



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**

**R28:1977**

234 (528) Byggnadsstatik

# **Vakuumbehandling av betong i horisontala konstruktioner**

**Johan Nygårds  
Christer Svensson**

**Byggforskningen**

TEKNISKA HOGSKOLAN I LUNN  
SEKTORIN FOR VAG- OCH VATTEN  
BYGGTEKNIK

R28:1977

VAKUUMBEHANDLING AV BETONG I HORISONTALA KONSTRUKTIONER

Johan Nygårds  
Christer Svensson

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 750119-6 från Statens råd för byggnadsforskning till AB Skånska Cementgjuteriet, Konstruktionskontoret, Danderyd.

Nyckelord:

plattor  
bjälklag  
golv på mark  
betonggjutning  
vakuumbehandling  
hållfasthet  
krympning  
dimensioneringsnormer

UDK 693.547.2  
624.073  
69.025.1/.2

R28:1977

ISBN 91-540-2689-X  
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

LiberTryck Stockholm 1977

## INNEHALLSFÖRTECKNING

1.	BAKGRUND	5
2.	UNDERSÖKNINGENS SYFTE	5
2.1	Tidigare forskningsprojekt	5
2.2	Föreliggande forskningsprojekt	6
3.	PROJEKTBESKRIVNING	6
3.1	Omfattning	6
3.2	Tillverkning av betongplattor och preparering av provkroppar	7
3.2.1	Plats för undersökningen	7
3.2.2	Tillverkning av betongplattor	7
3.2.3	Vakuumbehandling	8
3.2.4	Mätning av komprimering	8
3.2.5	Preparering av provkroppar	8
4.	BETONG	9
4.1	Cement	9
4.2	Ballastmaterial	9
4.3	Betongsorter	9
5.	REDOVISNING AV MÄTRESULTAT	10
5.1	Gjutning och vakuumbehandling	10
5.2	Tryckhållfasthet, krympning och densitet	10
5.2.1	Betongplattor	10
5.2.2	Normenlig provning	10
6.	UTVÄRDERING OCH DISKUSSION AV MÄTRESULTAT	11
6.1	Borttagen vattenmängd	11
6.1.1	Behandlingstid - borttagen vattenmängd	11
6.1.2	Komprimering - borttagen vattenmängd	12
6.2	Hållfasthetsökning	15
6.2.1	Hållfasthetsökning uttryckt i antal hållfasthetsklasser	15
6.2.2	Djupverkan	15
6.2.3	Hållfasthet - borttagen vattenmängd	16
6.2.4	Hållfasthet - komprimering	18

6.3	Krympning	19
6.3.1	Allmänt	19
6.3.2	Krympning i övre nivån samt normenligt bestämd krympning	19
6.3.3	Diskussion av vakuumbehandlingens effekt på krympning och sprickbildning	20
7.	SAMMANFATTANDE SYNPKUNKTER GRUNDADE PÅ UNDERSÖKNINGENS RESULTAT	21
7.1	Undersökningens syfte	21
7.2	Undersökningens resultat	21
7.2.1	Processens inverkan på betongens hållfasthet	21
7.2.2	Konstruktivt utnyttjande av högre hållfasthetsklass	22
7.2.3	Minimikrav och kontinuerlig kontroll av processen på arbetsplatsen	23
7.2.4	Processens inverkan på betongens krympning	23
8.	VAKUUMBEHANDLAD BETONG - EN TEORETISK ANALYS	24
	REFERENSER	25
	FIGURER OCH TABELLER I SLUTRAPPORTEN	26
	SAMMANFATTNING	51

## 1. BAKGRUND

Vakuumbehandling av betong är ett sätt att ta bort vatten ur den färska betongen sedan denna på vanligt sätt placerats och komprimerats i gjutformen. Den hårdnade betongen får härigenom högre hållfasthet och slitstyrka. I Sverige har metoden tillämpats sedan början på 50-talet, i ständigt ökad omfattning och under kontinuerlig utveckling och förenkling av den maskinella utrustningen. Metoden används framför allt vid läggning av betonggolv på mark, vid gjutning av enskiktsbjälklag samt vid pågjutning på kassetter. En försiktig uppskattning tyder på att mer än 1,5 Mm<sup>2</sup> årligen (1976) behandlas i vårt land. Vanligt är numera att det i byggnadsbeskrivningar anges att vakuumbehandling skall utföras. Även där så inte är fallet tillgrips metoden på grund av de arbetsmässiga fördelar som den erbjuder.

Den höjning av betongkvaliteten som man erhåller genom vakuumbehandlingen har man hittills inte fått tillgodoräkna sig i konstruktivt avseende, vilket synes vara slöseri med kvalitet. En förutsättning för att en högre hållfasthetsklass skall få utnyttjas, är emellertid att processen på arbetsplatsen dels hålles under kontinuerlig kontroll, dels att den fyller vissa minimikrav, t ex i fråga om tid, vakuum eller borttagen vattenmängd. Enkla och pålitliga regler (normer) har hittills saknats men bör med ledning av nu föreliggande undersökningsresultat och praktiska erfarenheter kunna utformas.

## 2. UNDERSÖKNINGENS SYFTE

### 2.1 Tidigare forskningsprojekt

Åren 1972-1973 genomförde Skånska Cementgjuteriet med anslag från Byggforskningsrådet ett projekt benämnt "Vakuumbehandling av betong i horisontala konstruktioner, etapp I, (1). Projektet verkställdes på Cement- och Betonginstitutet, som ställde lokaler och personal till vårt förfogande. Undersökningen omfattade ett cementfabrikat, Slite, två cementhalter, två ballastgraderingar, tre betongtjocklekar samt fyra vakuumnivåer. Egenskaper som hållfasthet, hållfasthetstillväxt, vattentäthet samt densitet undersöktes. Samtidigt med Cementgjuteriet genomförde CBI ett eget projekt, också det med anslag från Byggforskningsrådet, avseende komprimering, krympning, undertryckets varia-

tion med djupet m m (2). Projekten samordnades på sådant sätt att CBI i stor utsträckning kunde utföra försök och mätningar på av Cementgjuteriet tillverkade plattor.

## 2.2 Föreliggande forskningsprojekt

Avsikten med projektet har varit att skapa ytterligare underlag för bedömning av dels hur regler för processen ute på fältet bör utformas, dels processens inverkan på hållfasthet och krympning vid varierande förutsättningar.

Att döma av resultat som framkom vid etapp I samt vid studium av annan forskning, (2) (4) (5), beror processens hastighet samt den totala vattenmängd som kan borttagas på bl a cementfabrikat och mängden finpartiklar (slamhalt) i gruset. Inverkan av dessa faktorer, som kan vara avsevärd, har tidigare icke systematiskt undersökts. I föreliggande undersökning har deras effekt studerats vid olika betongtjocklekar och vakuum och vid i förväg fastställda mängder borttaget vatten.

I fråga om vakuumbehandlingens inverkan på betongens krympning har i genomgången litteratur (2) olika uppgifter framkommit. Enligt mätningar verkställda av CBI (2) är krympningens minskning förhållandevis liten. Praktiska erfarenheter av sprickbildning i betonggolv tyder emellertid på en påtagligt gynnsam inverkan. Då betongens krympning vid t ex pågjutning på kassetter är av stor betydelse för vidhäftningen, ansågs en kompletterande undersökning vara motiverad.

## 3. PROJEKTBEKRIVNING

### 3.1 Omfattning

I projektet jämföres tryckhållfasthet och krympning hos vakuumbehandlad betong med motsvarande egenskaper hos icke vakuumbehandlad. Cementtyp och fabrikat samt slamhalt (mängden fina partiklar) i fingruset har varierats. Betongens komprimering under vakuumbehandlingen har studerats, likaså den hårdnade betongens densitet. Normenlig bestämning av tryckhållfasthet har utförts på betong från varje blandarsats, medan normenlig bestämning av krympningen utförts med en serie per undersökt betongsort.



Cementsorterna har varit

Limhamn långsamt hårdnande LH		
Limhamn standard Std		
Skövde	"	"
Slite	"	"

Slamhalterna, bestämda enligt B5 1973 (6), har varit

Låg	1 ä 2%
Hög	10 ä 12%

Cementhalt, konsistens och ballastgradering har avsetts vara oförändrade undersökningen igenom.

Tre betongtjocklekar, 100, 200 och 300 mm, undersöktes samt två undertryck, 55% och 80% vakuum.

Med avsikt att utröna hur olika mängder borttaget vatten inverkar, skulle effekten vid 2, 4 och 6 l/m<sup>2</sup> undersökas. Senare visade det sig önskvärt att, på grund av stor och snabb vattenbortgång, även ta med 8 l/m<sup>2</sup> i vissa kombinationer.

Sammanlagt tillverkades 52 st betongplattor, 630 x 530 mm, med olika tjocklek enligt ovan, ur vilka provkroppar för bestämning av tryckhållfasthet och krympning utsågades. I FIG 1 visas hur kuber och balkar togs ut. I angivet antal plattor ingick 12 st referensplattor, dvs plattor som ej vakuumbehandlades. Genomförda kombinationer framgår av TAB 1.

### 3.2 Tillverkning av betongplattor och preparering av provkroppar

#### 3.2.1 Plats för undersökningen

Betongplattorna tillverkades på CBI. Utsågning av kuber och balkar utfördes av Statens Provningsanstalt, som även verkställde krympningsmätningar och tryckning av vissa kubserier. Flertalet av kubserierna trycktes på CBI.

#### 3.2.2 Tillverkning av betongplattor

I flertalet fall har satsstorleken varit 160 liter, vilket räckte till två plattor. I TAB 2 anges bl a vilka plattor som tillverkades av betong ur samma sats. För varje sats bestämdes konsistens, tillsatt vattenmängd och ballastens fukthalt samt uttogs en normenlig kubserie. Blandaren var av typ tvångsblandare (planblandare).

Formarna var gjorda av 18 mm plastbehandlad plywood och monterbara. Före gjutning lades i formarna plastfolie, som täckte både sidor och botten.

Plattor med tjockleken 200 mm och 300 mm vibrerades med stav, fyra nedstick, och sedan med lätt ytvibrator, två överfarter. Plattor med tjockleken 100 mm vibrerades enbart med ytvibrator, två överfarter.

Vibratorstav:  $\emptyset$  45 mm frekvens 10000 vibr./min

Ytvibrator: Frekvens ca 6000 vibr./min.

### 3.2.3 Vakuumbehandling

Vakuumbehandlingen utfördes med en platta av plexiglas. Längd och bredd var 40 mm mindre än formens. Borttaget vatten uppsamlades i en glasbehållare, där mängden vatten som togs bort anges i procent av ursprunglig eller i liter/m<sup>2</sup>, och avser hela betongvolymen respektive ytan. Se TAB 2.

Med en reglerventil på vakuumpumpen hölls undertrycket på avsedd nivå. Vakuummeter var anbringade på vakuumplatta och uppsamlingsbehållare.

### 3.2.4 Mätning av komprimering

Komprimeringen mättes med 6 st mätklockor, jämnt utplacerade över vakuumplattans yta och fastsatta i stativ, vilande på formens sidor. Detta system användes av CBI vid komprimeringsmätningar i anslutning till etapp I (1) (2).

### 3.2.5 Preparering av provkroppar

Betongplattorna var fram till avformning vid 24 timmars ålder täckta med tjock vattenmättad skumplast. Efter avformningen paketerades varje platta för sig fuktigt i plastfolie.

Plattor tillverkade med LH-cement transporterades till Statens Provningsanstalt för sågning, planslipning av kuber samt krympningsmätning vid ca 14 dygns ålder och plattor med Std-cement vid ca 6 dygns ålder.

#### 4. BETONG

##### 4.1 Cement

Data på använda cementtyper och fabrikat:

	Sp.yta m <sup>2</sup> /kg	Alkalihalt <sup>1)</sup> %	Vattenåtgång <sup>2)</sup> %
Limhamn LH	385	0,23	24,25
Limhamn Std	287	0,20	26,25
Skövde Std	353	0,92	28,50
Slite Std	363	1,18	28,25

1) Bestämd enligt ASTM C-150

2) Vattenåtgång för rätt konsistens vid beredning av bruk för bestämning av cementets hållfasthet.

##### 4.2 Ballastmaterial

Följande fraktioner användes:

1. Sten	16-32 mm	Underås, halvkross, krossytegr. 40%
2. Sten	8-16 "	naturrund
3. Fingrus	0-8 "	slamhalt 10-11%, hög
4. Fingrus	0-8	Hårgarn, slamhalt 2 ä 3%, låg
5. Fingrus	0-6	Riksten, slamhalt 1%, låg
6. Finsand	0-1	Tullinge, slamhalt 3%

Slamhalten är bestämd enligt B5 kap 6:22. På grund av viss osäkerhet vid bestämning av slamhalten hos fingrus nr 4, som togs från sjöbotten, byttes detta ut mot fingrus nr 5, som var tvättat och hade en entydigt låg slamhalt. Samtliga materials siktkurvor framgår av FIG 2.

##### 4.3 Betongsorter

Siktkurvor för sammansatt ballast anges i FIG 3. De har i figuren fått samma sifferbeteckning som ingående fingrus respektive finsand.

Ballast nr 4+6, FM = 4,9, ingår i kombinationen LH-cement/låg slamhalt samt som kontroll i plattorna nr 22 och nr 23 (Slite cement/låg slamhalt). I övrigt ingår ballast nr 3, FM = 5,1, i plattor med hög slamhalt och ballast nr 5+6, FM = 5,0, i plattor med låg slamhalt. Samma ballastgradering har eftersträvat för samtliga betongsorter.

Cementhalten har genomgående varit 300 kg/m<sup>3</sup> och avsedd konsistens 9-11 cm sättmått.

Konsistens i mm sättmått och vattenhalt i l/m<sup>3</sup> har för de skilda kombinationerna i genomsnitt varit:

	Låg slamhalt		Hög slamhalt	
	<u>Kons.</u>	<u>Vatten</u>	<u>Kons.</u>	<u>Vatten</u>
Limhamn LH	109	183	105	180
Limhamn Std	107	174	104	180
Skövde Std	102	172	98	175
Slite Std	108	175	107	180

## 5. REDOVISNING AV MÄTRESULTAT

### 5.1 Gjutning och vakuumbehandling

I TAB 2 redovisas i kronologisk ordning data från tillverkningen av betongplattorna. Där anges konsistens, den tid som erfordrats för vakuumbehandlingen, komprimering samt förhållandet mellan komprimering i mm och borttaget vatten i mm (l/m<sup>2</sup>).

### 5.2 Tryckhållfasthet, krympning och densitet

#### 5.2.1 Betongplattor

I TAB 3 redovisas för samtliga plattor och nivåer tryckhållfasthet vid 28 dygn, (kubstorlek 100 mm) krympning vid 14, 28, 91 och 182 dygn samt densitet, bestämd i samband med provning av hållfasthet.

#### 5.2.2 Normenlig provning

Bestämning av tryckhållfasthet har utförts på betong från varje blandarsats, inalles 34 st, medan bestämning av krympning utförts med en serie per undersökt betongsort, 8 st. Resultat från provning av tryckhållfasthet redovisas i TAB 4A och från provning av krympning i TAB 4B.

