

Dansk hydraulisk kalk og hydratkalk

E. Suenson

Tidsskrifter

Ingeniørvidenskabelige Skrifter. nr. 04, 1945

1945

INGENIØRVIDENSKABELIGE SKRIFTER

1945 Nr. 4

---

DANSK HYDRAULISK KALK  
OG  
HYDRATKALK

AF

PROFESSOR E. SUENSON

*With an English Summary*



AKADEMIET FOR DE TEKNISKE VIDENSKABER

OG

DANSK INGENIØRFORENING

---

I KOMMISSION HOS

G. E. C. GAD  
VIMMELSKAFTET 32  
KØBENHAVN K

AKADEMIET  
FOR DE  
TEKNISKE VIDENSKABER

ACADÉMIE  
DES SCIENCES TECHNIQUES

AKADEMIE  
DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN

ACADEMY  
OF TECHNICAL SCIENCES

KØBENHAVN  
DANMARK

TLF. BYEN 3580, ØSTER VOLDGADE 10, KBH. K.

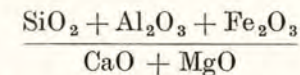
INDHOLD

	Side
Indledning .....	5
I. De undersøgte Kalksorter .....	7
II. Hydraulisk Kalk .....	8
A. Kemisk Sammensætning .....	8
B. Findelingsgrad .....	11
C. Styrken bedømt efter de tyske Normer .....	18
D. - af afsugede Mørtelstænger .....	20
E. Hærdning mellem Glasplader .....	24
F. - - Glasplade og Teglsten .....	27
1. Støbning paa Teglsten .....	27
2. - - Glasplade .....	29
G. Mørtlernes Svækkelse ved Gennemvædning .....	32
H. Kalksorternes praktiske Anvendelighed .....	32
III. Hydratkalk .....	36
A. Luftkalks Hærdning .....	36
B. Hydratkalks hydrauliske Egenskaber .....	38
C. Kalkmørtels Vandtab ved Afsugning .....	40
D. Afsugningstidens Indflydelse paa Mørtelstyrken .....	41
1. Styrken straks efter Afsugningen .....	41
2. - efter 4 Ugers Hærdning .....	42
E. Udtørnings Indflydelse paa Mørtelstyrken .....	43
F. Mørtlernes Svækkelse ved Gennemvædning .....	45
1. Ældre Forsøg .....	45
2. Nye - .....	47
3. Svækkelsens Aarsag .....	50
IV. Sammenfatning .....	53
<i>English Summary</i> .....	57

## INDLEDNING

Luftkalk (CaO) brændes af lerfri Kalksten, læsker sig fuldstændig med Vand og hærder ved Tilgang af Luftens CO<sub>2</sub>. Hydraulisk Kalk brændes af lerholdig Kalksten, hvorved man faar en Blanding af Luftkalk og cementagtige Stoffer (Kalksilikater, Kalkaluminater og Kalkferriter), der kan hærde i Forbindelse med Vand uden Tilgang af CO<sub>2</sub>.

Hydraulisk Kalk brændes af Kalksten, der oftest indeholder 10—30 % Ler. Da kun dens fri Kalk kræver Kulsyre for at hærde, medens dens cementagtige Stoffer hærder hydraulisk, er Hærdningsprocessen i mindre Grad end Luftkalkens afhængig af Lufttilgang, og de kalkfattigste Sorter kan opnaa en betydelig Styrke, selv om Luften slet ikke faar Adgang til Mørtlen, altsaa ogsaa under Vand. Dog foregaar den første Hærdning (Størkningen) hyppigst saa langsomt, at Mørtlen først efter maaske en Uges Lufthærdning taaler at oversvømmes uden at flyde ud, men derefter hærder den videre i Vandet. Evnen til at hærde hydraulisk vokser med Vægtforholdet:



det saakaldte hydrauliske Indeks. Hvis dette overstiger ca.  $\frac{1}{2}$ , kan det brændte Produkt ikke findeles ved Læskning; ligesom Cement maa det findeles ved Maling. De cementagtige Stoffer skal helst være til Stede i Form af Trikalciumsilikat.

Hydraulisk Kalk lader sig ikke som Luftkalk findele tilstrækkeligt ved Læskning, hvorfor den males og vindsigtes efter Læskningen eller — naar det hydrauliske Indeks er højt — uden at være læsket. Hvad enten den er fuldt læsket, delvis læsket eller ulæsket, sælges den kun i Pulverform. En vidtdrevet Findeling fremmer Hærdningen, men vigtigere er det dog, at Kalken er fri for grove, ulæskede Korn, som efter Mørtlens Anvendelse kan læske sig og derved virke sprængende, navnlig i Puds (Fig. 11).

**Dansk hydraulisk Kalk.** Medens man i Danmark har brændt Luftkalk fra omkring Aar 1050 eller tidligere, omtales hydraulisk Kalk først i 1551; den blev brændt af Kalksten fra Andrarum i Skaane. Omkring 1740 begyndte man at udnytte den bornholmske Cementsten, og denne Industri — der omtales af Holberg — fortsattes med Afbrydelser til et Stykke ind i dette Aarhundrede. De Kalksorter, der brændes for Tiden, brydes paa Sjælland og i Jylland<sup>1)</sup>.

<sup>1)</sup> Se *E. Suenson: Portlandementens Stamtræ (Dansk Andels Cementfabriks Jubilæumsskrift, Kbhvn. 1936).*

Dansk hydraulisk Kalk er kun svagt hydraulisk og bruges derfor i overvejende Grad til Husbygningsmurværk, af hvilket der kræves en hurtigere Hærdning eller større Styrke, end man kan opnaa med almindelig Luftkalk; til Vandbygningsmørtel er den derimod uegnet.

Naar den i Husbygningen foretrækkes for en cementholdig Kalkmørtel, er det navnlig, fordi Cement i højere Grad giver hvide Saltudslag og desuden kan farve visse, lyse Natursten — i særlig Grad Marmor — gullige eller brunlige. Af denne sidste Grund har man undertiden ved Opsætning af Marmorplader paa Betonfacader bagstøbt med almindelig Kalkmørtel tilsat hydraulisk Kalk. Men en saadan Mørtel indesluttet mellem en tæt Marmorplade og en tæt Betonvæg kan hverken afgive sit Vand eller faa tilført CO<sub>2</sub>, og da den som nævnt er meget lidt hydraulisk, holder den sig vaad og blød i Aarevis og kan ikke fastholde Pladerne.

I 1910 undersøgtes den eneste danske, hydrauliske Kalk, der dengang fremstilledes, og der gjordes opmærksom paa, at den kun var brugbar som Luftkalk<sup>1)</sup>; senere Forsøg med denne og de to andre danske Sorter, der for Tiden forhandles, kendes ikke.

Derfor har vi i *Laboratoriet for Byggeteknik* i 1944 prøvet alle 3 Kalksorters Styrke paa forskellige Maader:

(1) Efter de tyske Normer for hydraulisk Kalk, d. v. s. med stærkt komprimeret, jordfugtig Mørtel fremstillet af enskornet Normalsand; Lagring i fugtig Luft.

(2) Efter vor egen Metode for Mørtler af Luftkalk, d. v. s. med en vaa-dere Mørtel fremstillet af Muresand og afsuget mellem Træpapir; Lagring i fugtig Luft. Altsaa nogenlunde svarende til Forholdene ved Muring og Pudsning.

(3) Med Mørtel fremstillet af Muresand og med Murekonsistens, lagret i en helt tillukket Form, hvis Bund og Laag var Glasplader, altsaa nogenlunde svarende til Forholdene for en Mørtel, der udstøbes mellem en tæt Stenplade og en tæt Betonvæg.

(4) Som (3), men med en Teglsten i Stedet for den ene Glasplade, altsaa nogenlunde svarende til en Mørtel, der udstøbes mellem en tæt Stenplade og en Teglstensmur.

Desuden undersøgtes Kalksorternes kemiske Sammensætning og Findelingsgrad samt forskellige Forhold vedrørende Hærdningsmaaden.

Ved en Del af Forsøgene medtoges to Sorter Luftkalk — pulverformet Hydratkalk — til Sammenligning, og da der opstod forskellige Tvivlsspørgsmaal vedrørende Afsugningens Virkning m. m., blev der foretaget en Række supplerende Forsøg med Hydratkalk; de er samlede i Afsnit III.

<sup>1)</sup> Se *Byggematerialer* IV, 1911, § 1215.

## I. DE UNDERSØGTE KALKSORTER

Foruden de 3 hydrauliske Kalksorter undersøgtes 2 uhydrauliske Sorter Sække-kalk (Hydratkalk), se Tabel 1. De blev alle indkøbt af Laboratoriet.

Tabel 1. De undersøgte Kalksorter.

Kalksort	Leverandør	Leveret Dag	Vægt pr. Pose kg	Farve
Mariager Cheops Kalk Hydraulisk	A/S William Boas	14—12—43	45	brunlig hvid
Klintebjerg hydraulisk Kalk	A/S Knabstrup Teglværk	22—12—43	50	lys brun
Hydraulisk Kalk	A/S Faxe Kalkbrud	23—12—43	33 <sup>1</sup> / <sub>3</sub>	gulhvid
Hydrat-Kalk	"	15—12—43	"	hvid
Hydratkalk	A/S Ny Kalkbrænderi	20—12—43	"	gullig hvid

Farvens Hvidhed aftog i Ordenen: Faxe Hydrat, Ny Kalkbrænderi, Faxe hydraulisk, Cheops, Klintebjerg.

Cheopskalken brændes i Skaktovn, males i Rørmølle og vindsigtes, er altsaa ikke læsket.

