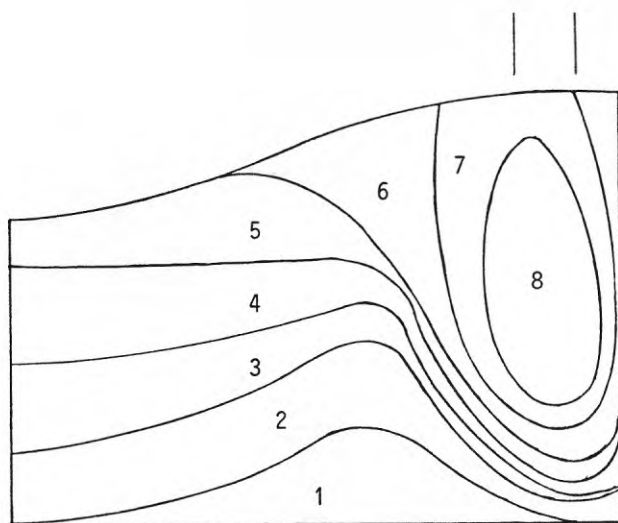


FIG 5.35 Ungefärligt slutligt läge för sats 1 till 8  
vid gjutning med ett rör.

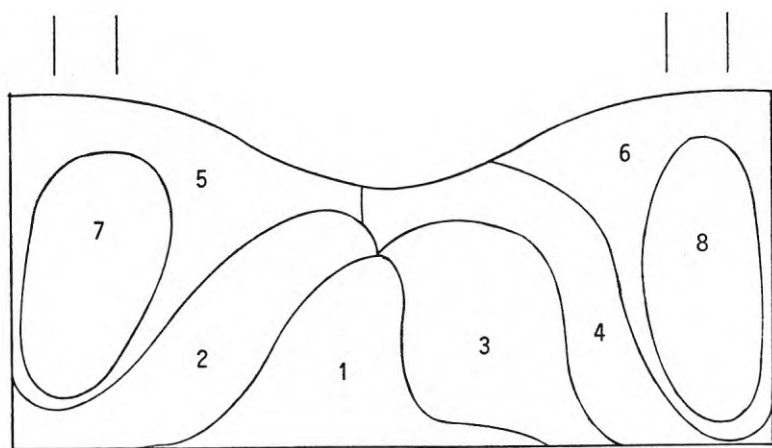


FIG 5.36 Ungefärligt slutligt läge för sats 1 till 8  
vid gjutning med två rör.

Vertikalt utborrade cylindrar.  
Tryckhållfasthet (MPa)

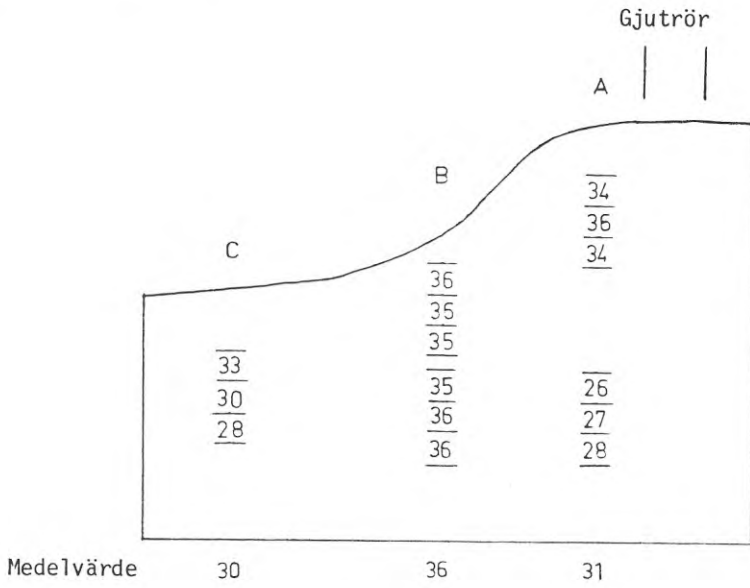


FIG 5.37 Monolit 1.

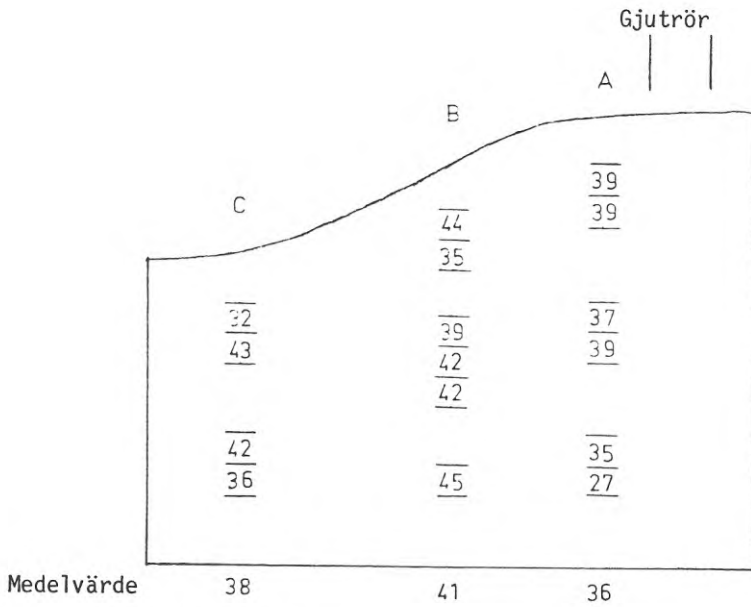


FIG 5.38 Monolit 2. Vibrering

Vertikalt utborrade cylindrar.  
Tryckhållfasthet (MPa)