En jämförelse mellan normenliga kuber å ena sidan, och referensplattor och opåverkade undre nivåer i 200 mm-plattorna med liten vattenavgång å den andra, visade i vissa fall dålig relation. Efter ingående diskussion bedömdes det därför som riktigt, att vid utvärdering av mätresultaten från provning

av ur betongplattor utsågade kuber, använda erhållna mätvärden direkt, utan korrigerering med hänsyn till de variationer i hållfasthet mellan gjutsatser som normkuberna gav uttryck för.

## 6. UTVÄRDERING OCH DISKUSSION AV MÄTRESULTAT

### 6.1 Borttagen vattenmängd

#### 6.1.1 Behandlingstid - borttagen vattenmängd

En viss på förhand bestämd mängd vatten togs bort, nämligen 2, 4, 6 eller 8 l/m<sup>2</sup>, varvid erforderlig tid registrerades. Mätresultaten framgår av TAB 2 och FIG 4.

Den tid som åtgick för att ta bort viss mängd vatten varierade mycket de olika kombinationerna cement/slamhalt emellan. Betong med låg slamhalt gav lättare ifrån sig vatten än betong med hög. För cementsorterna var rangordningen från mest till minst: Limhamn Std, Limhamn LH, Skövde Std och Slite Std.

Vid 55% vakuum krävdes 35-50% längre tid än med 80% vakuum för att ta bort 4 l/m<sup>2</sup>.

Den mest svårbehandlade kombinationen var Slite/hög slamhalt och den minst svårbehandlade var Limhamn Std/låg slamhalt. Den senare kan dock inte utan vidare sägas vara mer lämpad för vakuumbehandling än den förra. Den krävde nämligen att mera vatten togs bort för samma ökning av hållfastheten, vilket gjorde att behandlingstiden i de båda fallen blev ungefär lika. De två betongsorterna innehöll från början lika mycket vatten.

Orsaken till att vattenavgången varierar är ifråga om slamhalten tämligen klar. Finpartiklar blockerar vattenpassagen genom betongen. Ifråga om cementtyp respektive fabrikat har antagits att specifika ytan och alkalihalten har stor betydelse, vilket verifieras av undersökningen. Jämför sammanställningen av data på cement, kap 4.1 med rangordningen ovan. Den i sammanställningen angivna vattenåtgången för rätt konsistens vid beredning av bruk för bestämning av cementets hållfasthet har ej korresponderat med vattenbehovet för respektive betongsort.

### 6.1.2. Komprimering - borttagen vattenmängd

På flertalet plattor mättes under vakuumbehandlingens gång komprimeringen så som beskrivits i kap 3.2. Något försök att kompensera själva vakuumplattans hoptryckning eller dess så gott som omedelbara nedtryckning i det översta skiktet av cementslam, har inte gjorts. Slutvärdet av den angivna komprimeringen kan därför vara något för stort. Intressant är emellertid att jämföra komprimering/ behandlingstid med borttagen vattenmängd/ behandlingstid.

I FIG 5A - 5D har dessa samband uppritats för plattor med tjockleken 200 mm. Härvid gäller att 1 mm komprimering motsvarar volymen 1 l/m<sup>2</sup>. Följande iakttagelser kan göras:

1. Komprimeringen är störst för den svårbehandlade kombinationen och minst för den lättbehandlade.
2. Komprimeringen går till att börja med snabbare än vattenbortgången.
3. Komprimeringen går i det senare skedet långsammare än vattenbortgången och avstannar för de lättbehandlade kombinationerna helt, trots fortsatt vattenbortgång.
4. Slutkomprimeringen är, trots att värdena enligt ovan kan vara något för stora, mindre än borttagen vattenmängd.

Nedan diskuteras tänkbara förklaringar till dessa iakttagelser.

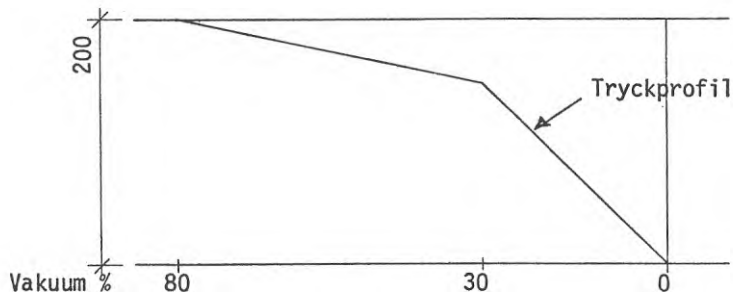
Punkt 1: De lättbehandlade plattorna, dvs de plattor som givit mycket vatten, uppvisade påtaglig vattenseparation före vakuumbehandlingen. I synnerhet gäller detta kombinationen Limhamn Std/låg slamhalt, där en relativt stor mängd vatten samlades på ytan efter vibrering. Detta vatten förklarar den för dessa plattor extremt snabba inledningsfasen. Det är också troligt att de separationsbenägna kombinationerna komprimerades något mer redan under vibreringen och vid den av utrymmesmässiga skäl nödvändiga transporten från gjutstället till platsen för vakuumbehandlingen. Härigenom blev betongmassan i viss grad packad redan innan behandlingen startade, med begränsad möjlighet till fortsatt komprimering.

Punkt 2: En orsak kan vara ovan omtalade hoptryckning av själva vakuumplattan som dock torde vara obetydlig. Vidare magasinerar vakuumplattan och sugfoten på denna en viss mängd vatten som inte registreras till en början, medan komprimeringen avläses omedelbart.

Punkterna 3 och 4: Som exempel kan nämnas att från platta 41 uttogs utan vertikal komprimering ca 4 l/m<sup>2</sup> och från platta 57 ca 2 l/m<sup>2</sup>. Att vattenbortgången på detta sätt fortsätter utan mätbar minskning av komprimeringen skulle kunna bero på följande orsaker:

- A. Det har konstaterats att vid bl a vakuumbehandling av kuber viss sidokomprimering förekommer (2). Sådan komprimering skulle då kunna tänkas fortsätta även sedan komprimeringen i höjddled upphört. Gjorda iakttagelser tyder emellertid på att volymminskning på grund av sidokomprimering är obetydlig för här aktuella betongplattor. Det kan dessutom, genom porositets- och densitetsmätningar i tidigare undersökningar (1) (2), anses klarlagt att någon volymminskning motsvarande vattenbortgången ej erhålles.
- B. Den vattenmängd som borttages utan att betongen komprimeras ersättes med luft utifrån. Vid gjutningen var formens botten och sidor inklädda med plastfolie som ej släpper igenom luft. Endast upptill, mellan vakuumplatta och formsida, är en smal remsa av betongytan exponerad för luften. Det synes osannolikt att luft i nämnvärd mängd kunnat tränga in i betongen denna väg eller ned mellan betong och plastfolie.
- C. Betongen innehåller från början en viss mängd luftporer, som genom vibrering och separation anrikas i plattans övre del. När betongens vätskefas genom vakuumbehandlingen utsätts för undertryck expanderar dessa porer och intar en större volym.

Enligt mätningar gjorda av CBI (2) kan en typisk tryckprofil i en 200 mm tjock platta se ut på följande sätt:



I genomsnitt är undertrycket i  
 det övre 50 mm tjocka skiktet 55%  
 den undre 150 " " " 15%

Om Lufthalten före vakuumbehandling är i övre skiktet 2,5%  
 och i undre skiktet 1,5% erhålles

	Före vakuumb.	Under
övre skiktet	1,25 l/m <sup>2</sup>	~ 2,8 l/m <sup>2</sup>
undre skiktet	<u>2,25</u> "	~ <u>2,6</u> "
Total luftvolym	3,50 "	5,4 "

Enligt detta exempel kan en vattenmängd av 1,9 l/m<sup>2</sup> borttagas utan komprimering.

Den inre luftens expansion skulle således tillsammans med vad som i övrigt anförs ovan kunna förklara den vattenbortgång som inte motsvaras av en komprimering.

Frågeställningen borttagen vattenmängd - komprimering behandlas i (7).



## 6.2 Hållfasthetsökning

I TAB 5 anges för samtliga plattor och nivåer hur hållfastheten ökat. Ökningen definieras för den övre nivån som skillnaden i hållfasthet mellan vakuumbehandlade plattor och motsvarande icke behandlade (referensplattor). Även den undre nivån hos de vakuumbehandlade plattorna jämföres med den övre hos de obehandlade. Denna skillnad mellan plattornas svagaste partier, med respektive utan vakuumbehandling, ger ett mått på plattans "konstruktiva" hållfasthetsökning.

### 6.2.1. Hållfasthetsökning uttryckt i antal hållfasthetsklasser

I TAB 6 anges erhållen hållfasthetsökning, uttryckt i antal hållfasthetsklasser för kombinationer med största undersökta vattenbortgång. Även här jämföres de vakuumbehandlade plattornas olika nivåer med respektive referensplattans övre nivå.

### 6.2.2. Djupverkan

Djupverkan vid största undersökta vattenbortgång visas i TAB 7.

Slamhaltens inverkan har för plattor med tjockleken 200 mm i genomsnitt varit

Låg slamhalt U/O = 0,91

Hög " U/O = 0,85

Djupverkan är således bättre vid låg slamhalt än vid hög, vilket är rimligt.

I fråga om cementtyp och fabrikat är skillnaderna inte entydiga.

I fråga om undertryckets storlek, 80% eller 55%, har för kombinationen Slite/hög slamhalt, erhållits bättre djupverkan med 55% än med 80%. Detta överensstämmer väl med de resultat som erhöles i den tidigare undersökningen, etapp I, (1), där använd betongtyp nära anslöt sig till ovannämnda kombination. För övriga kombinationer i föreliggande undersökning ger lågt vakuum något bättre djupverkan än högt, men skillnaden är liten. Se sammanställning.

Djupverkan, U/0, vid olika vakuum för plattor med tjockleken 200 mm och borttagen vattenmängd 4 l/m<sup>2</sup>.

Vakuum....	55%		80%	
	Slamhalt... Låg	Hög	Låg	Hög
Limhamn LH	0,88	0,87	0,85	0,85
Limhamn Std	0,94 <sup>1)</sup>	0,87	0,96 <sup>1)</sup>	0,86
Skövde	-	-	0,85	0,82
Slite	0,88	0,86	0,85	0,74

1) Lågt 0-värde vid 4 l/m<sup>2</sup>

### 6.2.3 Hållfasthet - borttagen vattenmängd

I förväg fastställda vattenmängder, 2, 4, 6 eller 8 l/m<sup>2</sup>, togs bort. Behandlingstiden maximerades till 40 min. I ett par fall kunde avsedd vattenbortgång ej uppnås på denna tid. Sambandet hållfasthet - borttagen vattenmängd för nivån 200 0 visas i FIG 6A - 6D.

Borttagen vattenmängd anges i l/m<sup>2</sup> och avser betongplattans hela yta.

För nivåerna 100, 200 0 och 300 0 ökar hållfastheten med vattenbortgången. I allmänhet är ökningen störst i början, dvs i intervallet 0-2 eller 0-4 l/m<sup>2</sup> och går saktare vid fortsatt behandling. Ett undantag utgör kombinationen Limhamn Std/låg slamhalt, plattjocklek 200 mm. Denna betong, med stark vattenseparation, uppvisar hållfasthetsförbättring först sedan mer än 4 l/m<sup>2</sup> borttagits. En del av detta vatten fanns redan på ytan då behandlingen igångsattes.

För nivåerna 200 U, 300 M och U erhöles obetydlig hållfasthetsförbättring vid liten vattenavgång. Vid fortsatt behandling erhöles emellertid vid ca 6-8 l/m<sup>2</sup> en tydlig uppgång, vilket indikerar att man även för dessa nivåer, med avpassad behandlingstid, kan uppnå viss hållfasthetsförbättring.

De plattor som behandlats med 55% vakuum ansluter sig vad gäller hållfastheten väl till de övriga, se FIG 6A - 6D. Jämför kap 6.2.2 angående djupverkan.

Av kap "Borttagen vattenmängd - behandlingstid" 6.1.1 framgår att de olika kombinationerna av cement och slamhalt resulterat i delvis mycket olika vattenbortgångskurvor. I FIG 6A - 6D har för nivån 200 0 sambandet hållfasthet - borttagen vattenmängd kombinerats med sambandet behandlingstid - borttagen vattenmängd. Med hjälp av dessa diagram kan man få en uppfattning om vilken behandlingstid eller vattenbortgång som erfordras för viss hållfasthetsökning.

I figurerna har som exempel inlagts en önskad förbättring av 10 Mpa = 2 hållfasthetsklasser. Förbättring enligt rät linje har här antagits, vilket innebär någon överskattning av erforderlig vattenbortgång i det aktuella intervallet. Förbättringen erhålles relativt lätt för alla de 8 kombinationerna. Kraven på behandlingstid och vattenbortgång varierar dock mellan 10-20 min resp mellan 3 och 6,5 l/m<sup>2</sup>. Vill man undvika olika rekommendationer för olika kombinationer av standardcement/slamhalt kan kravet formuleras sålunda:

För standardcement, vakuum 80% och nivån 200 0

Behandlingstid $\geq 15$ min	} 10 MPa förbättring
Borttaget vatten $\geq 3,0$ l/m <sup>2</sup>	

Båda villkoren skall vara uppfyllda.

Med 55% vakuum i exemplet ovan bör behandlingstiden ökas till 20-25 min.

Av diagrammen att döma skulle det vara tillräckligt att ställa krav på viss behandlingstid. Krav på vattenbortgången bör dock även ställas emedan svårbehandlad betong ofta föreligger.

Att enbart ställa krav på att en viss kvantitet vatten skall tas bort är heller inte lämpligt, om detta skall gälla för alla betongkombinationer. Det skulle i så fall krävas 6-7 l/m<sup>2</sup> för två hållfasthetsklasser. Så mycket vatten skulle emellertid med de svårbehandlade kombinationerna kräva kanske 1 timmes behandlingstid, om det överhuvudtaget skulle gå att få ut kvantiteten.

En anvisning för kontroll av processen, som skall omfatta alla betongtyper, lättbehandlade som svårbehandlade, bör således ange både kortaste tid och minsta mängd borttaget vatten, enligt exemplet ovan.

#### 6.2.4 Hållfasthet - komprimering

I avsnitt 6.1.2, "Komprimering - borttagen vattenmängd" har visats att vattenbortgången kan fortsätta trots att komprimeringen avstannat. Med hänsyn till att det, i det senare skedet borttagna vattnet ersättes med expanderad luft (jmf kap 6.1.2) och således någon minskning av porositeten ej äger rum, borde man inte vänta sig någon ytterligare hållfasthetsökning. Hållfastheten kan emellertid fortsätta att öka trots avstannad komprimering. Detta kan konstateras om t ex platta 41 jämföres med platta 40, platta 49 med platta 45 eller platta 57 med platta 55. I dessa plattor ingår kombinationerna Limhamn Std/låg slamhalt och Skövde/låg slamhalt. Av komprimeringen att döma bör med varandra jämförda plattor ha ungefär samma porositet, men hållfasthetsskillnaden är trots detta 3,5 - 8,0 MPa.