Klintebjergkalken bliver efter Brændingen knust og tørlæsket, luftlæskes i Siloer, males og vindsigtes.

Faxekalken og de to Hydratkalker fremstilles formentlig som Klintebjergkalken.

## II. HYDRAULISK KALK

### A. KEMISK SAMMENSÆTNING

De 3 hydrauliske Kalksorter analyseredes i Overensstemmelse med DIN 1060, Udgave 1941. Hver Kalksort analyseredes 3 Gange, og Forsøgs-værdiernes Middeltal er indført i Tabel 2—4.

Tabel 2. Kalk i Leveringstilstand.

	Cheops %	Klintebjerg %	Faxe %
A. Glødetab (se Tabel 3)	7,6	9,3	23,6
B. Kemisk uvirksomme Stoffer (uopløselige i Saltsyre)	22,3	6,3	0,5
C. Kemisk virksomme Stoffer			
a. Alkaliske Jordarter			
CaO	44,1	60,7	72,7
MgO <sup>1)</sup>	0,2	2,0	0,3
b. Opløselige sure Stoffer			
SiO <sub>2</sub>	24,1	16,9	1,2
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + TiO <sub>2</sub> + Mn <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	0,9	2,3	0,4
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,4	1,5	1,2
D. Svovl			
Sulfatsvovl (SO <sub>3</sub> )	0,4	1,0	0,1
Sulfidsvovl (S)	Spor	0,0	0,0
	100,0	100,0	100,0
Uvirksomt Stof (B) i % af A + B + C	22,4	6,4	0,5
CaO i % af virksomme Stoffer (C)	63,3	72,8	95,9
MgO <sup>1)</sup> i % af virksomme Stoffer (C)	0,3	2,4	0,4
Opløselige sure Stoffer (b) i % af virksomme (C)	36,4	24,8	3,7
Hydraulisk Indeks (se Side 5)	0,57	0,33	0,04

<sup>1)</sup> Tallene for Magnesia er usikre, da rene Kemikalier til Analysen ikke kunde faas.

Tabel 3. Glødetab.

	Cheops %	Klintebjerg %	Faxe %
Mekanisk bundet Vand <sup>2)</sup>	0,3	0,2	0,6
Hydratvand	1,4	8,0	21,9
CO <sub>2</sub>	5,9	1,1	1,1
	7,6	9,3	23,6

<sup>2)</sup> bestemt ved at tørre Kalken i Vakuum (Lufttryk: 0,015—0,025 atm) ved 98°.

Tabel 4. Kalk efter Udglødning.

	Cheops %	Klintebjerg %	Faxe %
I Saltsyre uopløseligt Stof	24,1	6,9	0,7
Kalk (CaO)	47,8	66,9	95,1
Magnesia (MgO) <sup>1)</sup>	0,2	2,2	0,4
Opløselig Kiselsyre (SiO <sub>2</sub> )	26,1	18,7	1,6
Lerjord (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + TiO <sub>2</sub> + Mn <sub>3</sub> O <sub>4</sub> )	1,0	2,5	0,5
Jærnilte (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	0,4	1,7	1,6
Sulfatsvovl (SO <sub>3</sub> )	0,4	1,1	0,1
Sulfidsvovl (S)	Spor	0,0	0,0
	100,0	100,0	100,0

<sup>1)</sup> Tallene for Magnesia er usikre, da rene Kemikalier til Analysen ikke kunde faas.

Tabel 3 viser, at Klintebjerg- og Faxekalkens Glødetab overvejende skyldes Hydratvand. Derved bekræftes, at disse to Kalksorter er læskede inden Formalingen i Modsætning til Cheopskalken, hvis Glødetab overvejende skyldes CO<sub>2</sub>; formentlig er denne ikke blevet uddrevet ved Brændingen, men først ved Analyse-Glødningen, der foretoges ved 1000—1100°. Antages alt Hydratvandet bundet til CaO — i Virkeligheden er noget bundet til de øvrige Bestanddele — bliver Mængderne af læsket og ulæsket Kalk i de 3 Kalksorter i Leveringstilstanden som angivet i Tabel 5.

Tabel 5. Kalkens Læskningsgrad.

	Cheops %	Klintebjerg %	Faxe %
Læsket Kalk, Ca(OH) <sub>2</sub>	5,8	32,9	90,1
Ulæsket - , CaO	39,7	35,8	4,5

Tabel 4 viser Sammensætningen efter Udglødning, altsaa den Sammensætning, Kalken har haft inden Læskningen, bortset fra de smaa CO<sub>2</sub>-Mængder. Man ser, at Faxekalken indeholder 95,1 % CaO og altsaa ikke adskiller sig fra almindelig Luftkalk, medens Klintebjerg- og navnlig Cheopskalken indeholder væsentlige Mængder opløselig Kiselsyre. Af uopløseligt Stof — kemisk uvirksomt Stenmel — indeholder Cheopskalken langt den største Mængde.

Til Bedømmelse af Kalkens Godhed og Art er — i Overensstemmelse med DIN 1060 — Værdierne nederst i Tabel 2 udregnet.

Luftkalk maa højst indeholde 5 % uvirksomt Stof og skal mindst indeholde 90 % CaO. Begge Krav tilfredsstilles af Faxekalken.

*Vandkalk* skal mindst indeholde 10 % opløselige sure Stoffer, og Trykstyrken efter 28 Døgn — se Tabel 13 — skal mindst være 15<sup>at</sup>. Det første af disse Krav tilfredsstilles af Cheops- og Klintebjergkalken.

*Hydraulisk Kalk* skal mindst indeholde 15 % opløselige sure Stoffer, og Trykstyrken skal mindst være 40<sup>at</sup>. Det første af disse Krav tilfredsstilles af Cheops- og Klintebjergkalken.

Endelig er det hydrauliske Indeks udregnet; for Cheopskalken overstiger det 0,5, hvilket stemmer med, at denne Kalk sælges ulæsket (se Side 5).

Efter Analyseresultaterne at dømme maa man følgelig antage, at de hydrauliske Egenskaber aftager i Ordenen Cheops, Klintebjerg, Faxe, samt at Faxekalken ikke adskiller sig fra almindelig Luftkalk.

Det samme kunde man slutte sig til af Stoffernes Forhold til Saltsyre.

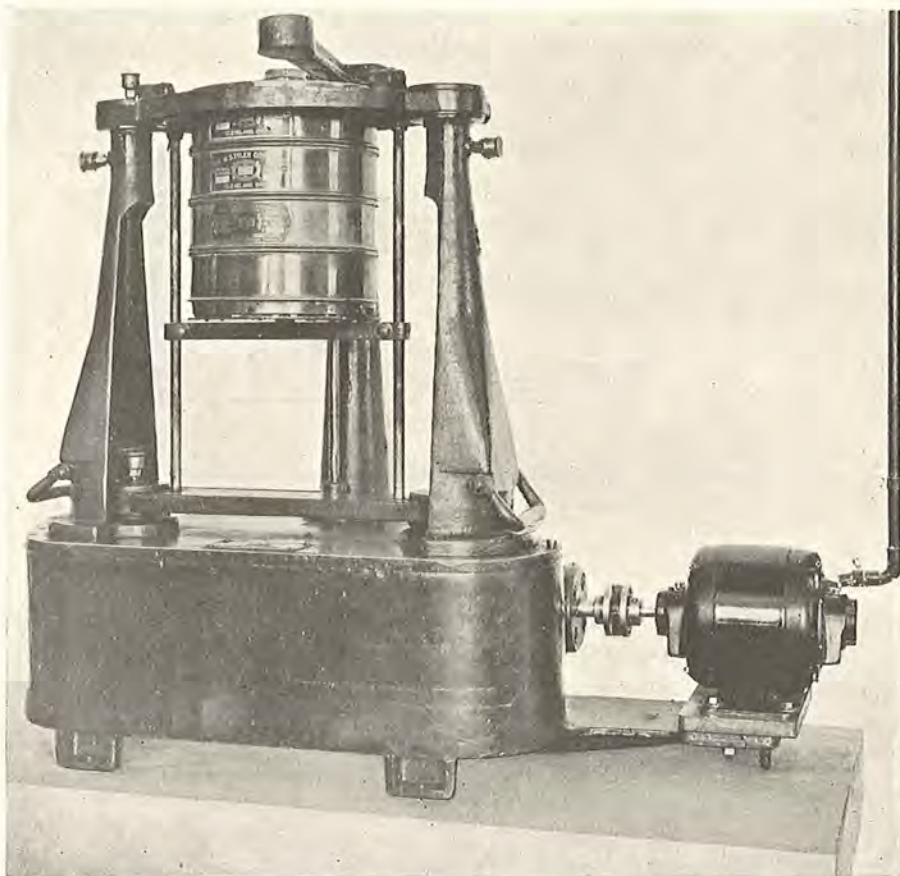


Fig. 1. Ro-Tap Sigtmaskine. Sigterne indspændes i et Stativ, som af en Motor sættes i en vandret kredsende Bevægelse. Samtidig udsættes de for Dunk fra den øverst i Billedet synlige Hammer, hvorved Sigtegodset hopper op fra Sigtedugen.

Naar 3<sup>e</sup> Kalk rystedes i et Reagensglas med 15 cm<sup>3</sup> Saltsyre (15 %), udviklede alle 3 Kalksorter Luft, men de forholdt sig iøvrigt noget forskelligt.

*Faxekalken* gik efterhaanden i Opløsning. Der efterlodes kun en ringe Rest af graa, kvartsagtigt udseende Korn samt enkelte gule Korn.