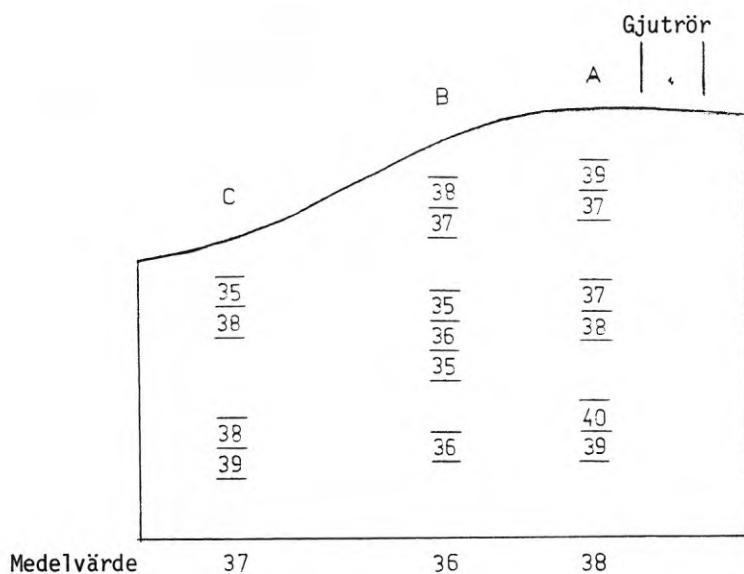


FIG 5.39 Monolit 3. Retarder

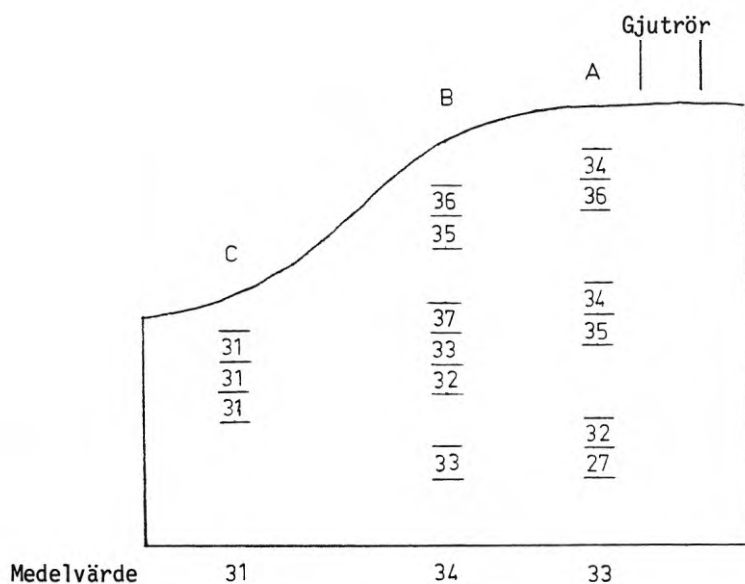


FIG 5.40 Monolit 4. Hög stighastighet

Vertikalt utborrade cylindrar.  
Tryckhållfasthet (MPa)

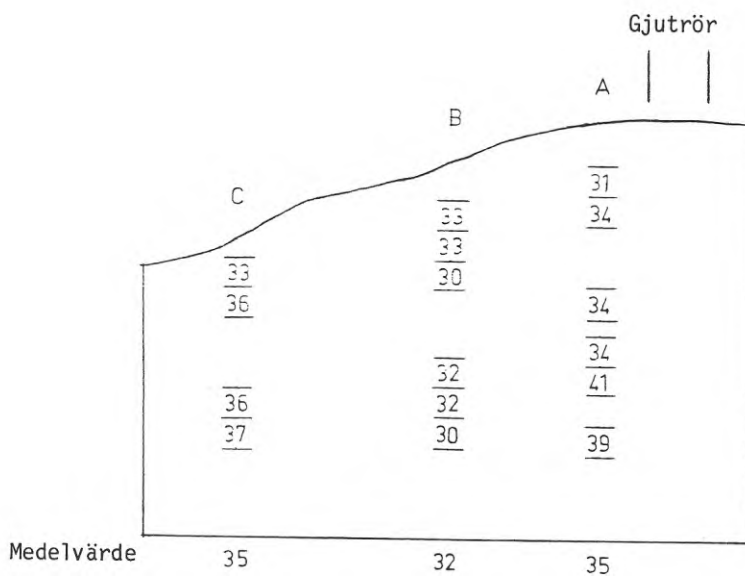


FIG 5.41 Monolit 6. Hög stighastighet + retarder

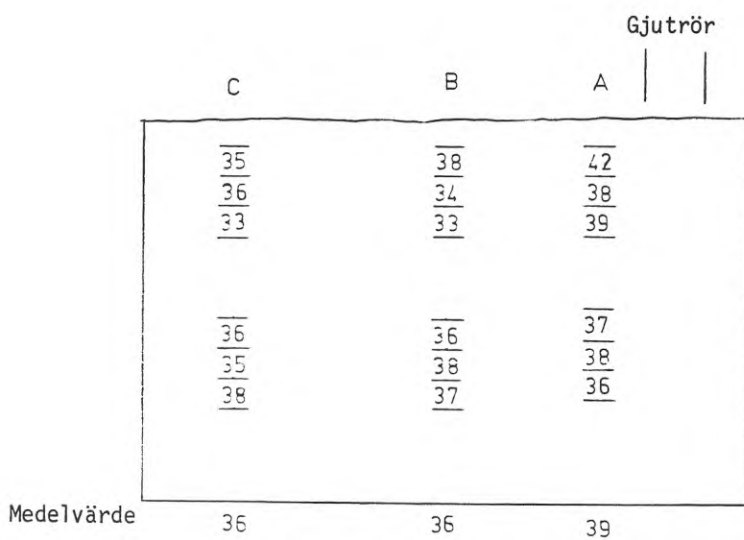


FIG 5.42 Monolit 7. Vibrering + retarder

Vertikalt utborrade cylindrar.  
Tryckhållfasthet (MPa)