Konstaterandet ovan stöds av föregående undersökningar, (1) (2) där komprimeringen mättes på ett stort antal plattor. För tjockleken 100 mm erhöles en komprimering av knappt 2 mm redan efter ca 5 min, då den vid en vattenavgång av 1,5 - 2,0 l/m<sup>2</sup> avstannade. Om vakuumbehandlingen avbrutits här, skulle dessa plattor av allt att döma inte uppnått den hållfasthet som de vid fortsatt vattenavgång men avstannad komprimering faktiskt gjorde. Hållfasthetsökningen blev ca 15 MPa vid ca 2% komprimering eller porositetsminskning. Enligt (4) motsvarar en porositetsminskning (lufthaltsminskning) av 2% hos ordinär betong en hållfasthetsökning av ca 8 MPa, vilket är väsentligt mindre än den som verkligen erhöles. Så långt hänvisningen till ovannämnda undersökningar.

Orsaken till att hållfastheten i vakuumbehandlingens sista skede ökar utan att porositeten minskar eller att den ökar mer än vad porositetsminskningen ger anledning att förvänta, är oklar. En hypotes är att expanderande luftporer med åtföljande vattenbortgång, vid långvarig vakuumbehandling ändrar betongens struktur utan att porositeten ändras. Vidare kan noteras att tendensen är mest markant för separationsbenägen betong och därför skulle kunna sammanhånga med den inre separation som uppträder under större ballastkorn. Långvarig vakuumbehandling kan ha gynnsam effekt på "vattenfickor" som uppträder under stenar och som normalt nedsätter hållfastheten.

## 6.3 Krympning

### 6.3.1 Allmänt

Betongens krympning vid 14, 28, 91 och 182 dygn bestämdes på de ur betongplattorna utsågade provkropparna, se avsnitt 3.1 samt på normenligt tillverkade och förvarade provkroppar. Mätningens resultat för de förra anges i TAB 3 och för de senare i TAB 4B.

Betongplattorna förvarades från avformning vid 1 dygns ålder fram till sågning fuktigt paketerade i plastfolie. För betong med standardcement utfördes sågning vid ca 8 dygns ålder och för betong med långsamt hårdnande cement vid ca 18 dygns ålder. Efter sågning förvarades provkropparna under normenliga betingelser ifråga om temperatur och luftfuktighet.

Vakuumbehandlingens inverkan på krympningen är i undersökningen ej entydig. För plattor med tjockleken 100 mm samt för övre nivån hos plattor med större tjocklek kan ett samband mellan krympning och borttagen vattenmängd spåras. För undre nivåerna är krympningen lika stor hos vakuumbehandlade plattor som hos referensplattor.

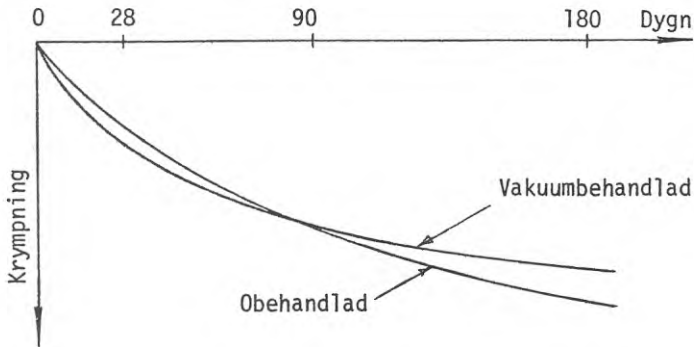
### 6.3.2 Krympning i övre nivån samt normenligt bestämd krympning

Uppmätt krympning vid 182 dygn hos plattor med tjockleken 100 mm och övre nivån hos övriga plattor visas i FIG 7A. I figuren anges även normenligt bestämd krympning.

En minskning på 0,05 o/oo av krympningen på grund av vakuumbehandlingen har erhållits hos plattor med tjocklek 100 mm och 300 mm samt för Skövde cement även 200 mm plattor. För övriga plattor är bilden oklar. Denna minskning är något mindre än vad man kan vänta sig, (5) (7), vilket kan ha orsakats av att den övre nivån blev återuppfuktad under första dygnens relativt våta lagring.

För tiden efter 28 dygn, dvs 28-182 dygn, är skillnaden i krympning mellan referensplattor och vakuumbehandlade plattor med få undantag större än vad den är för tiden 0-182 dygn., FIG 7B.

Vakuumbehandlingens inverkan på krympningen skulle sålunda vara gynnsammare för perioden 28-182 dygn än för perioden 0-182 dygn. Liknande resultat har erhållits i (5) där skillnaden i krympning vid 90 dygn var 0,03 o/oo och vid 180 dygn 0,09 o/oo. Tendensen visas i FIG



Iakttagelsen att krympningsförloppet till en början är snabbare för vakuumbehandlad betong än för icke behandlad stöds också av en teoretisk analys (7).

### 6.3.2 Diskussion av vakuumbehandlingens effekt på krympning och sprickbildning

Erhållen minskning av krympningen är förhållandevis liten. Praktiska erfarenheter ifråga om sprickbildning i betonggolv som vakuumbehandlats, tyder dock på att inverkan på krympningen skulle vara större än vad man av undersökningsresultatet har anledning att förvänta.

Denna erfarenhetsmässigt konstaterade gynnsamma effekt på sprickbildningen förklaras i den teoretiska analysen (7) på följande sätt. Vid beräkning av spänningar förorsakade av krympning visar det sig att en icke vakuumbehandlad betongplatta på grund av separation vid gjutningen alltid får stora dragspänningar i skiktet närmast ytan till ett djup av 20 å 30 mm. Detta gäller för såväl slutkrympning som krympning under pågående uttorkning. Under uttorkningsskedet förstoras

dessutom dragspänningen i ytan av att uttorkningen går fortast där.

För en vakuumbehandlad betongplatta blir dragspänningarna i översta skiktet till följd av krympning betydligt mindre än för en icke behandlad platta. Detta gäller också ifråga om både slutkrympning och krympning under pågående uttorkning. Vid slutkrympning kan t o m tryckspänning uppträda i ytskiktet. Orsaken är att vakuumbehandlingen ger upphov till särskilt stor komprimering och reduktion av vattencentralet i själva ytskiktet, vilket starkt reducerar krympningen hos detta.

Vakuumbehandlingen eliminerar sålunda den av separationen uppkomna stora benägenheten till krympning hos ytskiktet. Detta ger sig tillkänna som minskad sprickbildning.

Den i undersökningen gjorda indelningen av betongplattorna i 100 mm nivåer var för grov för att vakuumbehandlingens gynnsamma inverkan på krympningen i ytskiktet skulle framträda.

## 7. SAMMANFATTANDE SYNUNKTER GRUNDADE PÅ UNDERSÖKNINGENS RESULTAT

### 7.1 Undersökningens syfte

Avsikten med projektet var att få fram ytterligare underlag för bedömning av

1. vakuumprocessens inverkan på hållfastheten under varierande förutsättningar, bl a olika cementfabrikat och typer samt olika slamhalter i fingruset
2. rimligt utnyttjande av högre hållfasthetsklass
3. hur regler beträffande minimikrav och kontinuerlig kontroll av processen på arbetsplatsen bör formuleras
4. processens inverkan på betongens krympning

### 7.2 Undersökningens resultat

#### 7.2.1 Processens inverkan på hållfastheten

Erhållen hållfasthetsökning för samtliga kombinationer och nivåer framgår av TAB 5. Borttaget vatten per tidsenhet har

för de olika kombinationerna av cement/slamhalt varierat inom vida gränser. För viss ökning av hållfastheten måste emellertid större mängd vatten tas bort vid lättbehandlad betong än vid svårbehandlad. Härigenom erhålles viss utjämning av erforderlig behandlingstid mellan de olika kombinationerna.

Hållfasthetsökningen har för alla kombinationer med standardcement varit tämligen lika. Med tillräcklig behandlingstid ger lågt vakuum något bättre djupverkan än högt, i synnerhet för svårbehandlad betong.

#### 7.2.2 Konstruktivt utnyttjande av högre hållfasthetsklass

Hållfasthetsökning, uttryckt i antal hållfasthetsklasser (5 MPa), vid största undersökta vattenbortgång framgår av TAB 6.

För plattor med tjockleken 100 mm och för övre nivån hos övriga tjocklekar har ökningen för betong med standardcement varit lägst 2,5 och högst 4 hållfasthetsklasser. Hos 8 plattor av 10 har ökningen varit 3 hållfasthetsklasser eller mer.

För undre nivån och mellannivån hos plattor med tjockleken 200 mm och 300 mm har ökningen, definierad enligt 1.6.2, varit lägst 1 hållfasthetsklass och högst 2,5. Hos 4 plattor av 8 har ökningen varit minst 2 hållfasthetsklasser.

Av de erhållna resultaten att döma är det rimligt att räkna med en hållfasthetsökning motsvarande åtminstone 2 hållfasthetsklasser vid tjockleken 100 mm eller, emedan god marginal föreligger, 150 mm. Vid tjocklekar upp till 150 mm är det i regel fråga om golv på mark eller pågjutning på kassetter, är ytan efter vakuumbehandlingen alltid glättas med maskin vilket ger ytterligare ökning av hållfastheten. En rimlig rekommendation är följande

Konstruktiv hållfasthetsökning:

Betongtjocklek mm	0 - 150	150 - 300
Antal hållf.klasser	2	1

Hållfasthetsökning i ytan:

Betongtjocklek	alla
Antal hållf.klasser	3



Rekommendationen ovan är försiktigt avvägd, och har för de flesta kombinationerna innehållits med god marginal. För undersökt standardcement synes 3 hållfasthetsklasser i övre nivån vara möjligt att uppnå. Samma bedömning gjordes vid den tidigare undersökningen, etapp 1 (1). Vidare kan nämnas att vid fältprovning utförd av CBI (3) erhöles för bjälklag med tjockleken 190 mm en ökning hos undre nivån med 2 hållfasthetsklasser. Uteslutet är således inte att följande skulle kunna rekommenderas

Betongtjocklek mm	100	200	300
Antal hållfasthetsklasser	3	2	1

### 7.2.3 Minimikrav och kontinuerlig kontroll av processen

Enklaste sättet för kontinuerlig kontroll av processen på arbetsplatsen är att för varje flytt av vakuumpattan respektive mattan hålla reda på tid och undertryck. Borttagen vattenmängd skall alltid mätas då vakuumbehandling startar och sedan stickprovsvis under dagens lopp. Minimikrav på processen bör primärt gälla behandlingstid och borttagen vattenmängd och sekundärt visst undertryck. Önskvärt vore att en generell norm för hela landet kunde utformas. Detta skulle emellertid på nuvarande stadium vara svårt, då cementfabrikat och ballastmaterial varierar från plats till plats. Varje betongleverantör bör istället genom förprov med aktuella material fastställa kortaste tid och minsta vattenmängd. Samband mellan tid, vattenmängd och hållfasthet enligt FIG 6A - 6D bör därvid kunna vara till hjälp.

Sedan ytterligare klarhet på detta sätt vunnits, bör det dock vara möjligt att, om så önskas, upprätta en generell norm i enlighet med exemplet i kap 6.2.3, som kan gälla för alla normala betongblandningar. Härvid blir tidskravet utslagsgivande för lättbehandlad betong och vattenmängdskravet för svårbehandlad.

### 7.2.4 Processens inverkan på krympningen

Vakuumbehandlingens inverkan på krympningen är i undersökningen ej entydig. För plattor med tjockleken 100 mm samt för övre nivån hos plattor med större tjocklek kan ett samband spåras mel-

lan krympning och borttagen vattenmängd. Detta innebär att krympningen är minst närmast ytan där vattenbortgången är störst. För de tjocka plattornas undre nivåer är krympningen lika stor hos vakuumbehandlade plattor som hos referensplattor.

Praktiska erfarenheter ifråga om sprickbildning i betonggolv som vakuumbehandlats, tyder på att inverkan är större än vad undersökningsresultatet ger anledning att förvänta. Den gjorda indelningen i 100 mm nivåer har varit något för grov för att den markanta krympningsminskning, som kan förväntas i själva ytskiktet, tjocklek 20 å 30 mm, skulle ge sig tillkänna. Det är genom särskilt stor komprimering och vct-reduktion i detta, hos obehandlad betong oftast mycket cement- och vattenrika skikt, som vakuumbehandlingens gynnsamma effekt på sprickbildningen uppstår.

#### 8. VAKUUMBEHANDLAD BETONG - EN TEORETISK ANALYS

I samband med diskussion och utvärdering av erhållna mätresultat uppstod en del spörsmål rörande bl a vattenbortgång och komprimering samt processens inverkan på krympningen. Det bedömdes angeläget att få dessa frågor belysta ur teoretisk synpunkt. Skånska Cementgjuteriet uppdrog därför åt tekn.dr Göran Fagerlund vid Cement- och Betonginstitutet att kortfattat utreda dessa och hithörande problem. Resultatet föreligger som rapport nr 76106 från CBI; "Vakuumbehandlad betongs struktur, krympning och hållfasthet - en teoretisk analys", och ingår i referenslistan som nummer (7).

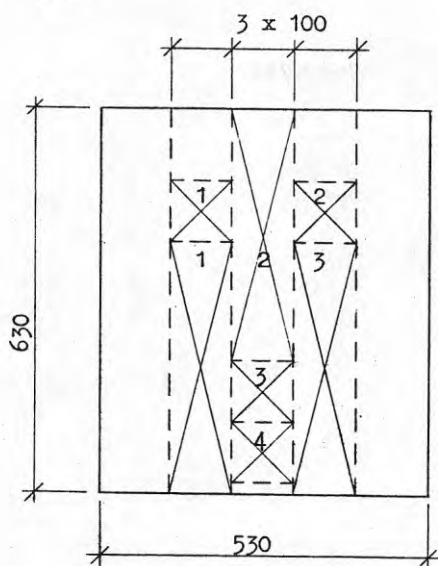
## REFERENSER

1. Nygårds J, Svensson C. Vakuumbehandling av betong i horisontala konstruktioner. Nordisk Betong 6:74.
2. Dahl G, Johansson A. Vakuumbehandling av betong. Cement- och Betonginstitutet, forskning 2:74.
3. Johansson A. Fältprovning av metod för uppskattning av hållfasthetsökning vid vakuumbehandling av betong. Cement- och Betonginstitutet, forskning 2:76.
4. Boija J, Larsson P-R, Sandberg B: "Egenskapernas variation med djupet hos ensidigt vakuumbehandlade plattor av stor tjocklek". Rapport 32/72. Institutionen för byggnadsteknik vid Tekniska högskolan i Lund.
5. Von K Gerike, T U Hannover: "Die Wirkung einer Vakuumbehandlung auf die Betoneigenschaften" Beton 5:75.
6. B5, Bestämmelser för betongkonstruktioner, material och utförande, Statens Betongkommitté.
7. Fagerlund G: Vakuumbehandlad betongs struktur, krympning och hållfasthet - en teoretisk analys. Cement- och Betonginstitutet, Rapport 76106.