*Klintebjergkalken* udskilte Kiselsyre i Form af Gel, saa Glassets Indhold efterhaanden stivnede.

*Cheopskalken* forholdt sig paa samme Maade, men Gelen var stivere og lysere og indeholdt en Del Klumper formentlig af vandfattigere Kiselsyregeler.

Forsøgene bekræfter, at Kiselsyremængden er mindst i Faxekalken og størst i Cheopskalken.

#### B. FINDELINGSGRAD

De 3 hydrauliske Kalksorter tørredes i Vakuumovn ved 98°, hvorefter 3 Portioner à 100,0<sup>g</sup> afvejedes og sigtedes paa Ro-Tap Sigtemaskinen (Fig. 1). 3 Sigter med Maskevidde 0,221, 0,130 og 0,088<sup>mm</sup> anbragtes samtidigt i Maskinen, og Kalken hældtes paa øverste Sigte.

Der sigtedes i 3 Gange 10 Minutter; i sidste Periode med Kobbernagler paa alle Sigter — 10 Nagler à ca. 2<sup>g</sup> paa hver Sigte. Efter hver Periode tømtes Sigterne, og vejedes Sigteresterne, hvorefter disse hældtes tilbage paa de paagældende Sigter. Resultaterne er indført i Tabel 6 og Fig. 2.

Tabel 6. Sigteanalyse af tørret Kalk.

Sigtetid	Kornstørrelse mm	Cheops %	Klintebjerg %	Faxe %
a. 10 Min. uden Nagler	>0,221	9,4	1,0	4,5
	0,221—0,130	9,6	2,7	18,7
	0,130—0,088	11,2	8,0	42,4
	0,088—0	69,8	88,3	34,4
		100,0	100,0	100,0
b. { 10 Min. uden Nagler	>0,221	8,8	0,9	3,4
	0,221—0,130	9,5	2,6	15,6
	0,130—0,088	9,2	6,4	21,6
	0,088—0	72,5	90,1	59,4
		100,0	100,0	100,0
c. { 10 Min. uden Nagler	>0,221	7,3	0,5	0,1
	0,221—0,130	8,7	1,8	6,6
	0,130—0,088	8,4	5,2	15,2
	0,088—0	75,6	92,5	78,1
		100,0	100,0	100,0

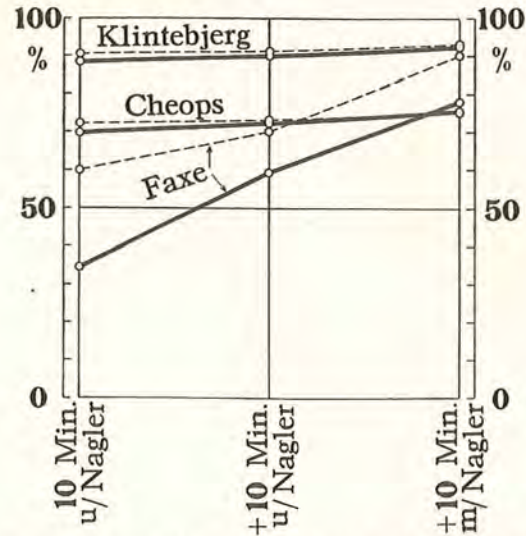


Fig. 2. De optrukne Linier viser det fundne Indhold af Fraktionen 0,088/0<sup>mm</sup>, naar der begyndes med den groveste Sigte (Tabel 6). De punkterede Linier viser det samme, naar der kun sigtes paa den fineste Sigte (Tabel 8).

Virkningen af Sigtetid og Sigtmaade er ikke betydelig for Cheops- og Klintebjergkalkens Vedkommende, men meget betydelig for Faxekalkens, fordi denne indeholder finere Partikler, der let danner Smaaklumper, som først falder hen ved langvarig Sigtning.

I Henhold til DIN 1060 maa Sækkecalc højst efterlade 10 % Rest paa 0,200<sup>mm</sup> Sigten (DIN 1171). Dette Krav kan regnes at være opfyldt, maaske dog ikke fuldt for Cheopskalkens Vedkommende.

**Betydningen af Kalkens Tørhedsgrad.** Hvis Kalken ikke sigtedes i tørret Tilstand, men i Leveringstilstanden, d.v.s. indeholdende 0,2—0,6 % Fugtighed (Tabel 3), ændredes Sigteresterne ikke for Cheopskalkens og Klintebjergkalkens Vedkommende, men derimod for Faxekalkens (Tabel 7). Der sigtedes kun paa 0,088<sup>mm</sup> Sigten; Sigtegodsets Mængde var 100<sup>g</sup>.

Tabel 7. Faxekalkens Indhold af Korn af Størrelsen 0,088/0<sup>mm</sup> (Vægtprocent).

Sigtmaade:	10 Min. u. N.	20 Min. u. N.	20 Min. u. N. 10 - m.N.
Kalk i Leveringstilstand	51,6	69,5	84,5
- efter Tørring (Tabel 8)	60,0	70,2	90,2

Naar Faxekalken var i Leveringstilstanden, dannede der sig større Pulverboller paa Sigten, end naar Kalken var tørret, og de var mindre tilbøjelige til at falde hen.

**Betydningen af Sigternes Rækkefølge.** Ved Sigtning af saa fine Pulvere som de foreliggende kan det spille en stor Rolle, om man begynder med den groveste Sigte — som i Tabel 6 — eller med den fineste. Dette Forhold undersøgt ved at sigte 50<sup>g</sup> Kalk paa 0,088<sup>mm</sup> Sigten uden Brug af de grovere Sigter. Der sigtedes i 3 Gange 10 Minutter; i sidste Periode med Kobbernagler paa Sigten. Efter hver Periode vejedes Sigteresten; Resultatet fremgaar af Tabel 8.

Tabel 8. Kalkens Indhold af Korn af Størrelsen 0,088/0<sup>mm</sup>.

Sigtmaade	Cheops %	Klintebjerg %	Faxe %
10 Min. uden Nagler			
Ved Sigtning paa 3 Sigter (Tabel 6)	69,8	88,3	34,4
- - alene paa 0,088 <sup>mm</sup> Sigten	72,2	90,4	60,0
Yderligere 10 Min. uden Nagler			
Ved Sigtning paa 3 Sigter (Tabel 6)	72,5	90,1	59,4
- - alene paa 0,088 <sup>mm</sup> Sigten	73,4	91,2	70,2
Yderligere 10 Min. med Nagler			
Ved Sigtning paa 3 Sigter (Tabel 6)	75,6	92,5	78,1
- - alene paa 0,088 <sup>mm</sup> Sigten	75,4	93,2	90,2

Tabellen viser, at Kalkens Indhold af Korn finere end 0,088<sup>mm</sup> findes mindre, naar alle 3 Sigter bruges, end naar kun den fineste bruges. Forskellen er dog uvæsentlig for Cheops- og Klintebjergkalkens Vedkommende, medens den for Faxekalken er meget stor. Forskellen har man villet forklare ved, at de grove Korn hjælper til at drive de fine gennem Sigten, men naar de sidste 10 Minutters Sigtning sker med Nagler, kan de grove Kornes Tilstedeværelse næppe betyde stort, saa Forklaringen maa være en anden.

Forsøget blev derfor gentaget med Faxekalken alene, dog under en lidt anden Form, idet 100<sup>g</sup> Kalk sigtedes 20 Minutter uden Nagler + 10 Minutter med Nagler, men uden at Sigterne tømtes hvert 10' Minut. De gamle og de nye Tal er sammenstillede i Tabel 9, der viser følgende:

(1) Naar Sigterne tømmes hvert 10' Minut, gaar der mere gennem Sigterne, end naar der ingen Mellemtømminger sker. Ved Tømningen sker der nemlig en Rensning af Sigterne.

(2) Naar der kun sigtes paa 0,088<sup>mm</sup> Sigten, gaar der væsentligt mere gennem denne Sigte, end naar man forud har fjernet de groveste Korn. Disses fremmende Virkning paa Rensigtningen synes altsaa ogsaa ved dette Forsøg meget betydelig, skønt der var Nagler paa Sigten.

En Forklaring vilde være, at Dunkene fra Hammeren øverst i Fig. 1 virker kraftigere, naar der kun er 1 Sigte i Maskinen, end naar der er 3; derfor foretoges to Sigtninger med alle 3 Sigter indsat; der sigtedes kun



Tabel 9. Faxekalks Sigterester i % efter 20 Min. uden Nagler + 10 Min. med Nagler.

Kornstørrelse mm	Tømning hvert 10' Min.		Ingen Mellemtømning		
	Alle 3 Sigter	Kun 0,088 <sup>mm</sup> Sigte	Alle 3 Sigter	Kun 0,088 <sup>mm</sup> Sigte	
>0,221	0,1	} 21,9	0,1	} 12,2 <sup>3)</sup>	
0,221—0,130	6,6		16,1 <sup>1)</sup>		} 35,1
0,130—0,088	15,2		18,9 <sup>2)</sup>		
0,088—0	78,1	90,2	64,9	87,8	
	100,0	100,0	100,0	100,0	

<sup>1)</sup> Ved yderligere 2 Min. Sigtning med Nagler gik Tallet ned til 12,3.

<sup>2)</sup> - - - - - 15,7.

<sup>3)</sup> - - - - - 10,8.