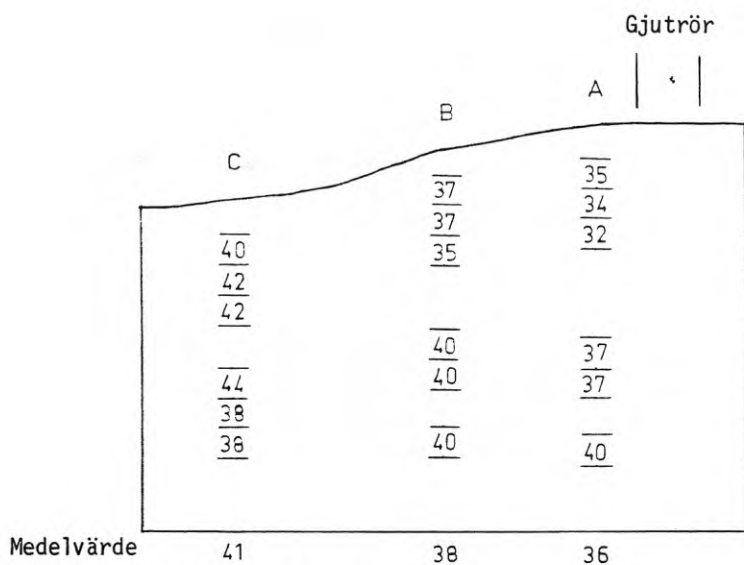


FIG5.43 Monolit 8. Flyttillsats + retarder

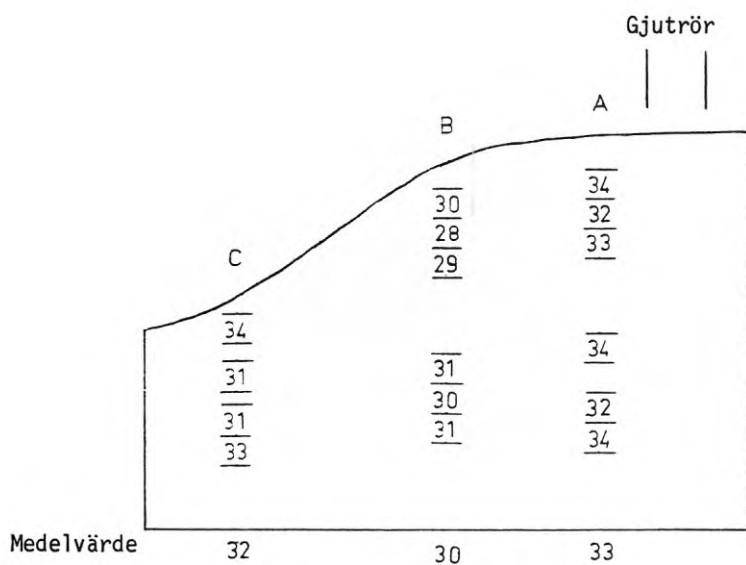


FIG5.44 Monolit 9. Luft + retarder

Vertikalt utborrade cylindrar.  
Tryckhållfasthet (MPa)

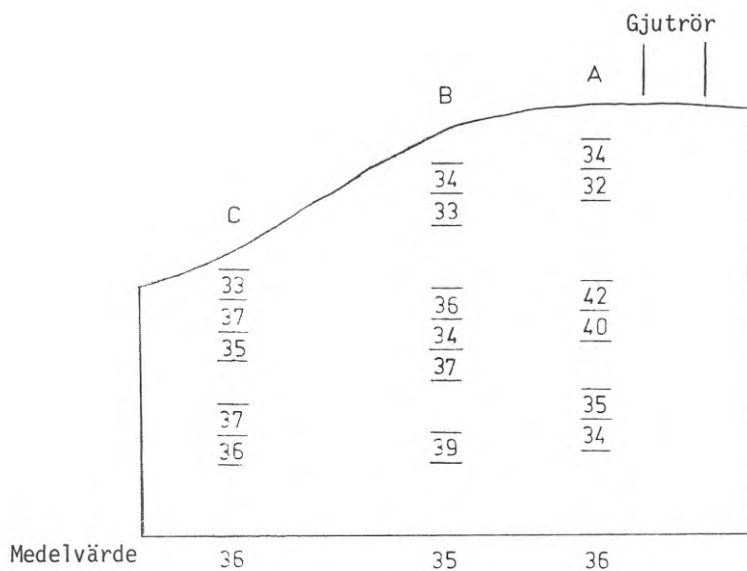


FIG 5.45 Monolit 10. Gjutavbrott - retarder

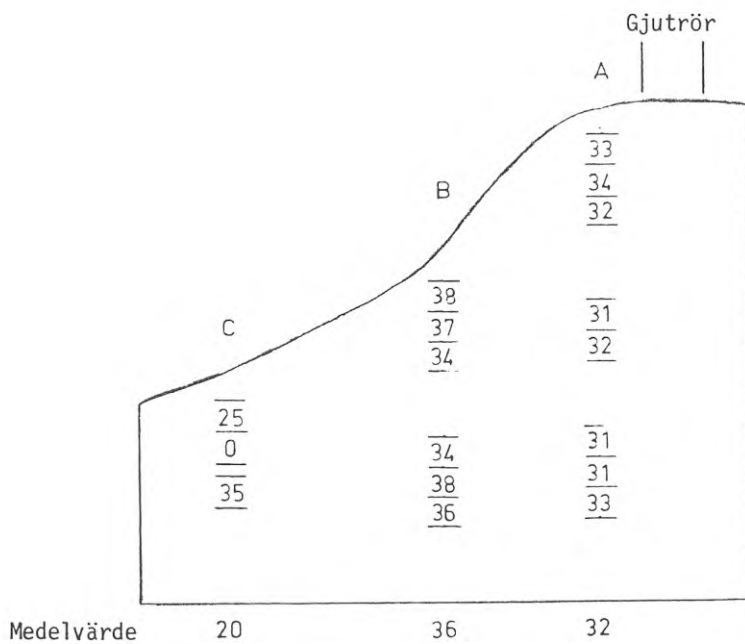


FIG 5.46 Monolit 11. Grovt grus.