## FIGURER OCH TABELLER I SLUTRAPPORTEN

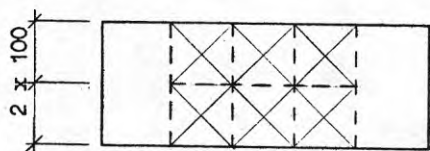
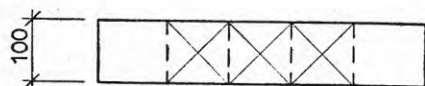
- FIG 1      Betongplatta och utsågade provkroppar.
- 2      Ballastfraktionernas gradering.
- 3      Sammansatta ballastgraderingar.
- 4      Erforderlig tid för vakuumbehandling för olika mängder borttaget vatten.
- 5A-5D Samband mellan tid och borttaget vatten respektive komprimering, (4 sidor).
- 6A-6D Samband mellan borttagen vattenmängd och hållfasthet respektive tid, (4 sidor).
- 7A      Krympning vid 182 dygns ålder.
- 7B      Krympning från 28-182 dygns ålder.
- TAB 1      Variabelkombinationer.
- 2      Förteckning över tillverkade plattor. Konsistens, tid och komprimering, (2 sidor).
- 3      Mätresultat. Tryckhållfasthet, krympning och densitet, (3 sidor).
- 4A      Normenlig provning av använd betong. Hållfasthet.
- 4B      Krympning hos normenliga provkroppar.
- 5      Hållfasthetsökning hos samtliga plattor och nivåer.
- 6      Hållfasthetsökning uttryckt i antal hållfasthetsklasser.
- 7      Djupverkan.

Plan

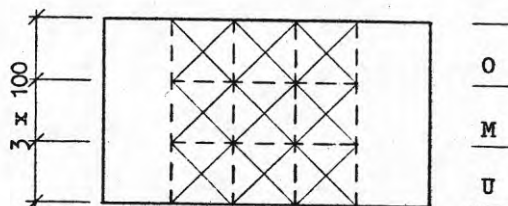


Betongplattans dimensioner.  
Kryss anger var i plattan  
provkroppar för bestämning  
av tryckhållfasthet och  
krypning utsågats.

Sektioner



—  
O Beteckningarna O, M och U  
— anger respektive provkroppens  
U nivå.



—  
O  
—  
M  
—  
U

FIG. 1. Betongplatta och utsågade provkroppar.

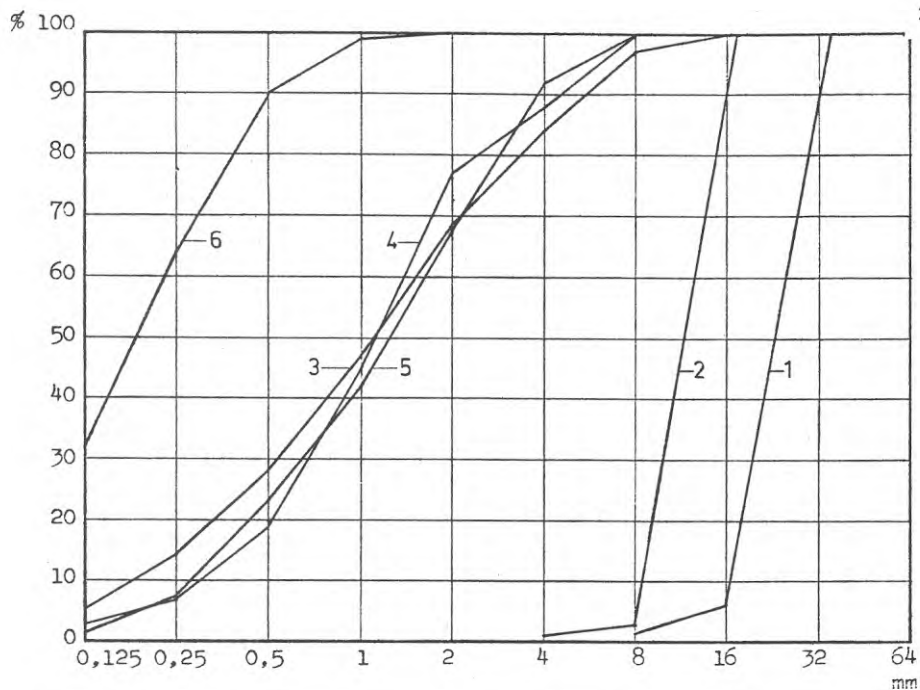


FIG 2 Ballastfraktionernas gradering. Sifferbeteckningar enligt avsnitt 4.2.0.

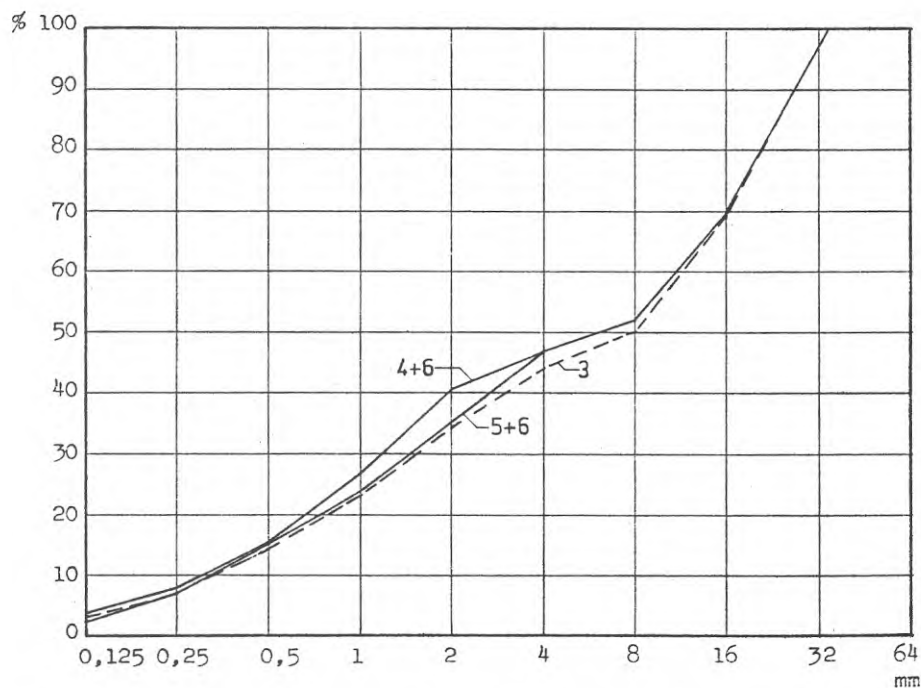


FIG 3 Sammansatta ballastgraderingar. Sifferbeteckningar avser ingående fingerus resp. finsand enligt avsnitt 4.3.0.

- Låg slamhalt V = 80 %  
 □ Låg slamhalt V = 55 %  
 ● Hög slamhalt V = 80 %  
 ■ Hög slamhalt V = 55 %

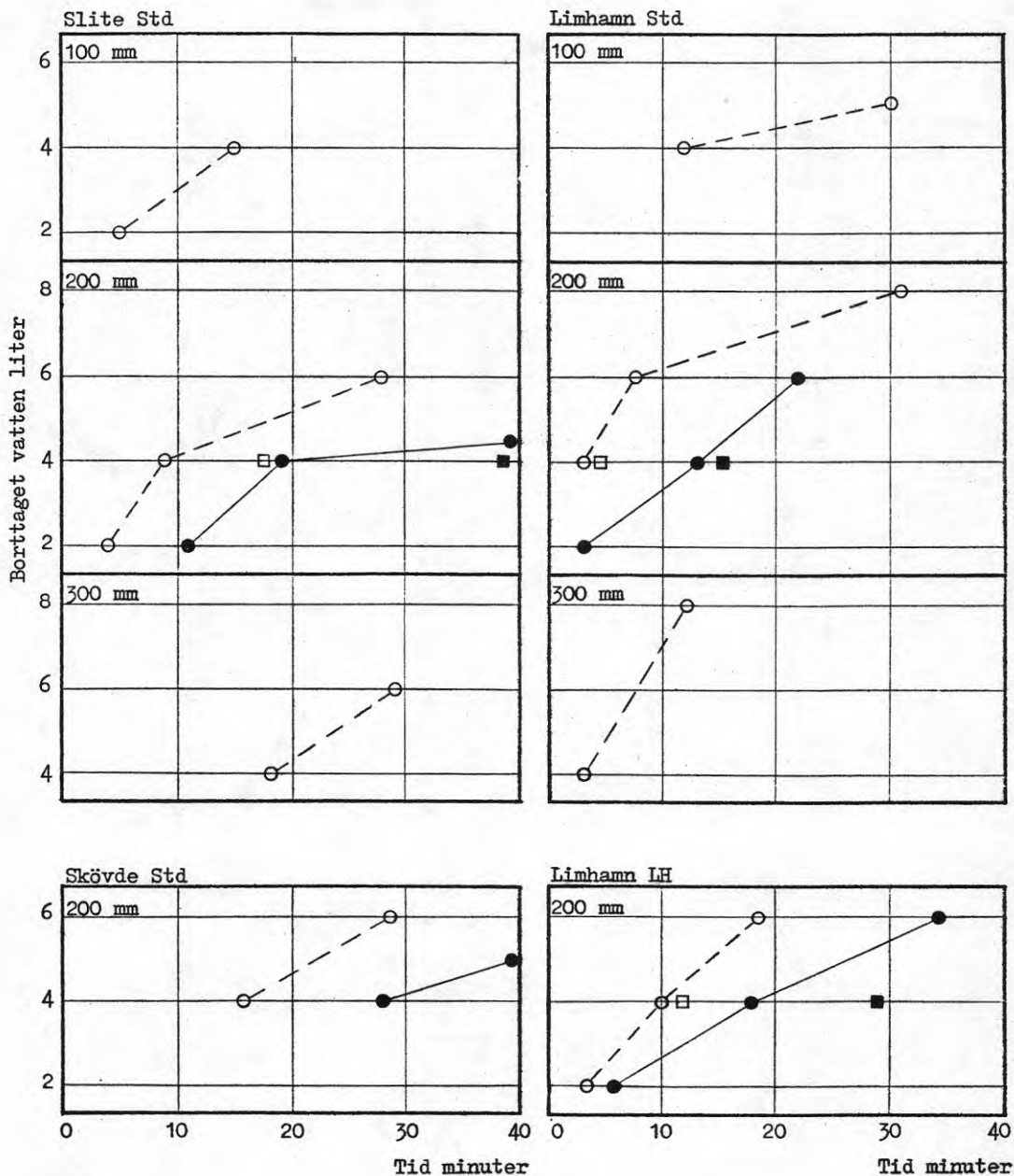


FIG. 4. Erforderlig tid för vakuumbehandling för de olika mängderna borttaget vatten.

Cement: Limhamn LH

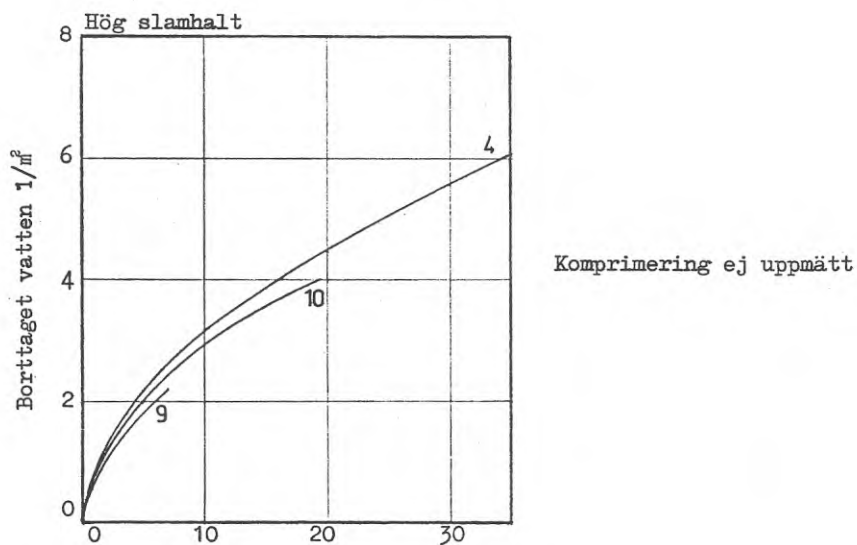
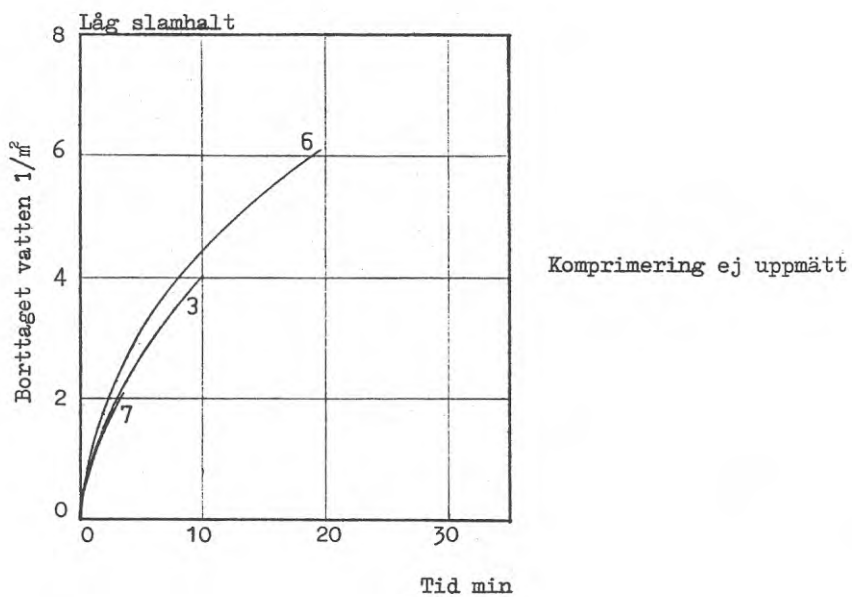


FIG 5A Samband mellan vakumbehandlingstid och borttaget vatten resp. komprimering. Plattjocklek 200 mm. Vakuum 80 %. Siffror i figur anger plattnummer.