10 Min. og uden Nagler. Ved den ene Sigtning lagdes 100<sup>g</sup> Faxekalk paa den øverste Sigte (0,221<sup>mm</sup>), ved den anden paa den nederste (0,088<sup>mm</sup>), og den gennem denne passerende Kalkmængde fandtes at være henholdsvis 31,7<sup>g</sup> og 65,3<sup>g</sup>. Forskellen er altsaa endnu større end mellem de tilsvarende Værdier øverst i Tabel 8, saa Forklaringen er uholdbar. Efter endt Sigtning fotograferedes den Kalk, der havde passeret de to grove Sigter og var blevet liggende paa 0,088<sup>mm</sup> Sigten, og Fotografiet (Fig. 2 A) viser de dannede Kalkboller; de var indtil 8<sup>mm</sup> i Tværmaal. Naar Kalken kun havde været paa 0,088<sup>mm</sup> Sigten, indeholdt den ogsaa Boller, men de var mindre og tilsyneladende færre.

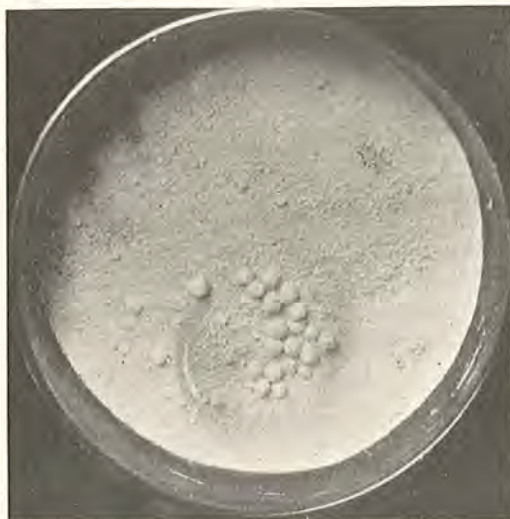


Fig. 2 A. Boller i Faxekalk, der har passeret 0,221<sup>mm</sup>. og 0,130<sup>mm</sup>-Sigten og er blevet liggende paa 0,088<sup>mm</sup>-Sigten. 3 Gange formindsket.

Efter disse Iagttagelser kan der næppe være Tvivl om, at Virkningen af Sigternes Rækkefølge skyldes dennes Indflydelse paa Bolledannelsen.

Blandt mulige Aarsager til Bolledannelsen skal følgende nævnes:

(1) Ved Pulverets Berøring med Messingsigterne faar Kornene klæbende eller tiltrækkende Egenskaber.

(2) Den Vandmængde, Kornene optager under Sigtningen, gør dem klæbende.

(3) De tørre Korn er ikke i kemisk Ligevægt, men har i Overfladen frie Atomer, der tiltrækker Nabokornenes.

Ad (1): Denne Hypotese kan udskydes, thi naar 100<sup>g</sup> Kalk fyldtes i en flad Messingdaase og behandledes som ved Sigtning, dannedes der Boller, ogsaa naar Daasen var foret med Glanspapir.

Ad (2): Denne Hypotese forklarer de fleste Iagttagelser. Den til Boller forenede Kalkmængde maa vokse med den Luftmængde, Kalken kommer i Berøring med, altsaa med Sigternes Antal. Naglerne river de store Boller i Stykker, ikke de smaa, da Klæbrigheden hindrer en vidtgaende Findeling, og da Bollerne ruller rundt paa Kalklagets Overside og ikke kommer ind under Naglerne.

For at faa Klarhed over, hvor store Vandmængder, der optoges under Sigtningen, og hvorvidt en Tørring af det en Gang sigtede Pulver fjernede Bollerne, gjordes Forsøg med saavel Faxekalken som med malet Kul og malet Kvartssand.

Naar 100<sup>g</sup> tørret Kalk sigtedes paa 0,088<sup>mm</sup> Sigten i 10 Min. uden Nagler, fandtes følgende:

1' Sigtning:	Gennemgangsmængden var: .....	67,5 <sup>g</sup> .
2' -	: Naar de 67,5 <sup>g</sup> sigtedes paany, var Gennemgangsmængden kun: .....	31,5 <sup>g</sup> .
3' -	: Naar de to Fraktioner fra 2' Sigtning tørredes og blandedes og sigtedes paany, var Gennemgangsmængden kun: .....	25,6 <sup>g</sup> .

Mængden af fine Korn bliver altsaa mindre for hver Sigtning, selv om Kalken tørres mellem Sigtningerne. Ogsaa Bollemængden syntes at vokse for hver Sigtning saavel i den grove som i den fine Fraktion. Under Tørringen efter 2' Sigtning forsvandt de fleste Boller, men efter 3' Sigtning syntes der at være flere Boller end efter 2'. Efter 2' Sigtning indeholdt de to Fraktioner tilsammen 0,54% Vand, efter 3' Sigtning 0,53%. At Tørringen efter 2' Sigtning ikke bibringer Kalken dens oprindelige Finhedsgrad kan forklares ved, at det optagne Vand har mættet sig med Kalk, der ved Udfældning som Ca(OH)<sub>2</sub> eller CaCO<sub>3</sub> sammenkitter nogle af Kornene.

Naar 100<sup>g</sup> tørret Kulpulver behandledes som Kalken, fandtes den fine

Fraktion ved de tre Sigtninger at være henholdsvis 58,2—56,7—55,1%, altsaa aftagende, men kun lidt, og der dannedes ikke synlige Boller. Vandindholdet efter 2' og 3' Sigtning var henholdsvis 1,89 og 1,03 %, altsaa væsentlig større end Kalkens; men dets Virkning paa Sigtningen er uvæsentlig.

Naar 100<sup>g</sup> tørret Kvartspulver behandlede som Kalken, fandtes den fine Fraktion ved de tre Sigtninger at være henholdsvis 78,4—70,6—74,0%, altsaa først aftagende og saa stigende. I den grove Fraktion var der aldrig synlige Boller, i den fine Fraktion var der altid talrige Boller, men Diameteren oversteg ikke ca. 1 mm, og de syntes at være færre og mindre efter 3' Sigtning end efter 1' og 2'. Vandindholdet efter 2' og 3' Sigtning var henholdsvis 0,017 og 0,014 %, altsaa saa lille, at det næppe kan være den eneste Aarsag til Bolledannelsen.

Ad (3). Selv om Kalkens Klumper kan forklares ved Vandoptagelse, uden at man regner med elektriske Kræfter i Kornoverfladerne, er der Grund til at tro, at saadanne Kræfter er medvirkende, og at de ved andre Pulvere som Kvartsmel kan være dominerende.

Som Resultat af Forsøgene kan formentlig fastslaaes, at naar Sigternes Rækkefølge paavirker Resultatet, skyldes det ikke de grove Korn, der paa Forhaand findes i Sigtegodset, men derimod Klumpdannelse under Sigtningen.

Af Fodnoterne til Tabel 9 fremgaar, at fortsat Sigtning med Nagler formindsker Sigteresterne, og man prøvede derfor om en fuldstændig Rensigtning af de 12,2 % Sigterest i sidste Kolonne var mulig, idet man sigtede den 10 Gange 2 Min. med Nagler paa 0,088 mm Sigten og hver Gang vejede Sigteresten. De fundne Rester var: 12,2—10,8—9,7—8,8—8,1—7,5—7,0—6,5—6,1—5,7—5,4. Denne sidste Rest blev derefter sigtet 10 Min. med Nagler paa alle 3 Sigter under eet, hvorved Faxekalkens Sammensætning fandtes at være som angivet i Tabel 10.

Tabel 10. Faxekalks Sammensætning efter intensiv Sigtning.

Kornstørrelse i mm	Vægtprocent
>0,221	0,1
0,221—0,130	1,3
0,130—0,088	2,4
0,088—0	96,2
	100,0

Hvis disse Tal blot er Udtryk for en vidtdrevet Rensigtning og ikke for en under Sigtningen sket Formaling, er Faxekalken den mest findelte af de 3 Kalksorter, og dette stemmer godt med dens Opførsel, naar den brugtes til Mørtel. Den Lov, efter hvilken Sigteresten aftog ved de 10

Gange 2 Min. Sigtning, tyder ogsaa snarere paa Rensigtning end paa Formaling.

Man tør derfor gaa ud fra, at Kalksorternes Findelingsgrad vokser i Ordenen Cheops, Klintebjerg, Faxe. I Fig. 3 er Kornkurverne indtegnet. Værdierne for Faxekalk er taget fra Tabel 10, Værdierne for Cheops- og Klintebjergkalk er taget fra Tabel 6 c.

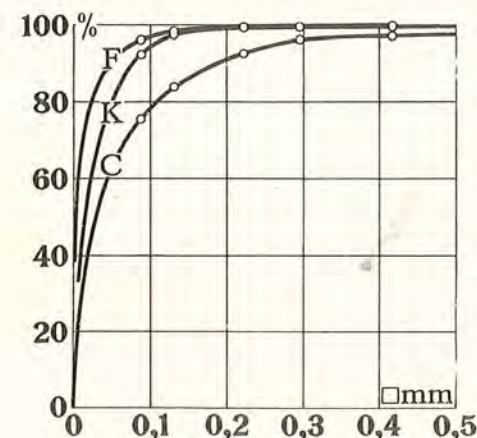


Fig. 3. Kalksorternes Kornkurver.

**Slæmmeprøve.** Da Hovedparten af Kalkkornene var mindre end 0,088 mm og derfor ikke kunde sorteres yderligere ved Sigtning, forsøgte det at karakterisere Finhedsgraden ved et simpelt Bundfældningsforsøg. 100<sup>g</sup> Kalk opslæmmedes i 1 Liter 0,002-molær Natriumpyrofosfatopløsning i et højt Cylinderglas. Grænsen mellem klar Vædske og Slam holdt sig ret skarp og bevægede sig nedad med en Hastighed, der viste, at de mindste Korn var størst hos Cheopskalken og mindst hos Faxekalken (Tabel 11). Det skyldes formentlig, at man ved Læskning faar finere Korn end ved Maling, hvilket er i Overensstemmelse med Sigteresultaterne.