Vertikalt utborrade cylindrar  
Tryckhållfasthet (MPa)

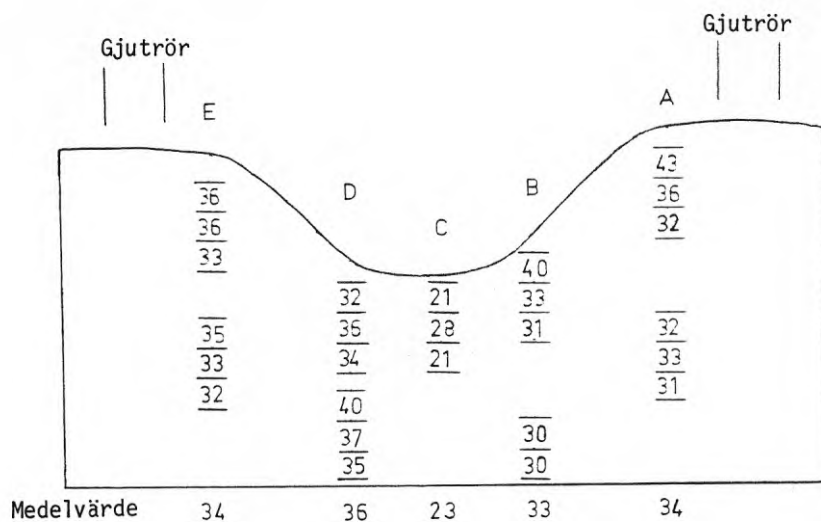


FIG 5.47 Monolit 12

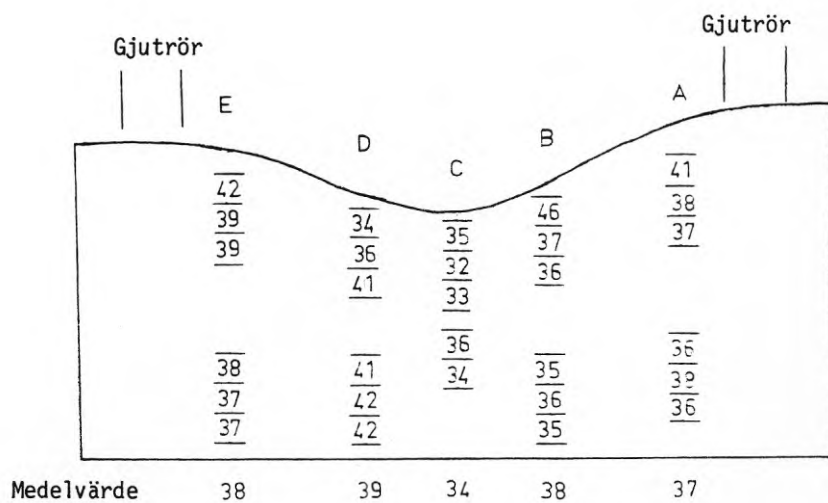


FIG 5.48 Monolit 13. Retarder



Vertikalt utborrade cylindrar  
Tryckhållfasthet (MPa)

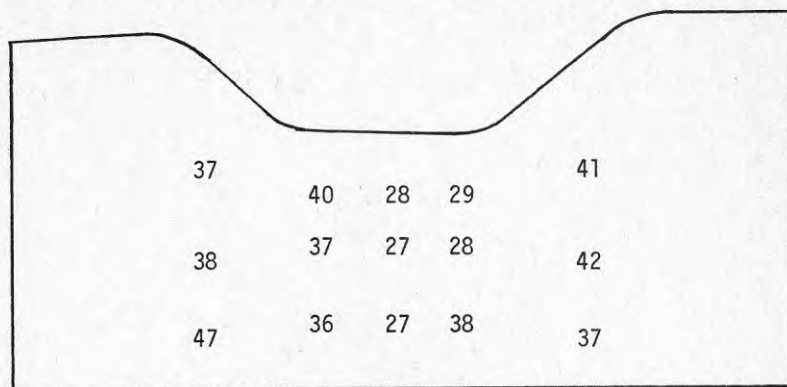
Gjutrör					Gjutrör	
$\overline{42}$	$\overline{43}$	$\overline{34}$	$\overline{45}$	$\overline{46}$		
$\overline{43}$	$\overline{42}$	$\overline{38}$	$\overline{41}$	$\overline{40}$		
$\overline{41}$	$\overline{44}$	$\overline{37}$	$\overline{41}$	$\overline{38}$		
$\overline{36}$		$\overline{34}$		$\overline{39}$		
$\overline{37}$	$\overline{39}$	$\overline{34}$	$\overline{37}$	$\overline{38}$		
$\overline{35}$	$\overline{39}$		$\overline{37}$	$\overline{37}$		
	$\overline{41}$		$\overline{33}$			
Medelvärde	39	41	35	39	40	

FIG 5.49 Monolit 14. Vibrering + retarder

Gjutrör					Gjutrör	
$\overline{37}$	$\overline{42}$	$\overline{33}$	$\overline{36}$	$\overline{42}$		
$\overline{38}$	$\overline{39}$	$\overline{22}$	$\overline{37}$	$\overline{37}$		
$\overline{36}$	$\overline{38}$	$\overline{31}$	$\overline{38}$	$\overline{38}$		
$\overline{36}$		$\overline{29}$	$\overline{35}$	$\overline{33}$		
$\overline{25}$	$\overline{33}$	$\overline{34}$	$\overline{37}$	$\overline{32}$		
$\overline{30}$	$\overline{26}$		$\overline{36}$	$\overline{30}$		
	$\overline{36}$					
Medelvärde	34	36	30	37	35	

FIG 5.50 Monolit 15. Vibrering

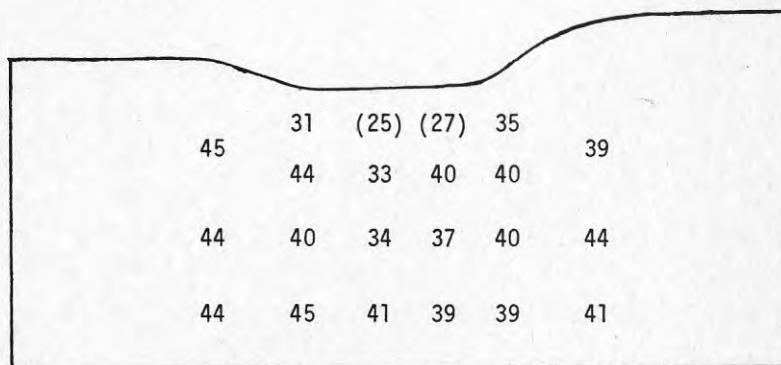
Tryckhållfasthet enligt icke förstörande provning. Avsnitt 5.8.3.  
Anges i respektive mätpunkter på monoliten i MPa, 28 d.