Cement: Limhamn Std

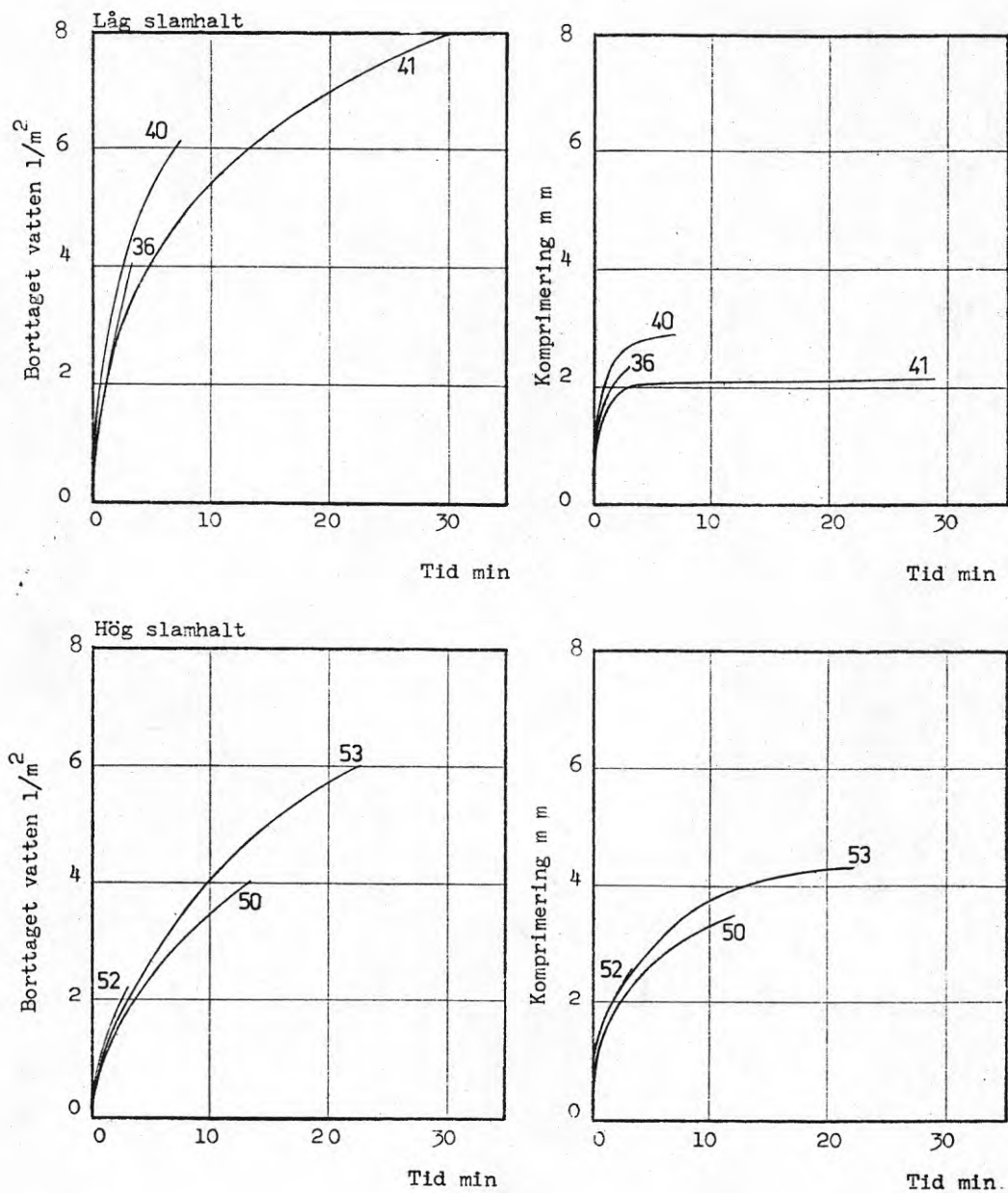


FIG 5 B Samband mellan vakuumbehandlingstid och borttaget vatten resp. komprimering. Plattjocklek 200 mm. Vakuum 80%. Siffror i figur anger plattnummer.

Cement: Skövde std

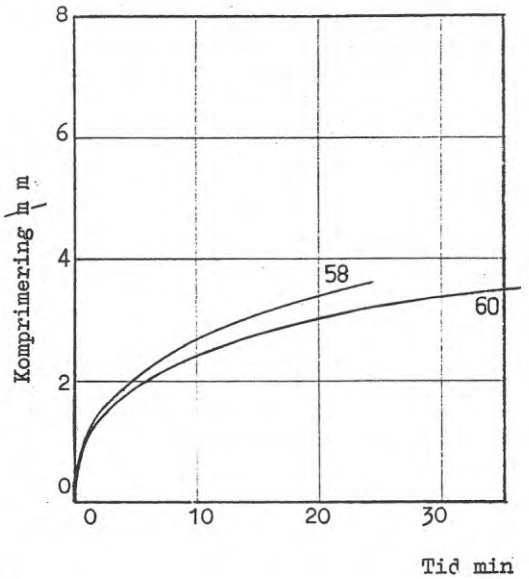
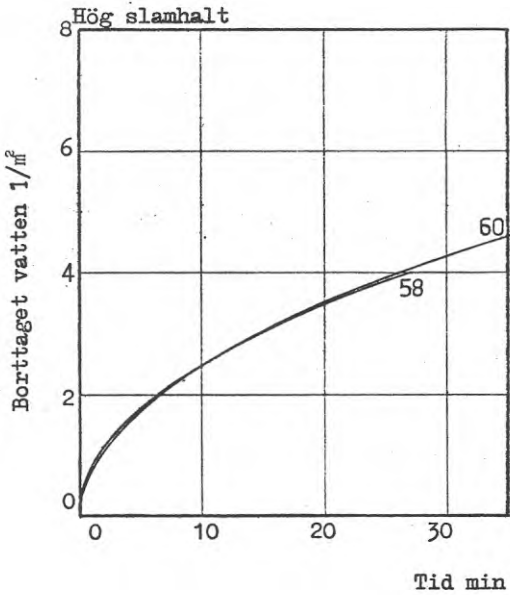
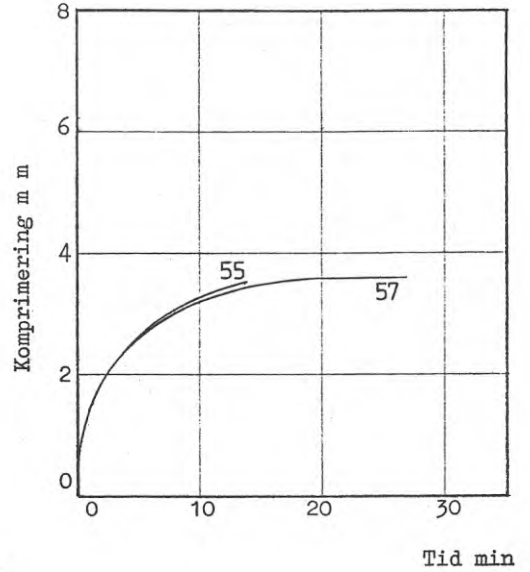
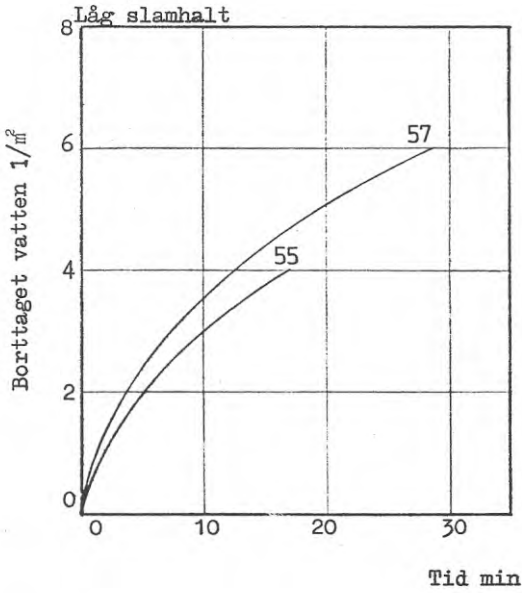


FIG 5C Samband mellan vakuumbehandlingstid och borttaget vatten resp. komprimering. Plattjocklek 200 mm. Vakuum 80 %. Siffror i figur anger plattnummer.

Cement: Slite Std

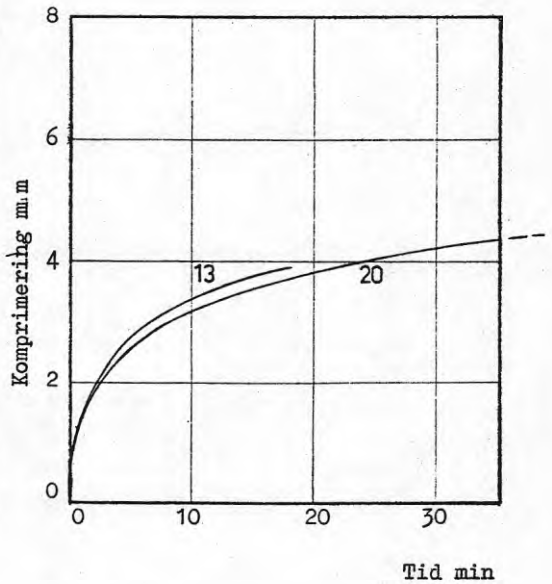
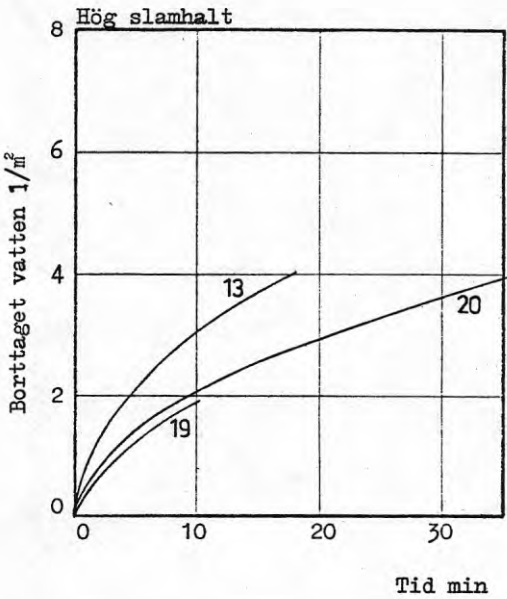
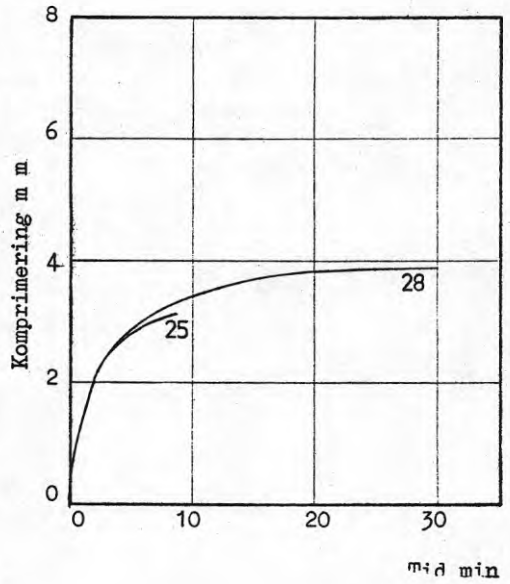
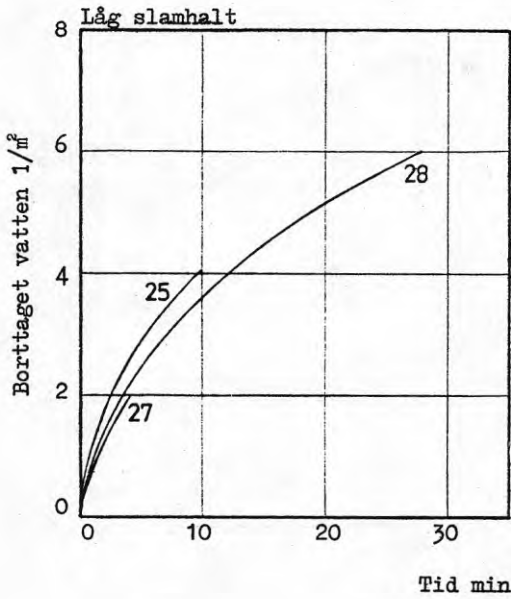
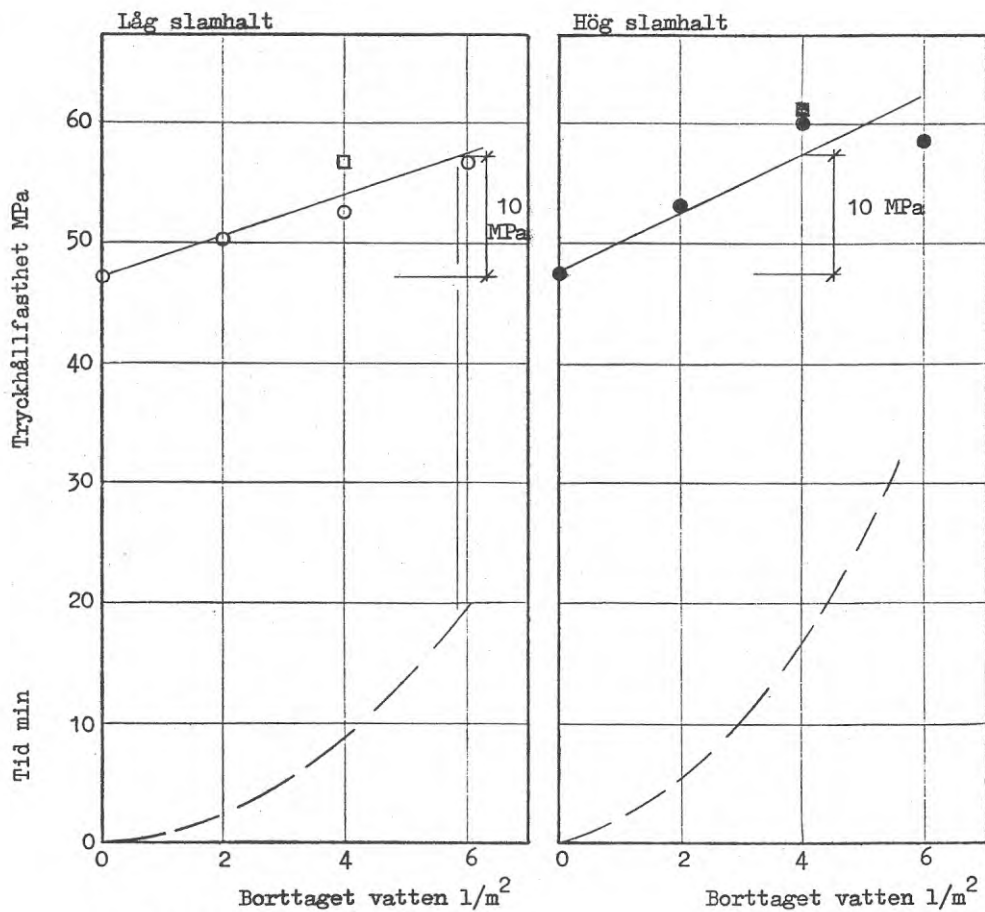


FIG 5 D Samband mellan vakuumbehandlingstid och borttaget vatten resp. komprimering. Plattjocklek 200 mm. Vakuum 80 %. Siffror i figur anger plattnummer.