Tabel 11. Slamoverfladens Synkningshastighed.

Tid i Min.	Slamoverfladens Afstand fra Vandspejlet		
	Cheops cm	Klintebjerg cm	Faxe cm
0	0	0	0
20	27,5	24,0	10,4
50	29,4	27,7	22,2
110	29,9	29,3	25,5
170	30,0	29,5	26,5
230	-	29,6	27,2
300	-	-	27,5

## C. STYRKEN BEDØMT EFTER DE TYSKE NORMER

Prøvelegemer: 5 Stk. 7<sup>cm</sup> Tærninger og 15 Stk. ottetalformede Prøvelegemer af hver Kalksort.

Sand: Tysk enskornet Normalsand.

Vand: Københavnsk Ledningsvand.

Blandingsforhold efter Vægt:  $P_k : P_s = 1 : 3$ .

Fremstillingen foregik i Overensstemmelse med de tyske Kalknormer (DIN 1060), bortset fra Blandemetoden. Mørtlen blandedes tørt for Haanden og derefter 3 Minutter vaadt i en Hobart Blandemaskine (Fig. 4).

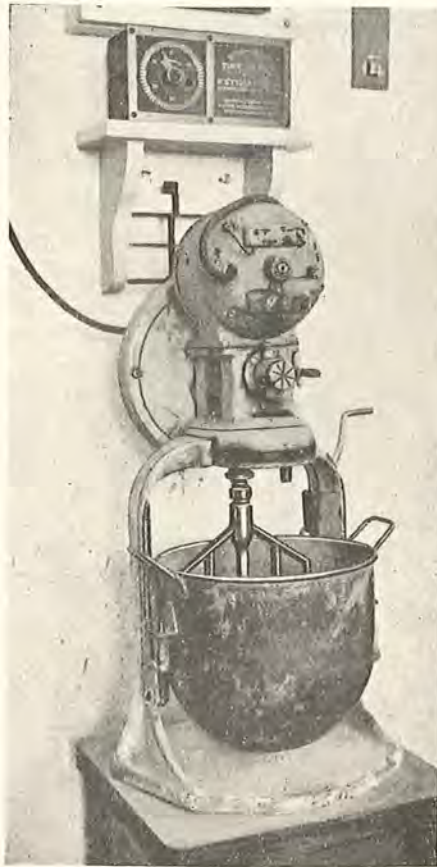


Fig. 4. Hobart Blandemaskine.

De Vandmængder, der krævedes til Opnaaelsen af ens, jordfugtig Konsistens, er angivet i Tabel 12.

Tabel 12. Mørtlernes Vandindhold i % af Tørvægt.

Cheops	9 %	Hydrat (Faxe)	10 %
Klintebjerg	8 -	(Ny Kalkbr.)	9 -
Faxe	10 -		

At Cheopskalken har krævet mere Vand end den finere Klintebjergkalk, skyldes formentlig, at den er ulæsket.

Prøvelegemerne komprimeredes med Böhmes Hammerapparat ganske som Cementprøvelegemer.

Straks efter Komprimeringen hensattes Formene i fugtig Luft. Afformningen fandt for Tærningernes Vedkommende Sted efter 20 Timers Forløb, for Trækprøvelegemernes efter ½ Times Forløb. Efter Afformningen anbragtes Prøvelegemerne paa Traadnet i fugtig Luft, hvor de forblev i 4 Uger; derefter bestemtes Styrken (Tabel 13).

Tabel 13. Mørtlernes 4 Ugers Styrke<sup>1)</sup>.

	Trækstyrke i at			Trykstyrke i at		
	Min.	Middel	Maks.	Min.	Middel	Maks.
Cheops	4,0	5,6	7,0	20,0	24,4	29,4
Klintebjerg	1,7	3,3	3,8	16,8	17,6	18,7
Faxe	1,2	1,6	1,8	4,0	4,7	5,0
Hydrat (Faxe)	1,2	1,5	1,8	4,2	4,4	4,6
- (Ny Kalkbr.)	1,5	1,9	2,1	7,5	7,7	8,0

<sup>1)</sup> Tabellens Minimums- og Maksimumsværdier er de faktisk fundne; Middelværdierne ikke. Normerne foreskriver nemlig, at hvis een eller flere Enkeltværdier ligger mere end 10% under Middelværdien, skal en ny Middelværdi udregnes under Bortsyn fra de nævnte, og denne Regel er fulgt.

Det fremgaar af Tabel 13, at Faxe hydrauliske Kalk ikke i nævneværdig Grad adskiller sig fra Faxe Hydratkalk.

Da Mørtlerne i Kraft af deres store Kalkindhold utvivlsomt har været meget tætte, og da Hærdningen foregik i fugtig Luft, er der næppe trængt CO<sub>2</sub> ind i Mørtlerne, men kun dannet en tynd Karbonatskorpe uden væsentlig Betydning for Styrken. Denne skyldes overvejende hydraulisk Hærdning, ogsaa for Hydratkalkens Vedkommende, hvorom nærmere i Afsnit III B.

I Tabel 14 er de tyske Normers Styrkekrav til hydrauliske Kalkmørtler sammenstillet, og i Tabel 15 er de for de danske Kalksorter fundne Styrketal indført.

Tabel 14. Minimumsstyrker for hydrauliske Kalkmørtler 1 : 3 i Henhold til DIN 1060.

Kalkens Betegnelse	S <sup>t</sup> i at	S <sup>c</sup> i at
Højhydraulisk Kalk	9	80
Hydraulisk -	5	40
Vandkalk	3	15

Tabel 15. Fundne Styrker af Kalkmørtler 1 : 3 af danske Kalksorter.

Kalksort	S <sup>t</sup> i at	S <sup>c</sup> i at
Cheops	5,6	24,4
Klintebjerg	3,3	17,6
Faxe	1,6	4,7

En Sammenligning af Tabel 14 og 15 viser, at ingen af de undersøgte Kalksorter tilfredsstillende de tyske Krav til den med »Hydraulisk Kalk« betegnede Gruppe, og at kun Cheops- og Klintebjergkalken tilfredsstillende Kravene til »Vandkalk«-Gruppen.

#### D. STYRKEN AF AFSUGEDE MØRTELSTÆNGER

Den tyske Prøvemethode afviger fra Forholdene i Praksis ved Brugen af Normalsand, jordfugtig Konsistens og stærk Komprimering, samt ved at Prøvelegemernes Dimensioner er meget store sammenlignede med Tykkelsen af Murværksfuger og Pudslag.

I *Laboratoriet for Byggeteknik* plejer vi ved Prøvning af Luftkalk at nærme os mere til Praksis ved at bruge almindeligt Sand og en vaadere Mørtel samt spinklere Prøvelegemer, der umiddelbart efter Støbningen afsuges; dette sker dog ikke med Mursten, men med Trækpapir for at faa en bestemt defineret Afsugning. Metoden er nærmere omtalt i:

E. Suenson: Magniumklorid som Mørteltilsætning (*Ing.* 1926, Side 545).  
- - - : Sækkekalk (*Arkitekten* 1933, Side 197).

I disse Artikler findes ogsaa en Del Oplysninger om Kalkmørtels Hærdning og Styrke.

Den nævnte Metode, der er brugt ved de følgende Forsøg, illustreres af Fig. 5.

*Prøvelegemer:* 6 Stk. 2 · 2 · 12<sup>cm</sup> Stænger af hver Kalksort.

*Sand:* Skælsand (Havsand fra Øresund) tørret ved 105° og sigtet paa en Traadsigte med 2,36<sup>mm</sup> kvadratiske Masker, hvorved kun enkelte Korn fjernedes.

*Vand:* Københavnsk Ledningsvand.

*Blandingsforhold efter Vægt:*  $P_k : P_s = 1 : 3$ .

*Blandingsmaade:* Som i Afsnit C.

*Flydeevnerne* maalttes paa Laboratoriets lille Rystebord; Maalingerne paabegyndtes 15 Minutter efter Vandtilsætningen. De anvendte Støbevandsmængder og de fundne Flydeevner fremgaar af Tabel 16. Flydeevnen 1,2 svarer til en Konsistens mellem plastisk og jordfugtig<sup>1)</sup>.

Støbeformene (Fig. 5) var af Messing med Glasbund; de indfedtedes ikke. Mørtlen ifyldtes i 2 Lag, der begge stampedes omhyggeligt; efter Stampningen af sidste Lag blev den overskydende Mørtelmængde afskrabet med en Kniv, saa Mørteloverfladen flugtede med Støbeformens Overkant.

<sup>1)</sup> Københavnsk Muremørtel af Luftkalk plejer at indeholde 89% Tørstof + 11% Vand ved Leveringen og 80% Tørstof + 20% Vand, naar den er oprørt i Mørtelbaljerne. I sidste Tilfælde plejer Flydeevnen at være 2,0, hvorved det maa erindres, at Mørtlen er væsentlig magrere end de foreliggende Forsøgs-mørtler og fremstillet af Kulekalk, ikke af Sækkekalk; dennes Vandbehov er mindre end Kulekalks (*Arkitekten* 1933, Side 197).