Medelvärden      41      38      27      32      40

FIG. 5.51 Monolit 12. Ej retarder, ej vibrering.

Medelvärde totalt = 35 MPa, var.-koef. = 17,6 %



Medelvärden      44      40      36      37      39      41

(33) (36)

FIG. 5.52 Monolit 13. Retarder, ej vibrering.

Medelvärde totalt = 40 MPa, var.-koef. = 10,3 %

(Medelvärde totalt = 39 MPa, var.-koef. = 14,6 %)

Tryckhållfasthet enligt icke förstörande provning. Avsnitt 5.8.3.  
 Aanges i respektive mätpunkter på monoliten i MPa, 28 d.

	42	28	37	41	
44	45	38	47	40	45
44	43	37	44	42	43
42	43	42	35	41	43

Medelvärden            43    43    36    41    41    44

FIG. 5.53 Monolit 14. Retarder, vibrering.

Medelvärde totalt = 41 MPa, var.koef. = 10,0 %

44	36	30	29	43	42
45	32	36	29	42	42
46	42	37	37	41	43
44	44	42	37	42	42

Medelvärden            45    39    36    39    42    42

FIG. 5.54 Monolit 15. Ej retarder. vibrering.

Medelvärde totalt = 39 MPa, var.-koef. = 13,1 %

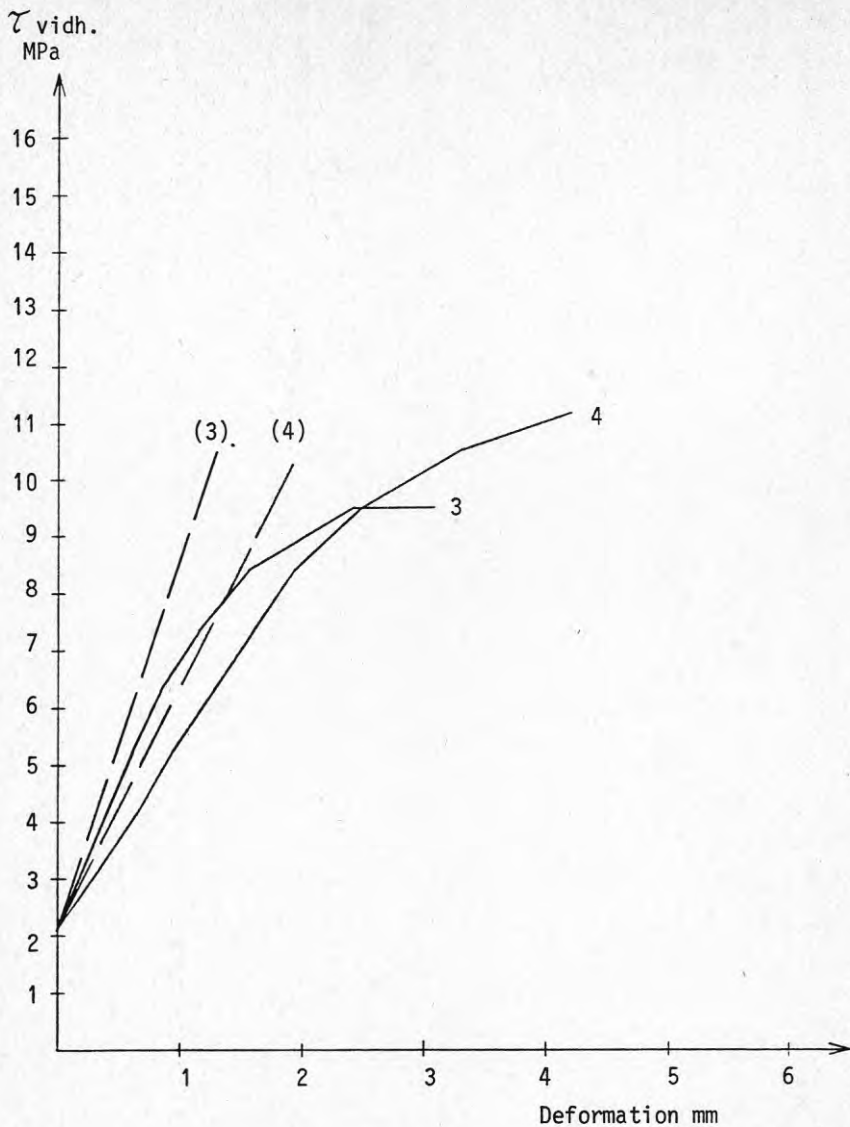


FIG 5.55 Monolit 3. Dragning av armeringsstång nr 3 och 4.

Ø 16 Ks 40.

— — — Anger teoretiskt beräknad förlängning med E-modulen  $2,1 \times 10^5$  MPa, arean  $\times 2,0 \text{ cm}^2$ .