Cement: Limhamn LH



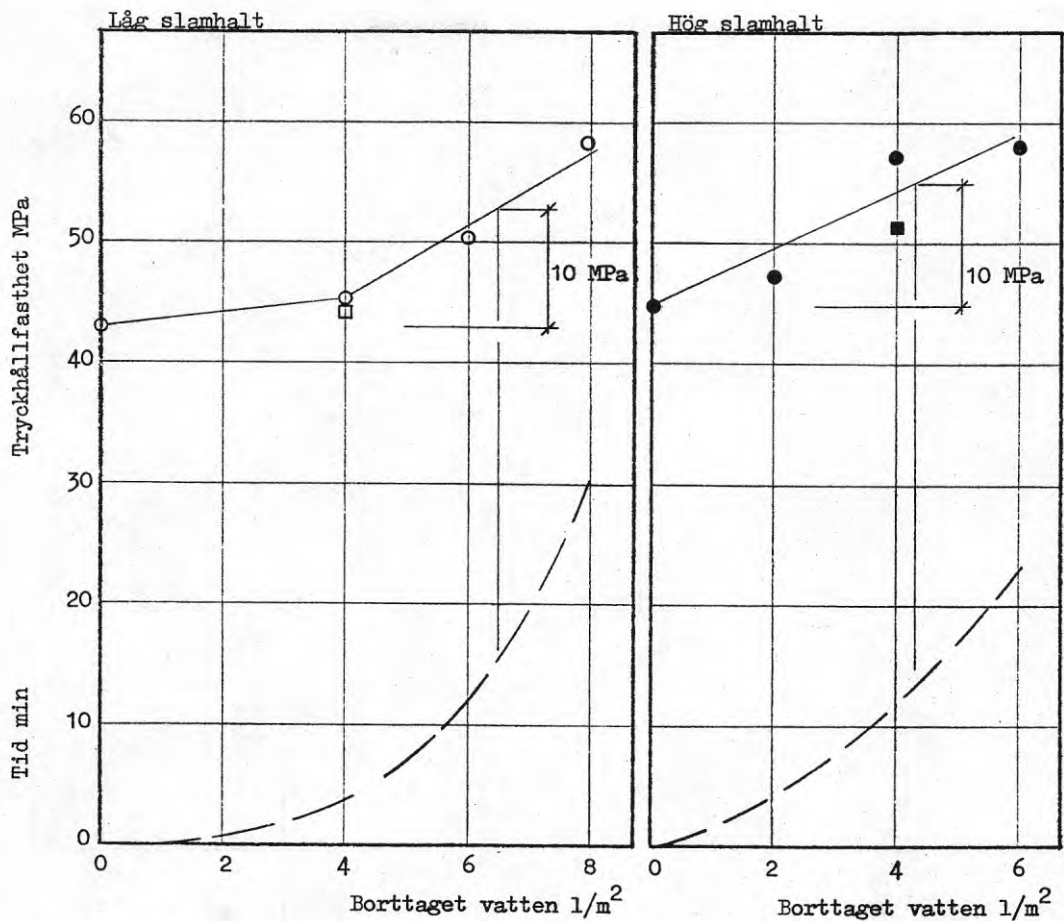
Exempel:

$\left. \begin{array}{l} \geq 20 \text{ min} \\ \geq 6 \text{ l/m}^2 \end{array} \right\} 10 \text{ MPa förbättring}$ 
 $\left. \begin{array}{l} \geq 20 \text{ min} \\ \geq 4 \text{ l/m}^2 \end{array} \right\} 10 \text{ MPa förbättring}$

○ ● V = 80 %      — Samband borttaget vatten - hållfasthet  
 □ ■ V = 55 %      - - - Samband borttaget vatten - behandlingstid

FIG 6A Samband mellan borttagen vattenmängd och hållfasthet respektive tid för vakuumbehandling. Plattjocklek 200 mm, övre nivån.

Cement: Limhamn Stå



Exempel:

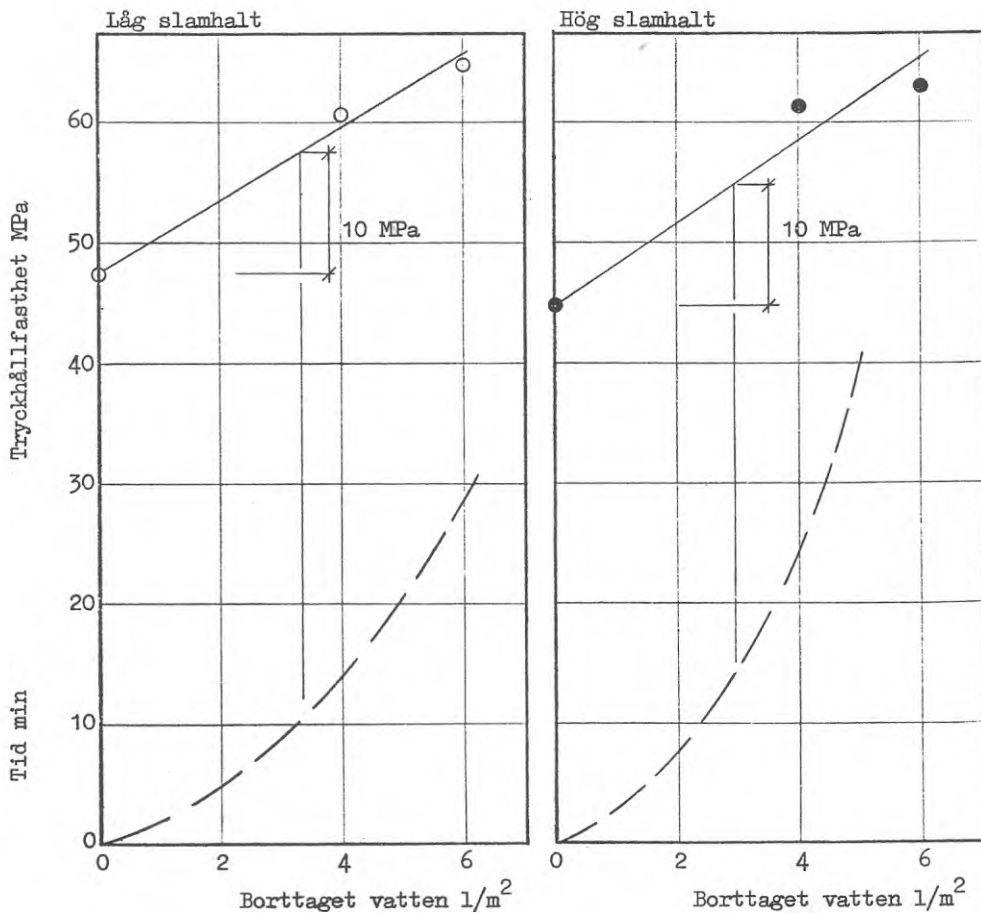
$\left. \begin{array}{l} \geq 15 \text{ min} \\ \geq 6,5 \text{ l/m}^2 \end{array} \right\} 10 \text{ MPa förbättring}$ 
 $\left. \begin{array}{l} \geq 15 \text{ min} \\ \geq 4,5 \text{ l/m}^2 \end{array} \right\} 10 \text{ MPa förbättring}$

○ ● V = 80 % — Samband borttaget vatten - hållfasthet

□ ■ V = 55 % — Samband borttaget vatten - behandlingstid

FIG 6B Samband mellan borttagen vattenmängd och hållfasthet respektive tid för vakuumbehandling. Plattjocklek 200 mm, övre nivån.

Cement: Skövde Std



Exempel:

$\left. \begin{array}{l} \geq 10 \text{ min} \\ \geq 3,5 \text{ l/m}^2 \end{array} \right\} 10 \text{ MPa förbättring}$ 
 $\left. \begin{array}{l} \geq 15 \text{ min} \\ \geq 3,0 \text{ l/m}^2 \end{array} \right\} 10 \text{ MPa förbättring}$

○ ● V = 80 %      — Samband borttaget vatten - hållfasthet

(□ ■ V = 55 %)      - - - Samband borttaget vatten - behandlingstid

FIG 6C Samband mellan borttagen vattenmängd och hållfasthet respektive tid för vakuumbehandling. Plattjocklek 200 mm, övre nivån.

Cement: Slite Std

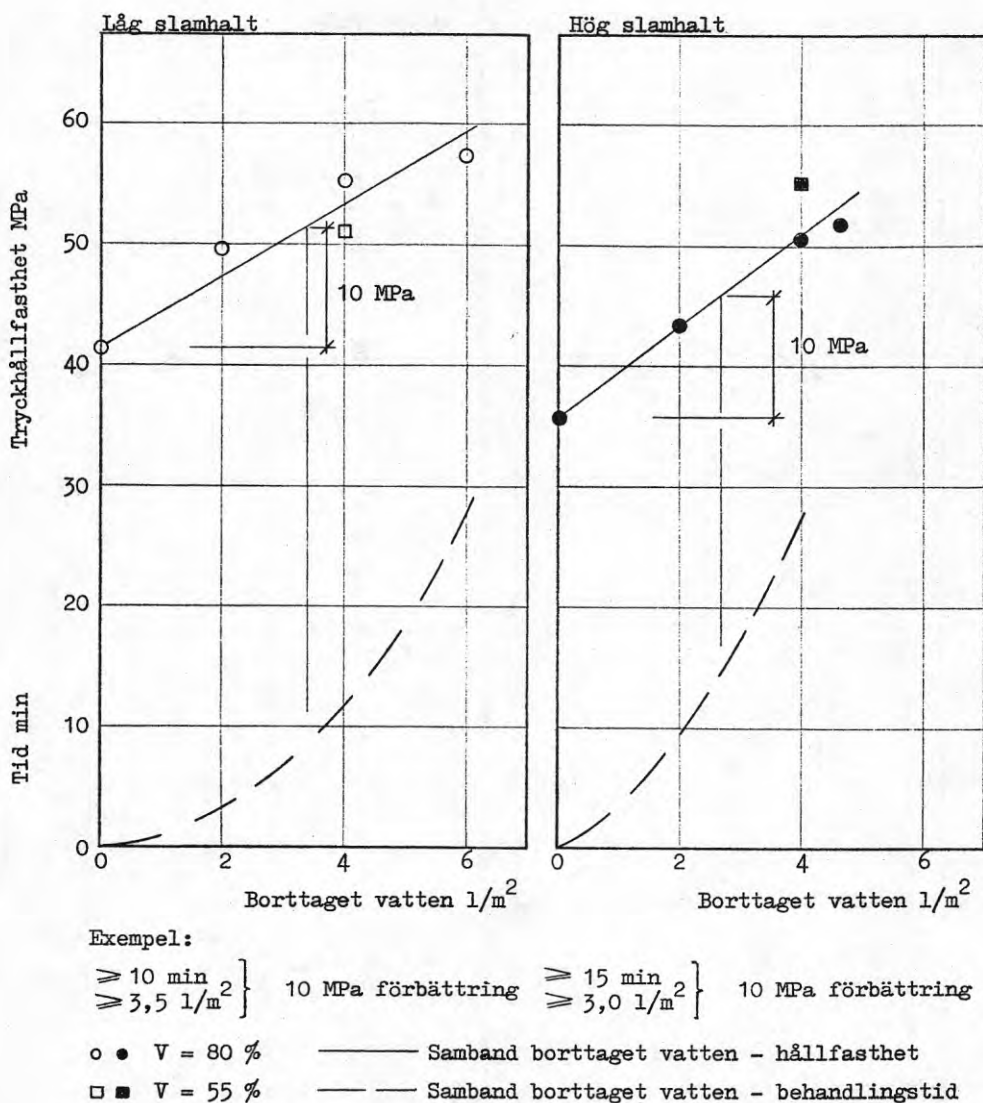


FIG 6D Samband mellan borttagen vattenmängd och hållfasthet respektive tid för vakuumbehandling. Plattjocklek 200 mm, övre nivån.

○ Låg slamhalt V = 80 %  
 □ Låg slamhalt V = 55 %  
 △ Låg slamhalt N

● Hög slamhalt V = 80 %  
 ■ Hög slamhalt V = 55 %  
 ▲ Hög slamhalt N

b Glättad

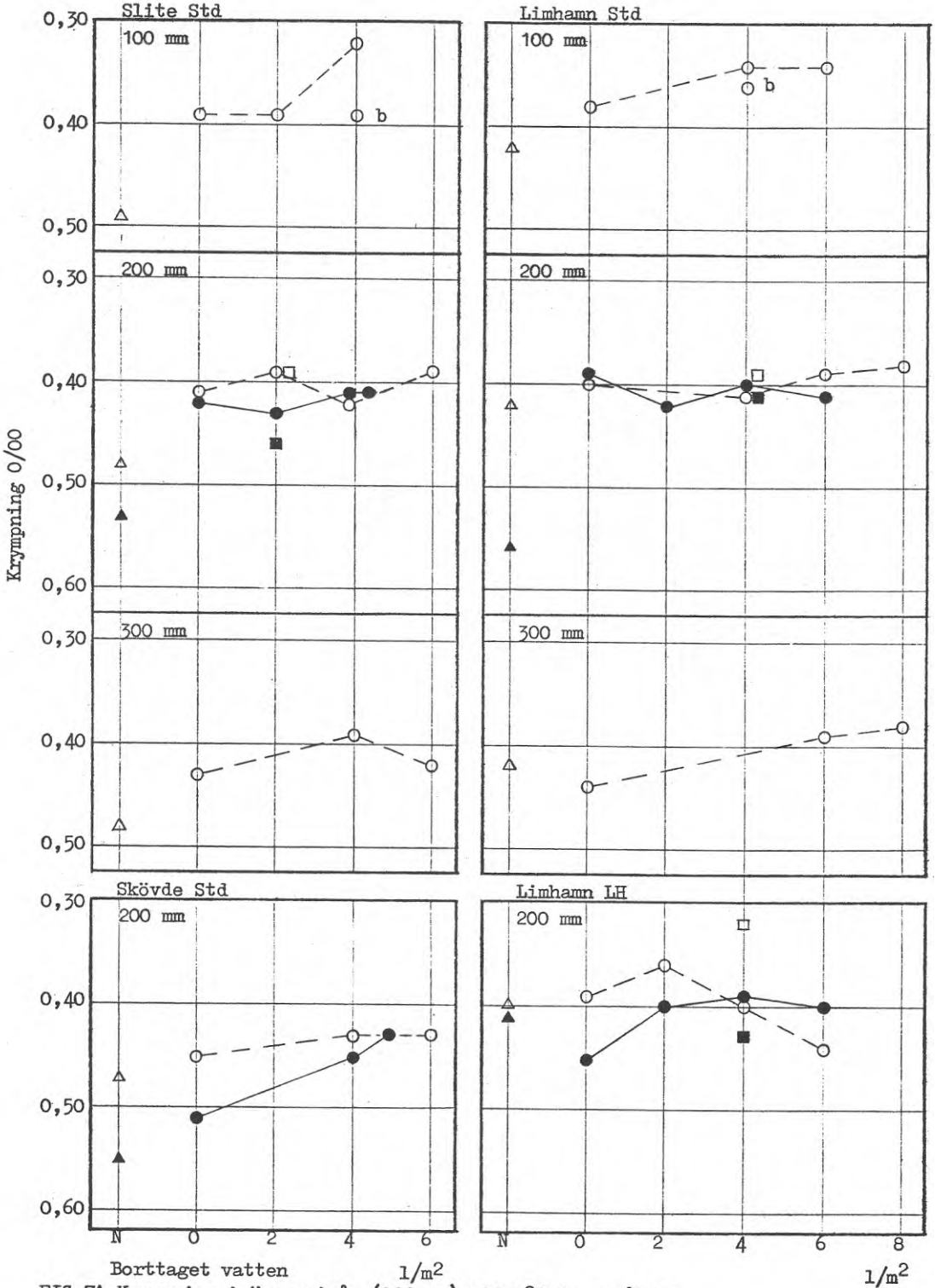


FIG 7A Krympning i övre nivån (100 mm) vid 182 dygns ålder.  
 N anger normenligt bestämd krympning.