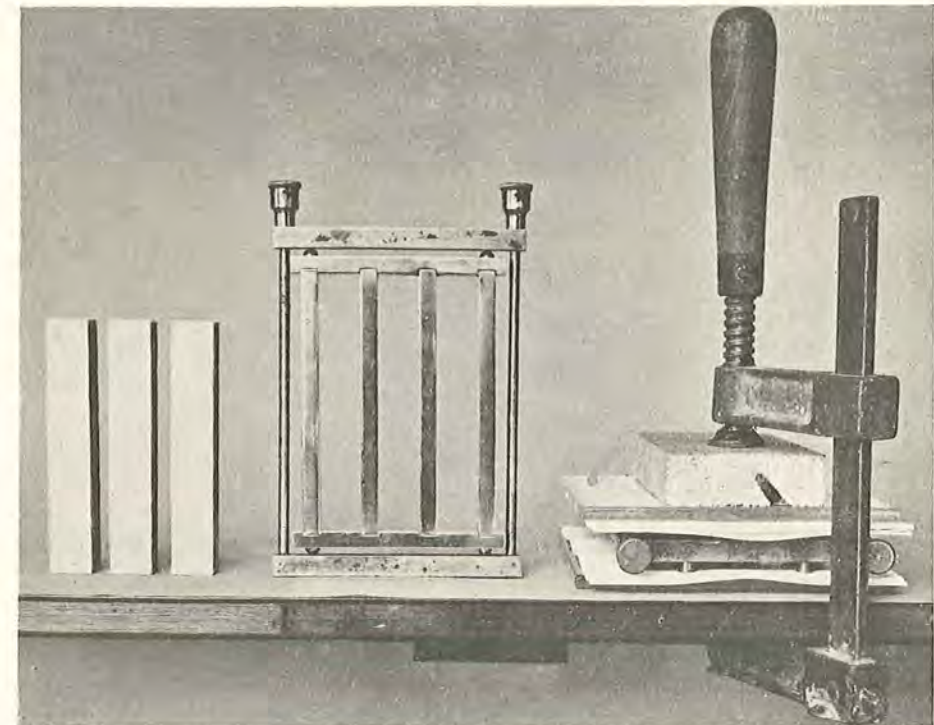


Fig. 5. Til venstre: 3 Mørtelstænger. I Midten: Den sammenspændelige Formramme, i hvilken Stængerne er støbt. Til højre: Den fyldte Formramme liggende mellem Trækpapir, der afsuger Stængerne.

Tabel 16. Mørtlernes Vandindhold og Flydeevne.

	$\frac{P_v}{P_k}$	$\frac{100 P_v}{P_k + P_s}$	Flydeevne
Cheops . . . . .	0,86	21,4	1,20
Klintebjerg . . . . .	0,67	16,7	1,19
Faxe . . . . .	0,78	19,5	1,19
Hydrat (Faxe) . . . . .	0,78	19,5	1,17
- (Ny Kalkbr.)	0,74	18,6	1,21

Efter Afskrabningen pudredes Overfladen med fint Gulvsand og dækkedes med 4 Stykker Trækpapir og en Glasplade. Derefter vendtes Formen, og den Glasplade, der før var nederst, fjernedes, hvorefter de blottede Mørtelflader pudredes og dækkedes med 4 andre Stykker Trækpapir og en ny Glasplade, der belastedes saa stærkt, at Trækpapiret ikke kunde danne Buler<sup>1)</sup>. Efter 3 Timers Henstand i Laboratoriet pressedes Stæn-

<sup>1)</sup> Pudringens Formaal er at hindre Mørtlen i at binde til Trækpapiret. Til en Prøvestangs to Flader medgaar ca. 1,5<sup>g</sup> Sand, naar Mørtlens Flydeevne er 1,2; er Flydeevnen 2, maa Sandmængden fordobles, da Halvdelen af den synker ned i Mørtlen og derfor ikke virker efter Hensigten.

gerne ud af Formene og anbragtes i fugtig Luft, hvis Temperatur var  $15^{\circ}$ ; i det første Døgn laa Stængerne paa Glasplader, derefter laa de paa Messingnet. De 3 Timers Afsugning havde ikke ændret Stængernes Rumfang synligt.

Efter 4 Ugers Henstand i fugtig Luft besigtigedes Prøvelegemerne, hvorefter Styrken bestemtes.

Mørtlerne af alle 5 Kalksorter var saa haarde, at en  $90^{\circ}$  Staalkegle vejende  $485^g$  ikke fremkaldte synlige Indtryk i deres Overflade.

Bøjningsstyrken bestemtes med Frühling-Michaelis' Vægtstangsapparat (Fig. 6), i hvilket Stængerne udsattes for et lodret opadgaaende Træk virkende midtvejs mellem de to Understøtninger, der dannedes af Knivsægge. Spændvidden var  $10^{\text{cm}}$ , og en af de ved Støbningen lodretstaaende Sideflader var Trækside. Belastningsmaterialet var Hagl, og der tilførtes  $150^g/\text{Sek}$ , hvorved Bøjningsspændingens Stigningshastighed blev  $2,8^{\text{at}}/\text{Sek}$ .

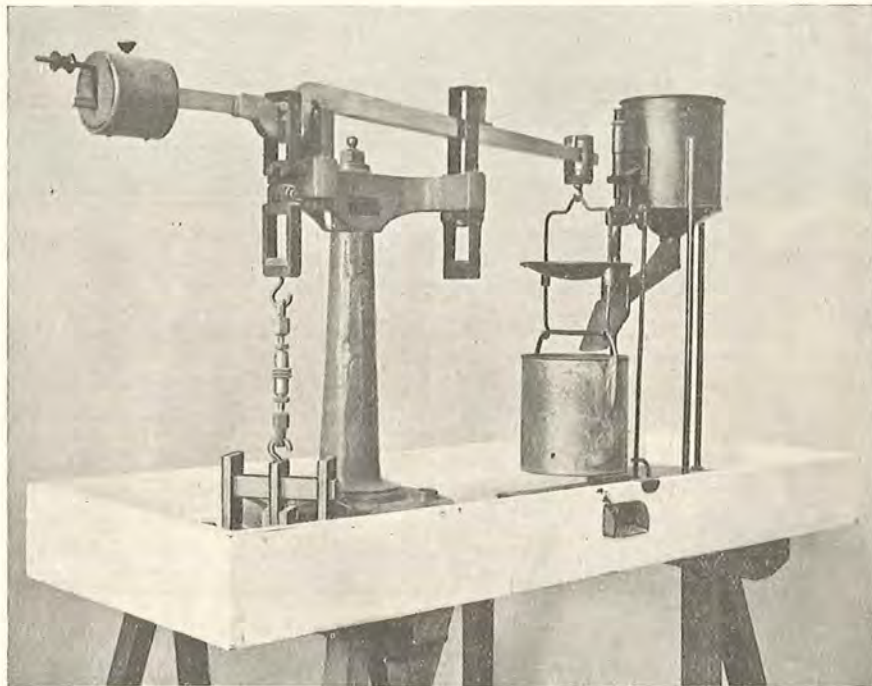


Fig. 6. Frühling-Michaelis' Vægtstangsapparat. Prøvestangen ses nederst til venstre.

Trykstyrken af de to Brudstykker fra Bøjningsforsøget bestemtes med en Maskine fra Schopper med Maksimallast  $100^{\text{kg}}$  (Fig. 7). Maskinens almindelige Trykplader ombyttedes med to parallelle Staalstænger,  $2^{\text{cm}}$  brede, mellem hvilke Prøvestangen anbragtes paa tværs, hvorved Tryk-

fladernes Størrelse blev  $2 \cdot 2^{\text{cm}^2}$ . Som Trykflader brugtes de Flader, der stod lodret ved Støbningen. Den øvre Trykplade bevægedes nedad, og Hastigheden var  $30^{\text{mm}}/\text{Min}$ , naar der intet Prøvelegeme var i Maskinen.

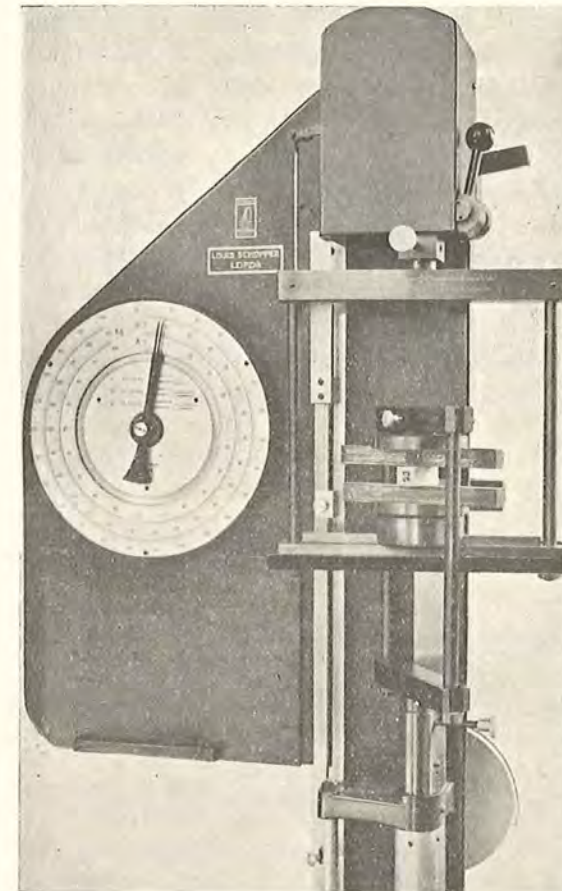


Fig. 7. Den øverste Del af Prøvemaskine fra Schopper til Træk, Tryk og Bøjning. Prøvelegemet er den lyse Stanghalvdel, der ses midt i Billedet til højre.

Styrketallene er indført i Tabel 17; de er Middelværdier af 2 Forsøgsrækker, som blev udført paa 2 forskellige Tidspunkter og gav overens-

Tabel 17. Stængernes 4 Ugers Styrke.