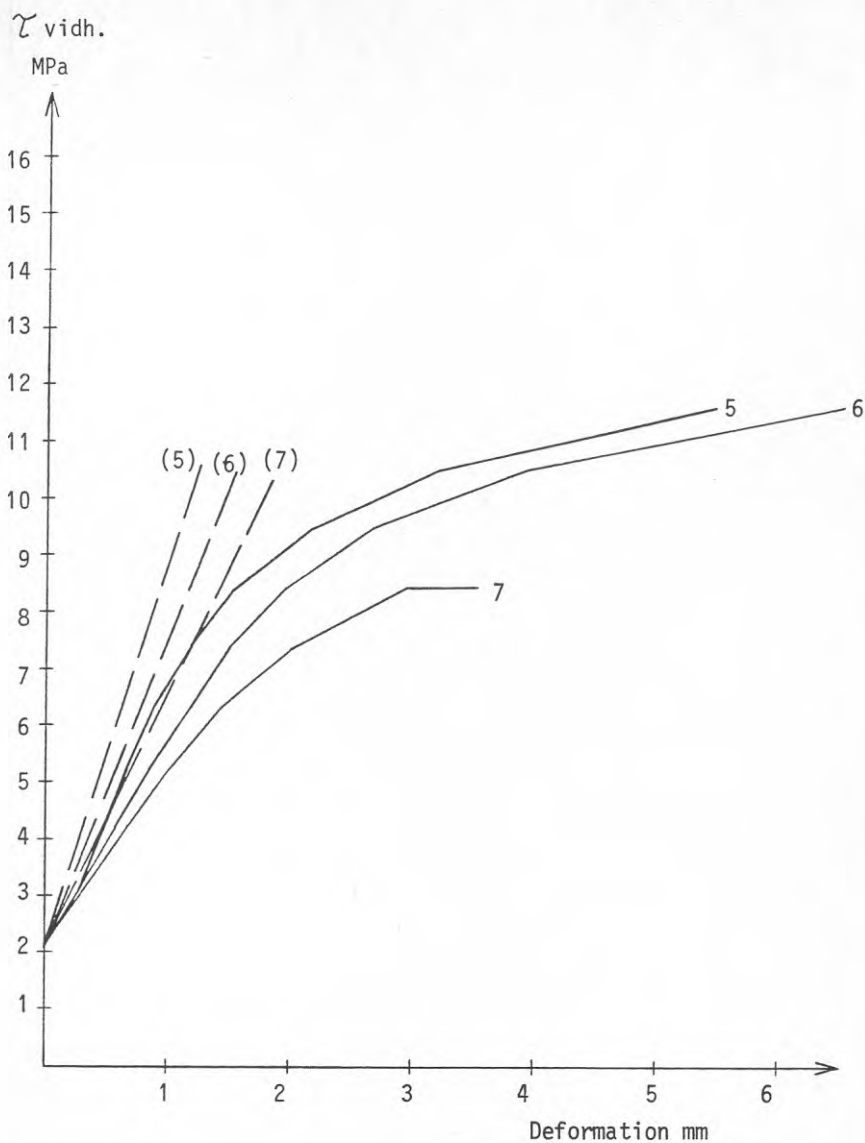


FIG 5.56 Monolit 2. Dragning av armeringsstång nr 5, 6 och 7.  
 Ø 16 Ks 40.

— — Anger teoretiskt beräknad förlängning med E-modulen  
 $2,1 \times 10^5$  MPa, arean  $\times 2,0 \text{ cm}^2$ .

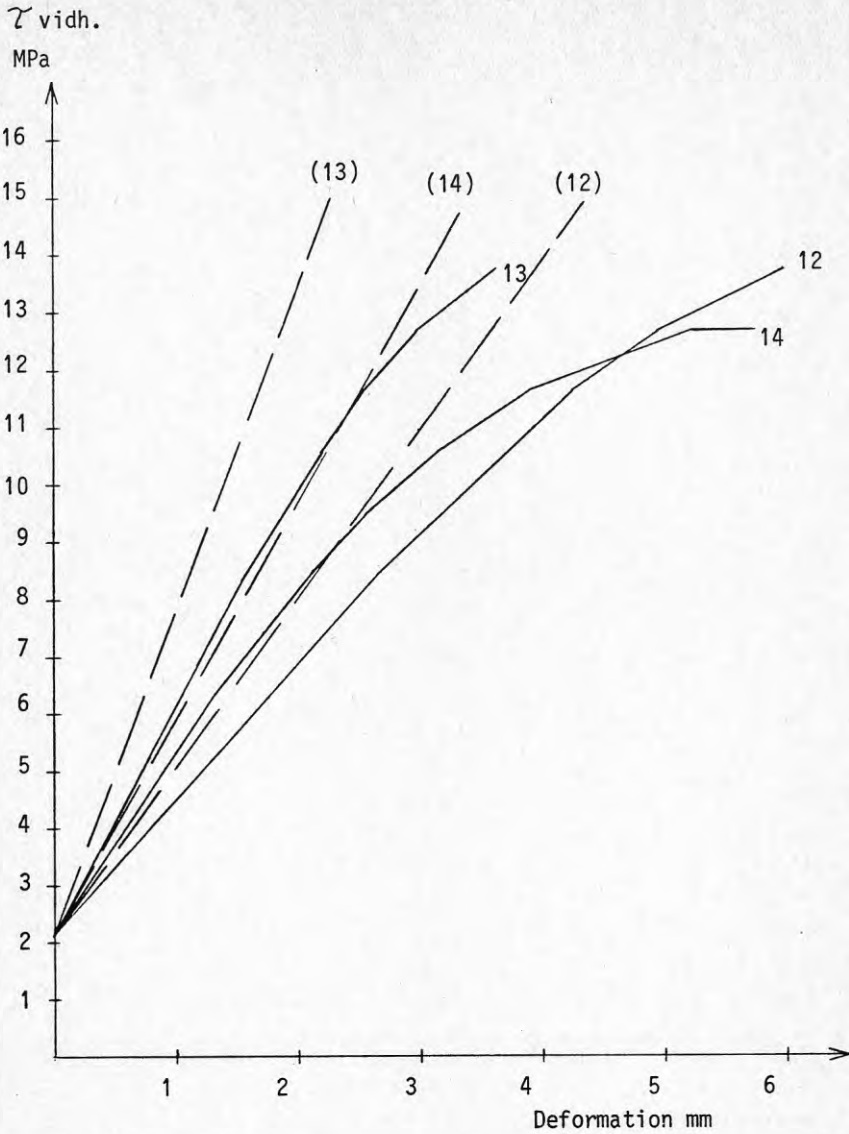


FIG 5.57 Monolit 7. Dragning av armeringsstång nr 12, 13 och 14.  
 $\emptyset$  16 Ks 60.