- Låg slamhalt V = 80 %      ● Hög slamhalt V = 80 %
- Låg slamhalt V = 55 %      ■ Hög slamhalt V = 55 %
- △ Låg slamhalt N                ▲ Hög slamhalt N

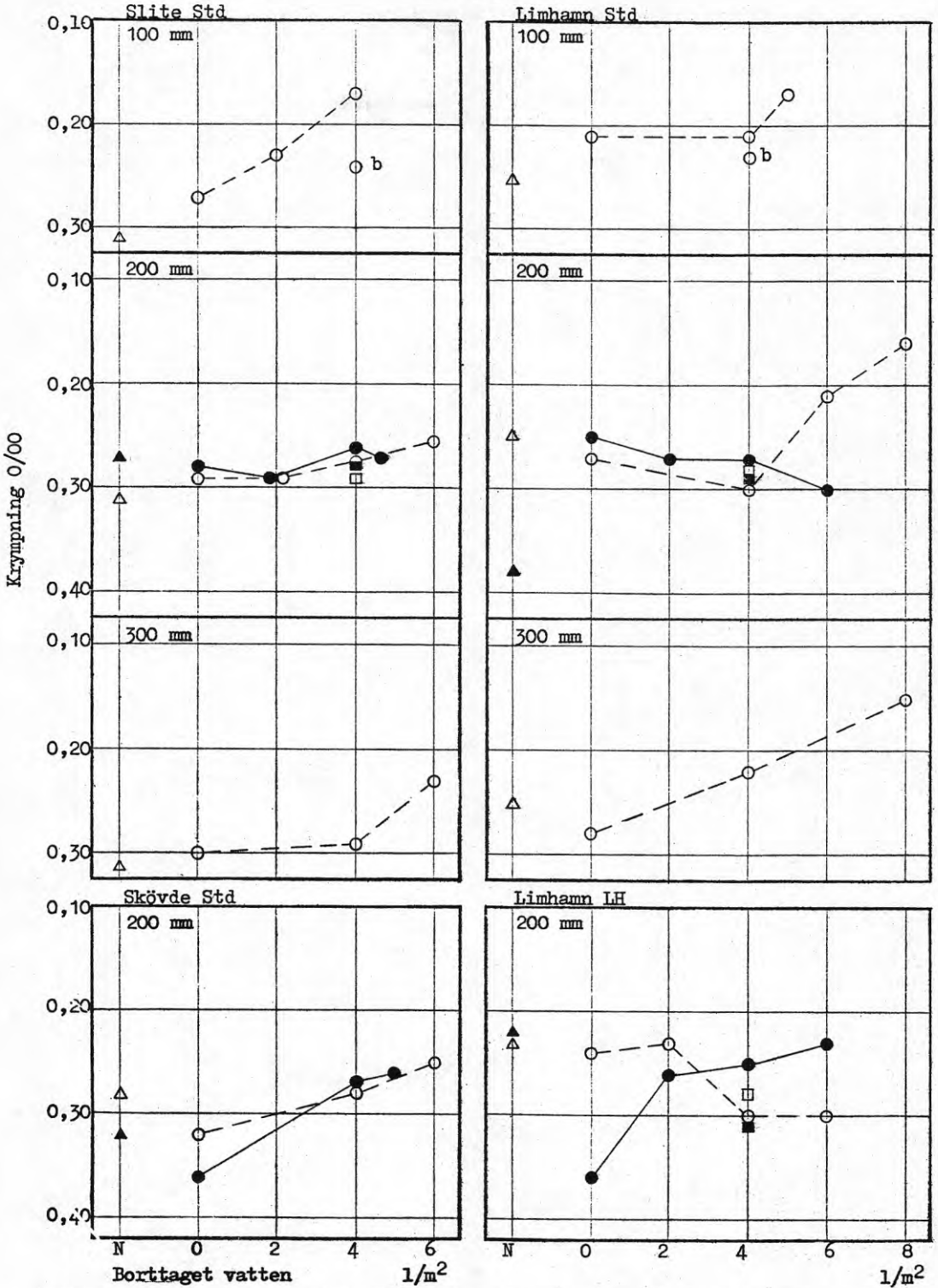


FIG 7B Krympning i övre nivån (100 mm) från 28 till 182 dygns ålder. N anger normenligt bestämd krympning.

TAB 1 Variabelkombinationer. Under rubriken "Borttaget vatten" anges respektive plattas tillverkningsnummer.

Cementsort Fabrikat	Slamhalt i grus		Tjocklek mm			Vakuum %		Borttaget vatten l/m <sup>2</sup>				
	Hög	Låg	100	200	300	80	55	2	4	6	8	0
Std Limhamn		x		x		x			36	40	41	37
Skövde		x		x		x			55	57		56
Slite		x		x		x		27	25	28		30
Slite		x		x		x			23	22		
Limhamn		x		x			x		47			
Slite		x		x			x		29			
Limhamn		x	x <sup>1)</sup>			x			45			
Limhamn		x	x <sup>1)</sup>			x			44	49		42
Slite		x	x <sup>1)</sup>			x			32			
Slite		x	x			x		34	33			38
Limhamn		x			x	x			43		48	46
Slite		x			x	x			31	35		39
Limhamn	x			x		x		52	50	53		51
Skövde	x			x		x			58	60		59
Slite	x			x		x		19	13	20		14
Limhamn	x			x			x		54			
Slite	x			x			x		26			
LH Limhamn		x		x		x		7	3	6		8
Limhamn		x		x			x		2			
Limhamn	x			x		x		9	10	4		5
Limhamn	x			x			x		1			

1) Plattan glättad

TAB 2 Förteckning över tillverkade plattor.  
Konsistens, tid för vakuumbeh., komprimering.

Platta nr	Cement-sort Fabr	Slamhalt	Tjocklek mm	Kons.sättn. mm	Borttaget vatten l/m <sup>2</sup>	Vakuump Tid min	Storl. %	Kompr. mm	K/V <sup>C</sup>
<u>LH</u>									
1	Limh.	Hög	200	85	4	29,0	55		
2	"	Låg	200	110	4	12,5	55		
3	"	Låg	200	115	4	10,0	80		
a 4	"	Hög	200	110	6	34,0	80		
5 R	"	"	200	110	-	-	-		
6	"	Låg	200	105	6	18,0	80		
7	"	"	200	115	2	3,5	80		
8 R	"	"	200	100	-	-	-		
9	"	Hög	200	110	2	5,5	80		
10	"	"	200	110	4	18,0	80		
<u>Std</u>									
13	Slite	Hög	200	115	4	19,0	80	3,90	0,98
14 R	"	"	200	115	-	-	-	-	-
19	"	"	200	105	2	10,5	76	-	-
20	"	"	200	105	4,3	40,0	74	4,42	1,02
22	"	Låg	200	110	6	38,0	78	-	-
23	"	"	200	105	4,2	15,3	80	-	-
25	"	"	200	120	4	9,5	80	3,09	0,77
26	"	Hög	200	95	4	38,5	55	4,00	1,00
27	"	Låg	200	105	2	4,0	80	-	-
28	"	"	200	105	6	28,0	80	3,87	0,65
29	"	"	200	110	4	18,0	55	3,85	0,96
30 R	"	"	200	110	-	-	-	-	-
31	"	"	300	100	4	18,0	78	4,05	1,01
32 b	"	"	100	110	4	17,5	80	-	-
33	"	"	100	110	4	17,5	80	2,19	0,55
34	"	"	100	105	2	5,0	80	-	-
35	"	"	300	105	6	29,5	80	4,85	0,80
36	Limh.	"	200	105	4	3,0	80	2,38	0,60
37 R	"	"	200	105	-	-	-	-	-
38 R	Slite	"	100	105	-	-	-	-	-
39 R	"	"	300	105	-	-	-	-	-

TAB 2 Fortsättning

Platta nr	Cement- sort Fabr	Slam- halt	Tjock- lek mm	Kons. sättn. mm	Borttaget vatten l/m <sup>2</sup>	Vakuum Tid min	Storl. %	Kompr. mm	K/V <sup>c</sup>
Std forts									
40	Limh.	Låg	200	110	6	7,7	80	2,87	0,48
41	"	"	200	110	8	30,5	80	2,12	0,27
42 R	"	"	100	110	-	-	-	-	-
43	"	"	300	110	4	1,7	80	2,68	0,67
44	"	"	100	110	4	6,0	80	-	-
45 b	"	"	100	110	4	6,3	80	1,40	0,35
46 R	"	"	300	100	-	-	-	-	-
47	"	"	200	105	4	4,0	55	2,77	0,70
48	"	"	300	105	8	12,0	80	3,39	0,42
49	"	"	100	105	5	30,0	80	1,36	0,27
50	"	Hög	200	105	4	13,0	80	3,50	0,87
51 R	"	"	200	105	-	-	-	-	-
52	"	"	200	110	2	3,0	80	-	-
53	"	"	200	110	6	22,0	80	4,31	0,72
54	"	"	200	90	4	16,5	55	3,46	0,87
55	Skövde	Låg	200	100	4	15,5	80	3,50	0,88
56 R	"	"	200	100	-	-	-	-	-
57	"	"	200	105	6	28,2	80	3,62	0,60
58	"	Hög	200	95	4	27,0	80	3,60	0,90
59 R	"	"	200	95	-	-	-	-	-
60	"	"	200	105	4,9	40,0	80	3,54	0,88

a Vertikal linje i första kolumnen sammanför plattor ur samma sats.

b Plattan glättad.

c K/V anger komprimering mm/borttaget vatten mm.

Borttagen vattenmängd i % av ursprunglig

1/m <sup>2</sup> ...	2	4	6	8
100 mm	11,2	22,4	33,6	-
200	5,6	11,2	16,8	22,4
300	-	7,5	11,2	15,0

R Referensplatta

TAB 3 Mätresultat. Tryckhållfasthet, krympning och densitet.

Platta nr		Hållfasthet		Krympning o/oo dygn				Densitet kg/m <sup>3</sup>
		Mpa	V-koef	14	28	91	182	
1	O	61,2	5,2	-	0,12	0,33	0,43	2390
	U	53,0	2,6	-	0,16	0,38	0,41	2390
2	O	56,7	4,6	-	0,13	0,28	0,37	2400
	U	46,2	6,7	-	0,11	0,23	0,32	2410
3	O	52,4	5,3	-	0,10	0,27	0,40	2390
	U	44,6	4,7	-	0,09	0,27	0,35	2420
4	O	58,3	6,7	-	0,17	0,31	0,40	2400
	U	48,4	9,1	-	0,14	0,27	0,36	2390
5	R O	47,3	1,9	-	0,09	0,32	0,45	2360
	U	50,9	3,1	-	0,09	0,29	0,40	2390
6	O	56,5	6,4	-	0,14	0,37	0,44	2380
	U	51,0	4,7	-	0,12	0,24	0,36	2420
7	O	50,3	4,2	-	0,16	0,32	0,39	2370
	U	43,9	3,6	-	0,11	0,26	0,34	2400
8	R O	47,1	1,8	-	0,12	0,32	0,36	2360
	U	45,1	5,7	-	0,11	0,26	0,32	2400
9	O	53,4	5,6	-	0,14	0,33	0,40	2370
	U	49,5	3,5	-	0,20	0,38	0,43	2390
10	O	59,9	7,1	-	0,14	0,31	0,39	2390
	U	51,2	6,6	-	0,14	0,33	0,40	2360
13	O	51,0	2,9	0,05	0,15	0,29	0,41	2400
	U	37,5	3,5	0,05	0,15	0,26	0,39	2420
14	R O	35,3	3,7	0,05	0,14	0,27	0,42	2380
	U	37,4	2,7	0,04	0,11	0,24	0,40	2400
19	O	43,7	3,4	0,06	0,14	0,29	0,43	2410
	U	36,6	1,7	0,05	0,12	0,27	0,40	2430
20	O	51,7	2,5	0,08	0,14	0,26	0,41	2430
	U	41,4	1,3	0,08	0,14	0,26	0,41	2410
22	O	55,8	2,5	0,06	0,18	0,37	0,41	2390
	U	46,9	7,0	0,05	0,16	0,31	0,36	2430
23	O	49,3	4,7	0,08	0,18	0,36	0,43	2400
	U	39,9	1,6	0,05	0,17	0,35	0,40	2430
25	O	55,3	3,6	0,10	0,12	0,31	0,42	2410
	U	47,2	3,2	0,10	0,12	0,27	0,36	2450

TAB 3 Fortsättning

Platta nr		Hållfasthet		Krympning o/oo dygn				Densitet kg/m <sup>3</sup>
		Mpa	V-koef	14	28	91	182	
26	O	55,4	3,1	0,14	0,18	0,37	0,46	2390
	U	47,8	5,2	0,11	0,16	0,33	0,43	2400
27	O	49,5	3,8	0,05	0,11	0,28	0,39	2370
	U	47,1	6,1	0,05	0,09	0,23	0,34	2440
28	O	56,9	2,1	0,06	0,11	0,29	0,39	2390
	U	51,1	3,9	0,05	0,10	0,25	0,34	2420
20	O	50,8	4,5	0,03	0,10	0,25	0,39	2400
	U	44,9	2,2	0,04	0,08	0,25	0,36	2410
30 R	O	41,1	0,2	0,06	0,13	0,27	0,41	2380
	U	42,8	2,8	0,06	0,12	0,25	0,37	2420
31	O	52,5	4,6	0,05	0,11	0,27	0,39	2390
	M	42,8	4,7	0,06	0,11	0,29	0,38	2420
	U	41,8	2,9	0,05	0,07	0,25	0,38	2430
32		57,4	2,4	0,09	0,15	0,27	0,39	2410
33		54,9	3,8	0,07	0,15	0,26	0,32	2410
34		53,5	3,7	0,08	0,16	0,31	0,39	2410
35	O	60,1	3,2	0,11	0,19	0,35	0,42	2410
	M	49,4	3,2	0,08	0,13	0,29	0,38	2430
	U	48,9	4,5	0,08	0,14	0,26	0,34	2430
36	O	45,6	6,8	0,06	0,11	0,33	0,41	2380
	U	44,0	4,1	0,08	0,14	0,26	0,32	2440
37 R	O	42,9	3,5	0,06	0,13	0,32	0,40	2380
	U	43,8	1,4	0,06	0,11	0,27	0,34	2430
38 R	O	45,5	3,5	0,06	0,12	0,29	0,39	2390
39 R	O	39,8	3,3	0,08	0,13	0,31	0,43	2360
	M	41,3	2,4	0,08	0,14	0,30	0,40	2390
	U	42,7	2,6	0,07	0,12	0,28	0,38	2410
40	O	50,5	1,4	0,05	0,18	0,31	0,39	2380
	U	44,3	6,3	0,04	0,17	0,28	0,34	2430
41	O	58,7	4,1	0,09	0,22	0,32	0,38	2420
	U	55,7	2,3	0,07	0,18	0,28	0,34	2440
42 R		44,1	2,0	0,06	0,17	0,31	0,38	2400
43	O	42,9	5,4	0,08	0,21	0,36	0,43	2390
	M	39,6	5,8	0,06	0,22	0,32	0,39	2410
	U	36,9	4,4	0,07	0,19	0,30	0,34	2430

TAB 3 Fortsättning

Platta nr	Hållfasthet		Krympning o/oo dygn				Densitet kg/m <sup>3</sup>
	Mpa	V-koef	14	28	91	182	
44	55,8	1,3	0,03	0,13	0,27	0,34	2430
45	56,0	3,0	0,04	0,13	0,27	0,36	2430
46 R O M U	34,4	4,7	0,03	0,16	0,31	0,44	2340
	35,2	3,7	0,03	0,16	0,29	0,39	2400
	38,8	9,3	0,03	0,14	0,28	0,35	2420
47 O U	44,5	8,5	0,02	0,11	0,30	0,39	2390
	41,9	4,3	0,04	0,12	0,29	0,36	2440
48 O M U	52,3	6,0	0,03	0,17	0,33	0,32	2370
	46,1	3,9	0,02	0,13	0,32	0,36	2410
	42,1	2,1	0,02	0,14	0,29	0,34	2440
49	59,9	2,7	0,03	0,17	0,27	0,34	2440
50 O U	57,5	4,3	0,01	0,13	0,32	0,40	2400
	49,7	3,4	0,02	0,14	0,32	0,38	2420
51 R O U	44,9	4,9	0,02	0,14	0,30	0,39	2380
	48,4	3,3	0,02	0,14	0,29	0,38	2410
52 O U	47,1	4,2	0,07	0,15	0,30	0,42	2390
	42,7	1,4	0,07	0,14	0,28	0,41	2420
53 O U	58,3	6,0	0,05	0,11	0,28	0,41	2420
	50,3	6,6	0,04	0,11	0,26	0,36	2420
54 O U	51,4	4,5	0,04	0,12	0,28	0,41	2420
	44,9	4,2	0,04	0,11	0,28	0,37	2430
55 O U	61,0	4,1	0,09	0,15	0,35	0,43	2400
	51,7	4,3	0,07	0,11	0,31	0,36	2420
56 R O U	47,6	3,4	0,08	0,14	0,37	0,46	2350
	48,7	4,5	0,07	0,14	0,33	0,39	2390
57 O U	64,8	0,6	0,09	0,18	0,40	0,43	2390
	56,1	7,0	0,08	0,15	0,33	0,38	2420
58 O U	61,3	3,4	0,09	0,18	0,34	0,45	2410
	50,1	1,9	0,09	0,17	0,33	0,45	2400
59 R O U	44,4	2,9	0,08	0,15	0,35	0,51	2380
	46,6	2,8	0,08	0,16	0,33	0,47	2400
60 O U	63,0	1,6	0,09	0,17	0,32	0,43	2410
	56,7	4,1	0,08	0,16	0,31	0,43	2420

TAB 4A Normenlig provning av använd betong, 150 mm kuber. Hållfasthet.