	$S^b$ i at	$S^c$ i at
Cheops	11,4	27,5
Klintebjerg	10,9	23,1
Faxe	4,5	8,0
Hydrat (Faxe)	4,9	8,4
- (Ny Kalkbr.)	5,1	9,7

stemmende Resultater; i hver Række foretoges 6 Bøjnings- og 12 Tryk-forsøg. Det fremgaar af dem, at Faxe hydrauliske Kalk ikke adskiller sig fra Faxe Hydratkalk.

En Sammenligning med Tabel 13 viser, at Laboratoriets Prøve-maade har givet større Trykstyrker end den tyske, og Bøjningsstyrker, der er over dobbelt saa store som de ved den tyske Metode fundne Trækstyrker, skønt der ved Afsugningsmetoden bruges dobbelt saa meget Vand og ringere Komprimering. Den større Styrke skyldes, at disse Mørtler er mere porøse, saa der dannes tykkere Karbonatskorper, hvis Bidrag til Styrken yderligere forhøjes ved, at Prøvelegemernes Overflade er stor i Forhold til Rumfanget, samt ved at Bøjningsstyrken navnlig bestemmes af Skor-pens Styrke. Da Karbonatiseringens Betydning for Styrken maa være mindst for den mest hydrauliske Mørtel, var det at vente, at Afsugnings-metodens Overlegenhed vilde vokse med aftagende Hydraulicitet hos Kalken, og dette bekræftes i nogen Grad, naar man udregner Forholdet mellem Trykstyrkerne i Tabel 17 og 13; hvis man begynder med Cheops-kalken, er det: 1,1—1,3—1,5—1,9—(1,3).

#### E. HÆRDNING MELLEM GLASPLADER

Ved disse Forsøg efterlignedes Hærdningsforholdene for en Mørtel, der er udstøbt mellem en tæt Stenplade og en tæt Betonvæg og derfor hver-ken kan afgive sit Vand eller optage  $\text{CO}_2$ .

**Prøvestængernes Fremstilling:** Som ved Forsøgene D med følgende Afvigelser:

(1) Mørtlerne fremstilledes med Flydeevnen 2 — se Tabel 18 — hvil-ket er den Konsistens, der bruges ved Muring<sup>1)</sup>.

Tabel 18. Mørtlernes Vandindhold og Flydeevne.

	$\frac{P_v}{P_k}$	$\frac{100 P_v}{P_k + P_s}$	Flydeevne
Cheops	1,06	26,4	2,01
Klintebjerg	0,82	20,5	1,96
Faxe	1,16	29,1	1,96

(2) Støbeformene var gjort vandtætte med Vaseline og smurt med et tyndt Lag Vaseline.

(3) Efter Støbningen blev der ikke pudret med Sand. Formen dække-des med en Glasplade, der kittedes lufttæt til Formen ved Hjælp af Va-seline. Derefter vendtes Formen og anbragtes i fugtig Luft, hvis Tempe-ratur var  $15^\circ$ . Efter 4 Ugers Lagring paa denne Maade — altsaa uden Afsugning og uden Lufttilgang — gjordes følgende Iagttagelser.

<sup>1)</sup> Se Fodnoten Side 20.

Mørtlen af Cheopskalk var tydeligt hærdnet, men var dog ikke haar-dere, end at man let kunde frembringe Indtryk i den med en Negl; an-bragtes en  $90^\circ$  Staalkegle vejende  $65^g$  forsigtigt paa Mørteloverfladen, fremkom intet synligt Indtryk; anbragtes en tilsvarende Kegel vejende  $485^g$ , fremkom et Indtryk med ca.  $1^{\text{mm}}$  Diameter.

Mørtlen af Klintebjergkalk var mindre hærdnet. De to Staalkegler Indtryk var ca.  $1^{\text{mm}}$  og ca.  $2^{\text{mm}}$ .

Mørtlen af Faxekalk havde tilsyneladende ikke ændret sig i Lagrings-tiden. Den lette Staalkegle fremkaldte et blivende Indtryk, hvis Diameter var ca.  $7^{\text{mm}}$ ; den tunge Staalkegle sank saa dybt ned i Mørtlen, at den stødte paa Formsiderne.

**Stængernes Styrke.** Efter Besigtigelsen pressedes Stængerne ud af Formene og styrkeprøvedes; Mørtlen af Faxekalk var dog saa blød, at den ikke kunde prøves. Styrketallene er indført i Tabel 19; de er Mid-delværdier af 2 Forsøgsrækker, som blev udført paa 2 forskellige Tids-punkter og gav overensstemmende Resultater.

Tabel 19. 4 Ugers Styrke af Mørtler med Flydeevne 2. Ikke afsugede.

	$S^b$ i at	$S^c$ i at
Cheops	0,6	4,0
Klintebjerg	0,4	2,3
Faxe	0	0

Tabellen viser, at Faxekalken ikke hærdner, og at heller ikke de to andre Kalksorter er brugelige, naar Mørtlen udstøbes med Flydeevne 2 og hverken kan afgive sit Vand eller optage  $\text{CO}_2$ .

Da det var ønskeligt at faa oplyst, om en mindre flydende Mørtel un-der tilsvarende Lagringsforhold vilde vise sig lige saa svag, blev der og-saa støbt Stænger af en Mørtel med Flydeevne 1,2; Stængerne blev afsuget med Trækpapir og straks efter dækket med tilkittede Glasplader (Tabel 20).

Tabel 20. 4 Ugers Styrke af Mørtler med Flydeevne 1,2. Afsugede.

	$S^b$ i at	$S^c$ i at
Cheops <sup>1)</sup>	6,1	13,4
Klintebjerg	4,7	8,1
Faxe	1,9	4,5

<sup>1)</sup> ved et nyt Forsøg fandtes  $S^b = 7,7^{\text{at}}$ ,  $S^c = 13,4^{\text{at}}$ .

En Sammenligning med Tabel 19 viser, at Styrken er mangedoblet, navnlig Bøjningsstyrken, og det skyldes utvivlsomt, at det formindskede Vand-Kalk-Forhold har forøget Kitmassetætheden og dermed Styrken.

Kitmassetætheden spiller aabenbart en endnu større Rolle for disse Mørtler end for Cementmørtel, og Hovedaarsagen er vel nok, at de er saa svagt hydrauliske, at Kornene skal ligge meget tæt paa hinanden — ikke adskilte af tykke Vandhinder — for at de svage kemiske Processer kan binde dem sammen.

Denne Forklaring stemmer med et orienterende Forsøg, der blev udført samtidig med Forsøgene i Tabel 17. En lille Portion af disse Mørtler blev anbragt løst paa Bunden af 5 Reagensglas, som straks tilproppedes og henstilledes i fugtig Luft. Efter 4 Ugers Forløb gjordes følgende Iagttagelser:

*Cheopskalk:* Mørtlen var haard.

*Klintebjergkalk:* Mørtlen var lidt stivere end ved Ifyldningen.

*Faxe kalk og de to Hydratkalke:* Mørtlen syntes ikke stivere end ved Ifyldningen.

Disse Iagttagelser tyder paa, at Klintebjergkalkens relativt store Styrketal i Tabel 13 og 17 i højere Grad end Cheopskalkens er betinget af, at Mørtlens Korn ligger tæt paa hinanden.

Man kunde tænke sig en anden Forklaring af de højere Styrketal i Tabel 20, nemlig at Formene ikke havde været tætte, saaledes at der i Løbet af de 4 Uger var sket en svag Aanding gennem Vaselinefugerne, men et nyt Forsøg viste, at den fyldte Form ikke ændrede Vægt i de 4 Uger.

Styrkeforskellen kunde ogsaa skyldes, at Stængerne i Tabel 20 paa Prøvedagen var langt tørrere end Stængerne i Tabel 19. For at prøve denne Hypoteses Holdbarhed udførtes et nyt Forsøg med Stænger fremstillet som disse, blot med den Forskel, at de efter den normale Lagring — 4 Uger i en lukket Form — blev afformet og lagret i 4 Uger i en lukket Kasse, hvis Luft holdtes tør af en Skaal med Klorkalcium, og gennem hvilken der ledtes en Strøm af Kvælstof. I disse 4 Uger er der altsaa sket en Udtørring uden Tilførsel af  $\text{CO}_2$ . De 8 Uger gamle Stænger blev styrkeprøvet, hvorefter deres Vandindhold paa Prøvedagen bestemtes ved Tørring ved  $105^\circ$  (Tabel 21).

Tabel 21. 8 Ugers Styrke af Mørtler med Flydeevne 2, ikke afsuget, men tørret.

	Vandindhold	$S^b$ i at	$S^e$ i at
Cheops	0,52 %	0,9	6,1
Klintebjerg	0,36 -	1,1	4,7
Faxe	0,04 -	0,5	1,5

En Sammenligning med Tabel 19 viser, at den næsten fuldkomne Udtørring kun har forøget de to hydrauliske Mørtlers Styrke med ca. 70 %, til Trods for, at de samtidig er blevet 4 Uger ældre. Forøgelsen skyldes formentlig dels hydraulisk Hærdning i disse 4 Uger, dels Udfældning af  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ .

## F. HÆRDNING MELLEM GLASPLADE OG TEGLSTEN

Ved disse Forsøg søgte man at efterligne Hærdningsforholdene for en Mørtel, der er udstøbt mellem en tæt Stenplade og en Teglstensmur; denne suger Vandet ud af Mørtlen, men Tilførslen af  $\text{CO}_2$  kan kun blive ringe.