Anger teoretiskt beräknad förlängning med E-modulen

— — —  $2,1 \times 10^5$  MPa, arean  $\times 2,0 \text{ cm}^2$ .

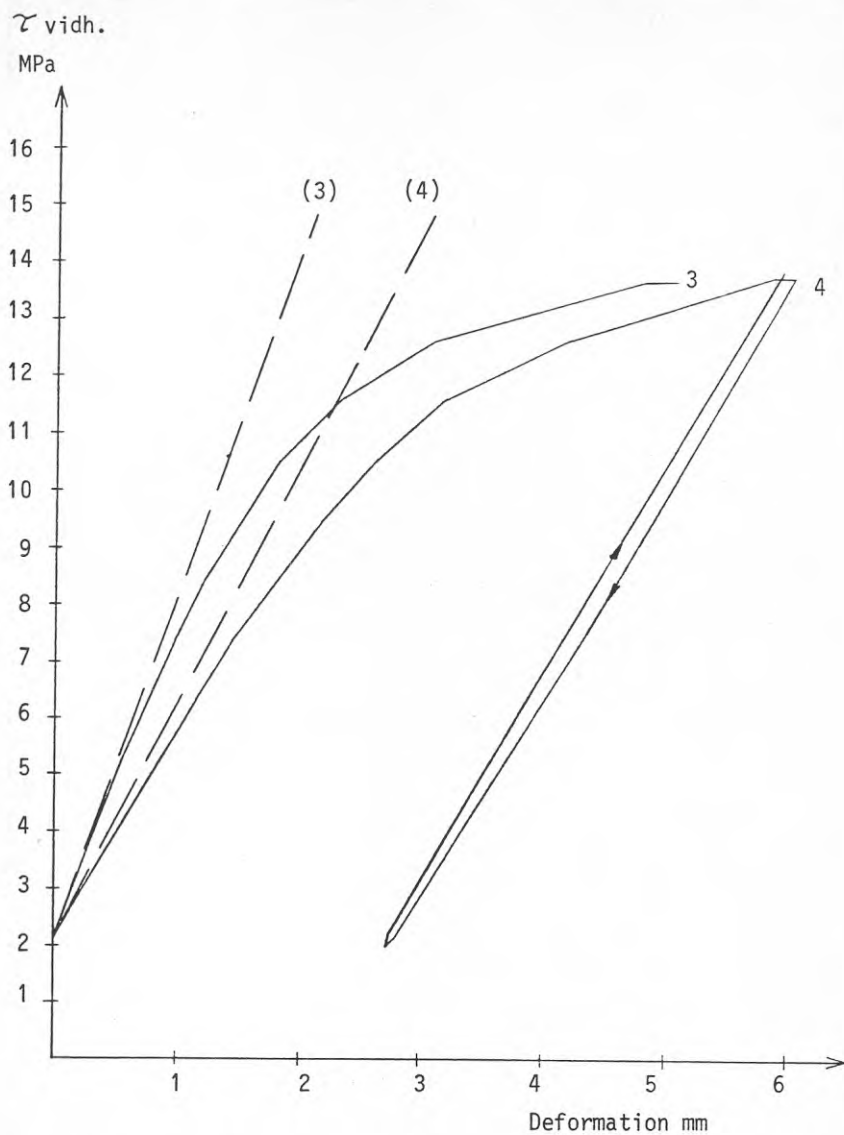


FIG 5.58 Monolit 8. Dragning av armeringsstång nr 3 och 4.  
 $\varnothing$  16 Ks 60.

— — Anger teoretiskt beräknad förlängning med E-modulen  
 $2,1 \times 10^5$  MPa, arean  $\times 2,0 \text{ cm}^2$ .