Platta nr	Cement- sort Fabr	Slam- halt	Hållfasthet		Platta nr	Cement- sort Fabr	Slam- halt	Hållfasthet	
			Mpa	V-koef				Mpa	V-koef
2	Limh LH	Låg	419	3,3	55	Skövde	Låg	466	0,9
3	"	"	417	0,5	57	"	"	<u>443</u>	0,7
6	"	"	522	1,5	Medelvärde			455	3,5
7	"	"	519	2,7					
8	"	"	<u>537</u>	1,9	58	Skövde	Hög	480	2,3
Medelvärde			483	12,0	60	"	"	<u>471</u>	1,1
					Medelvärde			476	1,3
1	Limh LH	Hög	471	1,5					
4	"	"	386	6,0	25	Slite	Låg	527	1,9
9	"	"	<u>490</u>	2,1	27	"	"	480	4,4
Medelvärde			449	11,1	29	"	"	444	1,6
					31	"	"	474	0,6
36	Limh Std	Låg	413	0,7	32	"	"	470	1,7
40	"	"	428	2,2	34	"	"	506	1,2
42	"	"	418	4,2	38	"	"	<u>481</u>	5,8
44	"	"	366	2,5	Medelvärde			483	5,6
46	"	"	420	3,3					
47	"	"	336	5,1	13	Slite	Hög	480	1,7
48	"	"	<u>346</u>	0,9	19	"	"	446	0,7
Medelvärde			390	10,0	26	"	"	<u>447</u>	0,7
					Medelvärde			458	4,1
50	Limh Std	Hög	473	0,8					
52	"	"	421	0,5					
53	"	"	<u>476</u>	2,3					
Medelvärde			457	6,8					



TAB 4B Krympning hos normenliga provkroppar.  
Plattnummer anger från vilken blandarsats betongen tagits.

Platta nr	Cement- sort Fabr	Slam- halt	Krympning o/oo dygn			
			14	28	91	182
2	Limh LH	Låg	-	0,17	0,32	0,40
1	" "	Hög	-	0,19	0,33	0,41
46	Limh Std	Låg	0,07	0,17	0,34	0,42
54	" "	Hög	0,12	0,18	0,39	0,56
57	Skövde	Låg	0,11	0,19	0,43	0,47
60	Skövde	Hög	0,15	0,23	0,39	0,55
32	Slite	Låg	0,05	0,17	0,35	0,48
26	"	Hög	0,21	0,26	0,42	0,53

TAB 5 Hållfasthetsökning hos samtliga plattor och nivåer.  
 Ökningen definierad som skillnaden mellan vakuumbehandlade plattors  
 olika nivåer och icke behandlade plattors övre nivå.  
 Ökningen anges i MPa.

Betongtjocklek mm .....			100	200				300
			80	80		55		80
Vakuum storlek % .....			Låg	Låg	Hög	Låg	Hög	Låg
Slamhalt .....	1/m <sup>2</sup>	Nivå						
Limhamn LH	2	0		4,2	6,1			
		U		-	2,2			
	4	0		6,3	12,6	10,8	13,9	
U			-	3,9	0,1	6,9		
6	0		10,4	11,0				
	U		4,9	1,1				
Limhamn Std	2	0			2,2			
		U			-			
	4	0	11,7	2,7	12,6	1,6	6,5	8,5
		M U		1,1	4,8	-	-	4,7 2,5
6	0	15,8 <sup>b)</sup>	7,6	13,4				
	U		1,4	5,4				
8	0		15,8				17,9	
	M U		12,8				11,7 7,7	
Skövde	4	0		13,4	16,9			
		U		4,1	5,7			
6	0		17,2	18,6 <sup>c)</sup>				
	U		8,5	12,3				
Slite	2	0	8,0	8,4	8,4			
		U		6,0	1,3			
	4	0	11,9	14,2	15,7	9,7	20,0	2,0
M U			6,1	2,2	3,8	12,5	3,0 2,0	
6	0		15,8	16,4 <sup>a)</sup>			20,3	
	M U		10,0	6,1			9,6 9,1	

Borttaget vatten a) 4,3 l/m<sup>2</sup> b) 5,0 l/m<sup>2</sup> c) 4,9 l/m<sup>2</sup>

TAB 6 Hållfasthetsökning, uttryckt i antal hållfasthetsklasser (5 MPa) vid största undersökta vattenbortgång.

	Platt- tjocklek mm	Låg slamhalt		Hög slamhalt	
		1/m <sup>2</sup>	Hållf. klasser	1/m <sup>2</sup>	Hållf. klasser
Övre nivån (0)					
Limhamn Std	100	5	3		
Slite	100	4	2,5		
Limhamn LH	200	6	2	6	2,5
Limhamn Std	200	8	3	6	2,5
Skövde	200	6	3,5	5	3,5
Slite	200	6	3	4,3	3
Limhamn Std	300	8	3,5		
Slite	300	6	4		
Undre nivån (U) och mellannivån (M)					
Limhamn LH	200	6	1	6	1
Limhamn Std	200	8	2,5	6	1
Skövde	200	6	1,5	5	2,5
Slite	200	6	2	4,3	1
Limhamn Std	300 M	8	2,5		
Slite	300 M	6	2		
Limhamn Std	300	8	1,5		
Slite	300	6	2		

TAB 7 Djupverkan vid största undersökta vattenbortgång.

	Platt- tjockl. mm	Låg slamhalt		Hög slamhalt	
		l/m <sup>2</sup>	U/0	l/m <sup>2</sup>	U/0
Limhamn LH	200	6	0,90	6	0,83
Limhamn Std	200	8	0,95	6	0,86
Skövde	200	6	0,87	5	0,90
Slite	200	6	0,90	4,3	0,80
Limhamn Std	300 M	8	0,82 M/0		
Slite	300 M	6	0,88 M/0		
Limhamn Std	300	8	0,81		
Slite	300	6	0,80		

## SAMMANFATTNING

### BAKGRUND

Vakuumbehandling av betong är ett sätt att ta bort vatten ur den färska betongen sedan denna på vanligt sätt placerats och komprimerats i gjutformen. Den hårdnade betongen får härigenom högre hållfasthet och slitstyrka. Metoden används framför allt vid läggning av betonggolv på mark, vid gjutning av enskikt-bjälklag samt vid pågjutning av kassetter. En försiktig uppskattning tyder på att mer än 1,5 Mm<sup>2</sup> årligen (1976) behandlas i vårt land. Vanligt är numera att det i byggnadsbeskrivningar anges att vakuumbehandling skall utföras. Även där så inte är fallet tillgrips metoden på grund av de arbetsmässiga fördelar som den erbjuder.

Den höjning av betongkvaliteten som man erhåller genom vakuumbehandlingen har man hittills inte fått tillgodoräkna sig i konstruktivt avseende, vilket synes vara slöseri med kvalitet. En förutsättning för att högre hållfasthetsklass skall få utnyttjas, är emellertid att processen på arbetsplatsen dels hålles under kontinuerlig kontroll, dels att den fyller vissa minimikrav, t ex i fråga om tid, vakuum eller borttagen vattenmängd. Enkla och pålitliga regler (normer) har hittills saknats.

### UNDERSÖKNINGENS SYFTE

Avsikten med projektet har varit att skapa ytterligare underlag för bedömning av dels hur regler för processen ute på fältet bör utformas, dels processens inverkan på hållfasthet och krympning vid varierande förutsättningar.

Att döma av resultat som framkommit vid tidigare projekt samt vid studium av annan forskning, beror processens hastighet samt den totala vattenmängd som kan borttagas på bl a cementfabrikat och mängden finpartiklar (slamhalt) i gruset. Inverkan av dessa faktorer, som kan vara avsevärd, har tidigare icke systematiskt undersökts. I föreliggande undersökning har

deras effekt studerats vid olika betongtjocklekar och vakuum och vid i förväg fastställda mängder borttaget vatten.

#### PROJEKTBEKRIVNING

I projektet jämföres tryckhållfasthet och krympning hos vakuumbehandlad betong med motsvarande egenskaper hos icke vakuumbehandlad

Cementsorterna var Limhamn LH, Limhamn Std, Skövde Std och Slite Std.

Slamhalterna, bestämda enligt B5 1973, var låg, 1 ä 2%, och hög, 10 ä 12%. Cementhalt 300 kg/m<sup>3</sup>, konsistens 9-11 cm, och ballastgradering, har avsetts vara oförändrade undersökningen igenom. Tre betongtjocklekar, 100, 200 och 300 mm, undersöktes samt två undertryck, 55% och 80% vakuum. De mängder borttaget vatten som undersöktes fastställdes i förväg till 2, 4, 6 och 8 l/m<sup>2</sup>.

Sammanlagt tillverkades 52 st betongplattor med olika tjocklek enligt ovan, ur vilka provkroppar för bestämning av tryckhållfasthet och krympning utsågades, FIG 1. Genomförda kombinationer framgår av TAB 1.

Betongplattorna tillverkades på CBI. Utsågning av kuber och balkar utfördes av Statens Provningsanstalt.

#### DISKUSSION AV ERHÅLLNA RESULTAT

##### Behandlingstid - borttagen vattenmängd

Den tid som åtgick för att ta bort viss mängd vatten varierade mycket de olika kombinationerna cement/slamhalt emellan. Betong med låg slamhalt gav lättare ifrån sig vatten än betong med hög. För cementsorterna var rangordningen från mest till minst: Limhamn Std, Limhamn LH, Skövde Std och Slite Std.

Vid 55% vakuum krävdes 35-50% längre tid än med 80 % vakuum för att ta bort 4 l/m<sup>2</sup>.

Orsaken till att vattenavgången varierar är ifråga om slamhalten tämligen klar. Finpartiklar blockerar vattenpassagen genom betongen. Ifråga om cementtyp respektive fabrikat har antagits att specifika ytan och alkalihalten har stor betydelse, vilket verifieras av undersökningen.

### Hållfasthetsökning och djupverkan

I TAB 2 anges erhållen hållfasthetsökning, uttryckt i antal hållfasthetsklasser för kombinationer med största undersökta vattenbortgång. De vakuumbehandlade plattornas olika nivåer jämföres med respektive referensplattas övre nivå.

Slamhaltens effekt på djupet har för plattor med tjockleken 200 mm i genomsnitt varit

Låg slamhalt U/O = 0,91

Hög " U/O = 0,85

I fråga om cementtyp och fabrikat är skillnaderna inte entydiga. I fråga om undertryckets storlek har för kombinationen Slite/hög slamhalt erhållits bättre djupverkan med 55% än med 80%.

### Krympning

Vakuumbehandlingens inverkan på krympningen är i undersökningen ej entydig. För plattor med tjockleken 100 mm samt för övre nivån hos plattor med större tjocklek kan ett samband mellan krympning och borttagen vattenmängd spåras. För undre nivåerna är krympningen lika stor hos vakuumbehandlade plattor som hos referensplattor.

Praktiska erfarenheter ifråga om sprickbildning i betonggolv som vakuumbehandlats tyder emellertid på att inverkan på krympningen är större än vad undersökningens resultat visar. Med hänvisning till nedan nämnda teoretiska analys, kan sammanhanget förklaras med att en markant krympningsminskning erhålles i ett relativt tunt ytskikt. Det är genom särskilt stor komprimering och vet-reduktion i detta, hos obehandlad betongs oftast mycket vattenrika skikt, som vakuumbehandlingens gynnsamma effekt på sprickbildningen uppstår.

### Vakuumbehandlad betong - En teoretisk analys

I samband med utvärdering av erhållna mätresultat uppstod spörsmål rörande bl a vattenbortgång och komprimering samt processens inverkan på krympningen. Det bedömdes angeläget att få dessa frågor belysta ur teoretisk synpunkt. Skånska Cementgjuteriet uppdrog därför åt tekn.dr Göran Fagerlund vid Cement- och Betonginstitutet att kortfattat utreda dessa

och hithörande problem. Resultatet föreligger som rapport nr 76106 från CBI; "Vakuumbehandlad betongs struktur, krympning och hållfasthet - en teoretisk analys", och ingår i referenslistan som nummer (7).

#### REKOMMENDATIONER

##### Ökning av tillåten hållfasthet

Av erhållna resultat att döma är följande rekommendation rimlig

	Konstruktiv <u>hållfasthet</u>		Hållfasthet <u>i ytskikt</u>
Betongtjocklek mm	150	150-300	alla
Antal hållfastsklasser	2	1	3

Rekommendationen är försiktigt avvägd och har för de flesta kombinationer innehållits med god marginal.

##### Minimikrav och kontinuerlig kontroll av processen på arbetsplatsen

Minimikrav bör primärt gälla behandlingstid och borttagen mängd vatten, sekundärt visst undertryck. Enklaste sättet för kontinuerlig kontroll är att för varje flytt av plattan respektive mattan hålla reda på tid och vakuum. Borttagen vattenmängd skall mätas för de första flytten och sedan stickprovsvis under dagens lopp.



## FIGURER OCH TABELLER I SAMMANFATTNINGEN

FIG 1 = FIG 1 i slutrapporten

TAB 1 = TAB 1 i slutrapporten

TAB 2 = TAB 6 i slutrapporten



**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 750119-6 från  
Statens råd för byggnadsforskning till AB Skånska Cementgjuteriet,  
Konstruktionskontoret, Danderyd**

**R28: 1977**

**ISBN 91-540-2689-X**

**Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm**

**Art.nr: 6600628**

**Abonnemangsgrupp:**

**Z. Konstruktioner o. material**

**Distribution:**

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

**Cirkapris: 24 kr + moms**