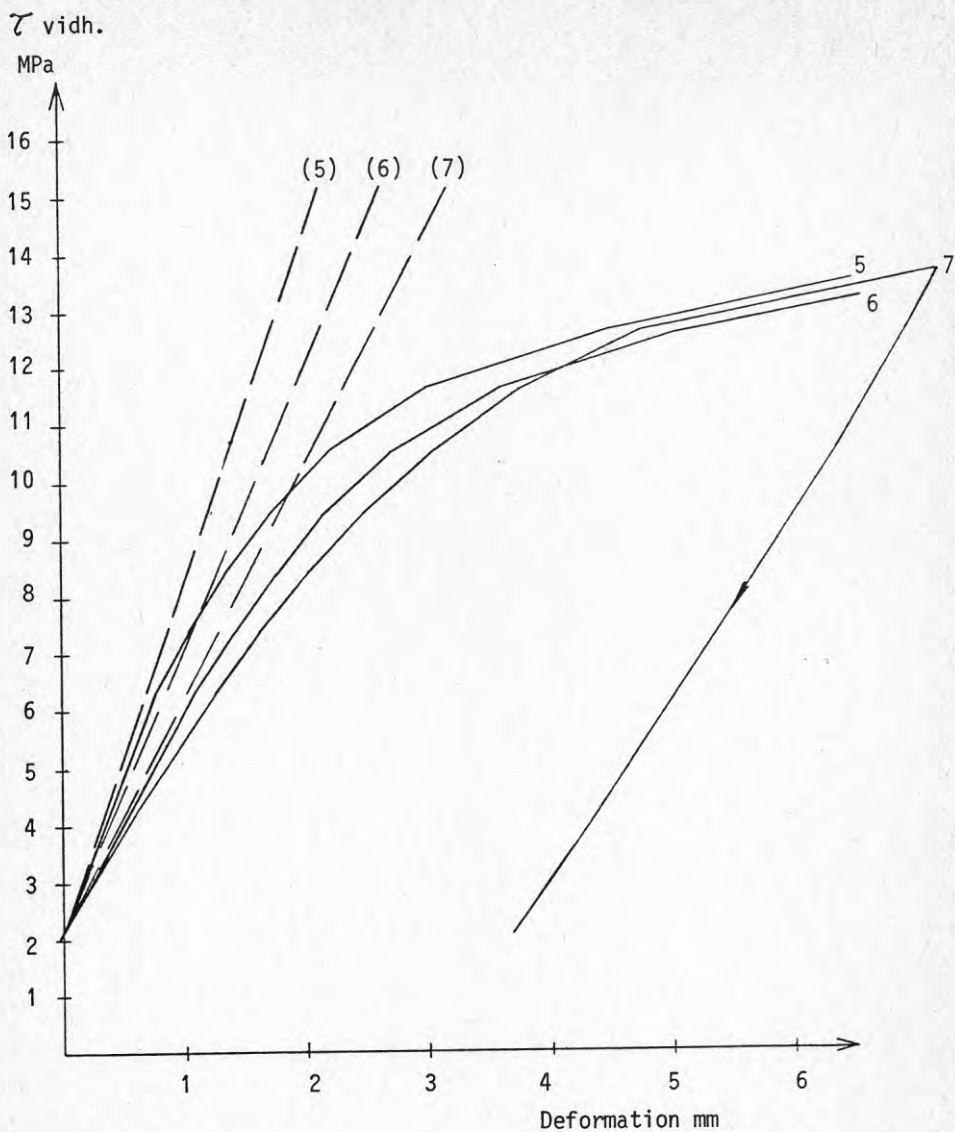


FIG 5.59 Monolit 8. Dragning av armeringsstång nr 5, 6 och 7.

Ø 16 Ks 60.

— — Anger teoretiskt beräknad förlängning med E-modulen  $2,1 \times 10^5$  MPa, arean  $\times 2,0 \text{ cm}^2$ .

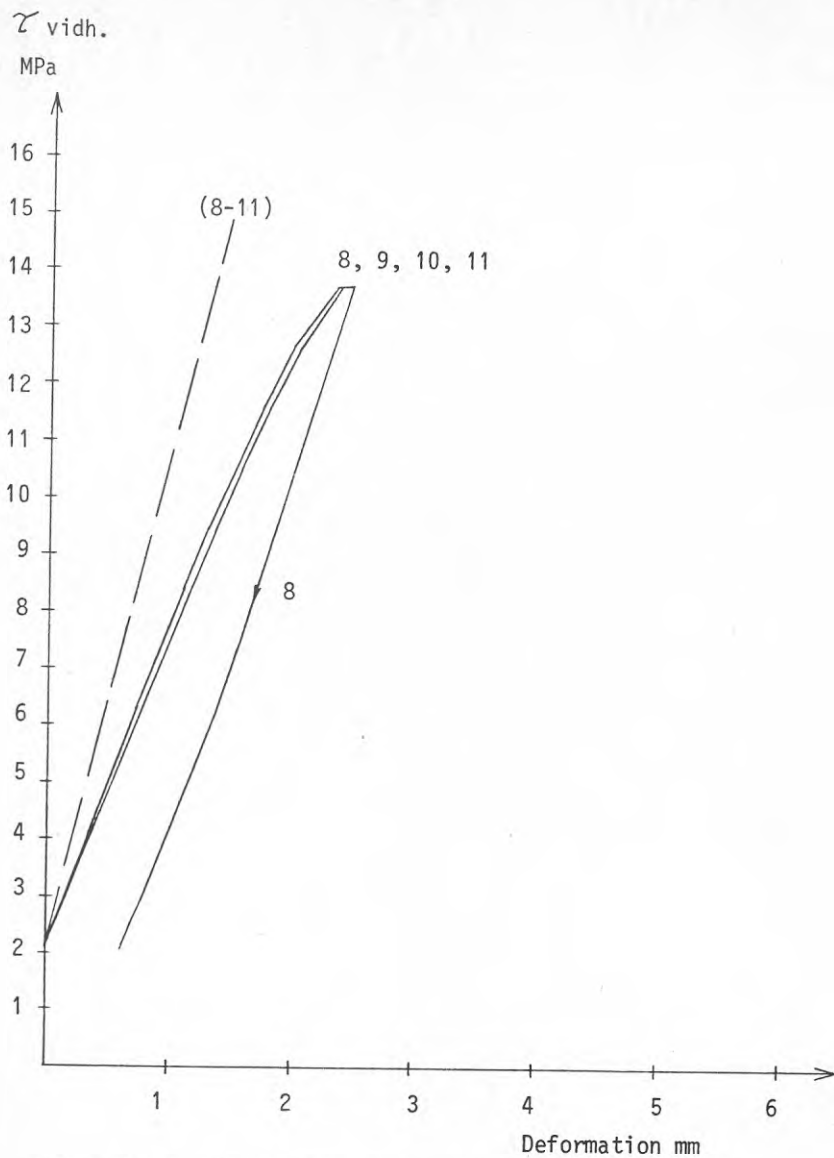


FIG 5.60 Monolit 8. Dragning av järn nr 8, 9, 10 och 11.  
 $\emptyset$  16 Ks 60.

— — — Anger teoretiskt beräknad förlängning med E-modulen  
 $2,1 \times 10^5$  MPa, arean  $\times 2,0 \text{ cm}^2$ .

## REFERENSER

1. S Montén, J Nygårds, S Sällström  
Undervattensbetong, Letteraturinventering  
Byggforskningens rapport R38-1976
2. Statens Betongkommitté, 1973  
Bestämmelser för betongkonstruktioner  
Material och utförande. Betong
3. Norske Sivilingeniørers forening  
Betongstöp i vann, 1976
4. CUR Report No 56 Holland: Underwater concrete  
(Heron Vol 19, 1973/3).
5. U Bellander: Alternativt system att kontrollera  
kvalitet i färdig betongkonstruktion.  
CBI Rapport 7826, 1978.
6. U Bellander: Hållfasthet i färdig konstruktion.  
Del 1: Förstörande metoder. Rimliga krav.  
CBI Forskning 13:76

















**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 750568-5  
från Statens råd för byggnadsforskning till AB Skånska  
Cementgjuteriet, Konstruktionskontoret, Danderyd**

**R2: 1979**

**ISBN 91-540-2954-6**

**Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm**

**Art.nr: 6600902**

**Abonnemangsgrupp:  
Z. Konstruktioner o. material**

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

**Cirka pris: 35 kr exkl moms**