Der udførtes 2 Forsøgsrækker. Ved den ene (Fig. 8) støbtes Stængerne indenfor en Messingramme, stillet paa en Teglsten, og efter Formens Ifyldning lagdes en Glasplade paa som Laag. Ved den anden (Fig. 9) støbtes Stængerne paa Glaspladen, og Teglstenen lagdes paa som Laag. I Fig. 8 vanskeliggøres Støbningen af Stenens stærke Sugning, ikke i Fig. 9.

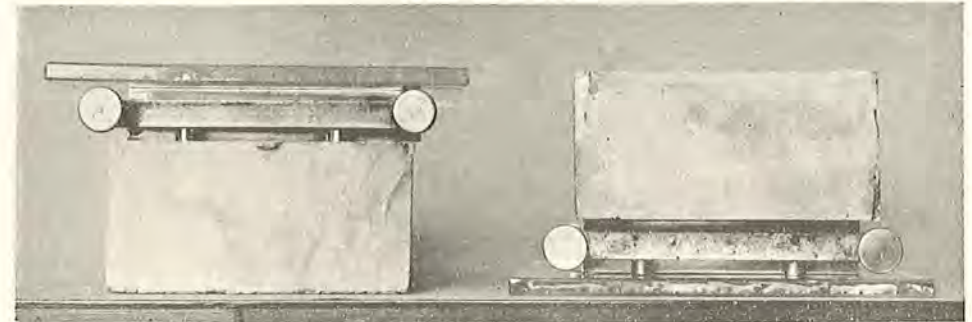


Fig. 8. Formens Bund er en Teglsten, dens Laag en Glasplade.

Fig. 9. Formens Bund er en Glasplade, dens Laag en Teglsten.

## 1. Støbning paa Teglsten.

**Prøvestængerens Fremstilling:** Som ved Forsøgene E, men med en planslebet Teglsten som Bund i Formen (Fig. 8). For at undgaa for voldsom Sugning brugtes en Sten, der indeholdt 5 Vægtprocent Vand.

Mørtlens Vandindhold og Flydeevne var som angivet i Tabel 18.

Mørtlen ifyldtes i 2 Lag, og Bundlagets Mørtel blev meget hurtigt »død«, men afgav dog Vand eller Kalkslam til Overfladen ved Slutningen af Stampningen; Cheopskalken blev hurtigst død, Faxekalken langsomt. Toplaget holdt sig levende i hele Stampetiden, men at dets Vand efterhaanden sugedes ned i Bundlaget var øjensynligt.

Straks efter Støbningen dækkedes Formen med en Glasplade, der tilkittedes med Vaseline, hvorefter Formen henstilledes i et Rum med Temperatur ca.  $23^\circ$  og relativ Fugtighed ca. 60 %. Efter Lagring i 4 Uger paa denne Maade var der intet synligt Rumfangssvind undtagen i Stængerne af Faxekalk. Disse havde alle trukket sig løs fra Messingrammens ene Langside og to Tværsider, og da noget af Mørtlen var blevet hængende paa Messinget, viste de paagældende Stangside sig ujævne efter Afformningen; desuden havde to af de seks Stænger en Tværevne.

Ved Stængernes Afformning maatte man — af Hensyn til deres Vedhængning ved Teglstenen — begynde med at forskyde Messingrammen vandret paa Stenen — Forskydningen foretoges i Stængernes Længderetning — hvorved Vedhængningen viste sig at være meget forskellig (Tabel 22).

Tabel 22. Stængernes Vedhængning til Stenen.

	Nødv. forsk. Kraft	Paa Stenfladen efterlodes
Cheops	Meget stor	Et ca. 2 <sup>mm</sup> tykt Mørtellag
Klintebjerg	Stor	Ingen Mørtel, kun hvidt Aftryk
Faxe	Meget lille	Intet <sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> En enkelt af Stængerne havde suget sig fast til Stenen paa en ca. 1 cm<sup>2</sup> stor Plet, hvilket bevirkede, at Stangen fik 2 gennemgaaende Tværvner ved Afformningen.

Den tunge Staalkegle efterlod intet Indtryk, hverken paa Glassiden eller paa Stensiden (Tabel 24).

Den videre Afformning foregik let.

I Stængerne af Cheopskalk og navnlig Klintebjergkalk var det vandrette Støbeskel synligt, ikke i Stængerne af Faxekalk, i Overensstemmelse med at Mørtlen af Faxekalk ikke sugedes død saa hurtigt som de andre Mørtler.

Stængerne af Faxekalk havde paa den Langside, der havde løsnet sig fra Messingrammen, talrige vandrette Huller med indtil 2<sup>mm</sup> Diameter og 4—5<sup>mm</sup> Dybde, der ligesom denne Mørtels øvrige Svindfænomener forklares ved, at Kalken er meget finkornet og derfor modsætter sig en hurtig Afsugning; denne er i overvejende Grad sket efter Formens Fyldning og Tilkitning, og der har derfor dannet sig Svindhulheder i Stængerne, foruden at disse har løsnet sig fra Messingrammen og i nogle Tilfælde faaet Svindrevner.

**Stængernes Styrke** er indført i Tabel 23 som Middeltal af 6 Bøjnings- og 12 Trykforsøg.

Tabel 23. Stængernes 4 Ugers Styrke.

Kalksort	<i>S<sup>b</sup></i> i at			<i>S<sup>c</sup></i> i at		
	Min.	Middel	Maks.	Min.	Middel	Maks.
Cheops	1,2	2,3	3,7	26,7	27,9	29,3
Klintebjerg	3,4	5,0	6,4	19,7	25,6	29,7
Faxe	1,4	1,4 <sup>1)</sup>	1,4	1,5	3,3 <sup>1)</sup>	4,4

<sup>1)</sup> *S<sup>b</sup>* kunde kun bestemmes for 2 Stænger.

<sup>2)</sup> Stængernes ene Trykflade var blevet ujævn ved Afformningen, hvilket kan have forringet Styrken. Stængerne smuldrede stærkt ved Knusningen.

Stængernes Vandindhold umiddelbart efter Styrkeprøvningen bestemtes ved at tørre Brudstykkerne i Vakuumovn ved ca. 98°, og udtrykt i % af Tørstofvægten var det:

Cheops: 1,35 %    Klintebjerg: 0,58 %    Faxe: 1,18 %

Sugningen har altsaa næsten tømt Stængerne for Vand.

I Forhold til Styrketallene i Tabel 17 gældende for Mørtel med Flydevne 1,2, afsuget med Trækpapir og lagret i fugtig Luft, er *S<sup>b</sup>* stærkt formindsket, mens *S<sup>c</sup>* kun er formindsket for Faxekalken, ikke for de to andre Kalksorter. Da Tilførslen af CO<sub>2</sub> gennem Teglstenens Porer utvivlsomt har været ubetydelig, kan man gaa ud fra, at Styrken alene skyldes hydraulisk Hærdning; der er altsaa ingen Karbonatskorpe dannet, og dette forklarer de lavere Tal. En yderligere Aarsag til Bøjningsstyrkens Forringelse maa søges i Overfladerevner opstaaede ved Stængernes Adskillelse fra Teglstenen (Tabel 22). Disse Revner forklarer ogsaa, at Bøjningsstyrkerne i Tabel 23 er meget smaa i Forhold til Trækstyrkerne i Tabel 13, skønt de begge skyldes hydraulisk Hærdning og ikke CO<sub>2</sub>-Optagelse.

At ikke ogsaa Cheops- og Klintebjergkalkens Trykstyrke er ringere forklares ved, at den højere Lagringstemperatur (23° mod 15°) og den stærkere Afsugning samt den kraftige Stampning under Afsugningen har opvejet Karbonatskorpens Mangler.

En Sammenligning med Tabel 19 viser, at disse vandrige Mørtler hærder langt bedre mellem en Glasplade og en Teglsten end mellem to Glasplader, men deres Egnethed til Bagstøbning af Stenplader, der opsættes paa Teglstensmure, er dog problematisk, da de næppe forbinder sig i væsentlig Grad med den ikke sugende Stenplade (se Afsnit H).

## 2. Støbning paa Glasplade.

**Prøvestængernes Fremstilling:** Som ved Forsøgene E, men efter Støbningen blev Formen dækket med en plantslebet og tørret Teglsten (Fig. 9). Straks efter Stenens Anbringelse blev Formen vendt — saa Glaspladen blev Laag (Fig. 8) — og banket mod et Bord for at opnaa en inderlig Berøring mellem Mørtlen og Murstenen. Derefter stilledes Formene i fugtig Luft, hvis Temperatur var 15°.

**Prøvestængernes Afformning.** Efter 4 Ugers Lagring paa nævnte Maade var Mørtlerne af alle tre Kalksorter saa haarde, at den tunge Staalkegle ikke fremkaldte synlige Indtryk i deres Overflade (Tabel 24).

Iøvrigt gjordes følgende Iagttagelser:

*Mørtlen af Cheopskalk* havde kun været i mangelfuld Berøring med Stenen (Fig. 10) og havde store Gruber paa de Steder, hvor Berøring ikke var opnaaet. Paa de berørte Steder havde Mørtlen suget sig fast, og der



Tabel 24. Indtryk (Diameter) i 4 Uger gammel Mørtel.  
90° Staalkegle vejende 485<sup>g</sup>.

Konsistens og Lagringsmaade	Cheops	Klintebjerg	Faxe
Jordfugtig, afsuget med Papir, hærdnet i Luft (Afsnit D)	0 mm	0 mm	0 mm
Murekonsistens, ingen Afsugning, hærdnet mellem Glasplader (Afsnit E)	1 -	2 -	>20 -
Murekonsistens, afsuget med Teglsten, hærdnet mellem Glasplade og Teglsten (Afsnit F, 1 og 2)	0 -	0 -	0 -

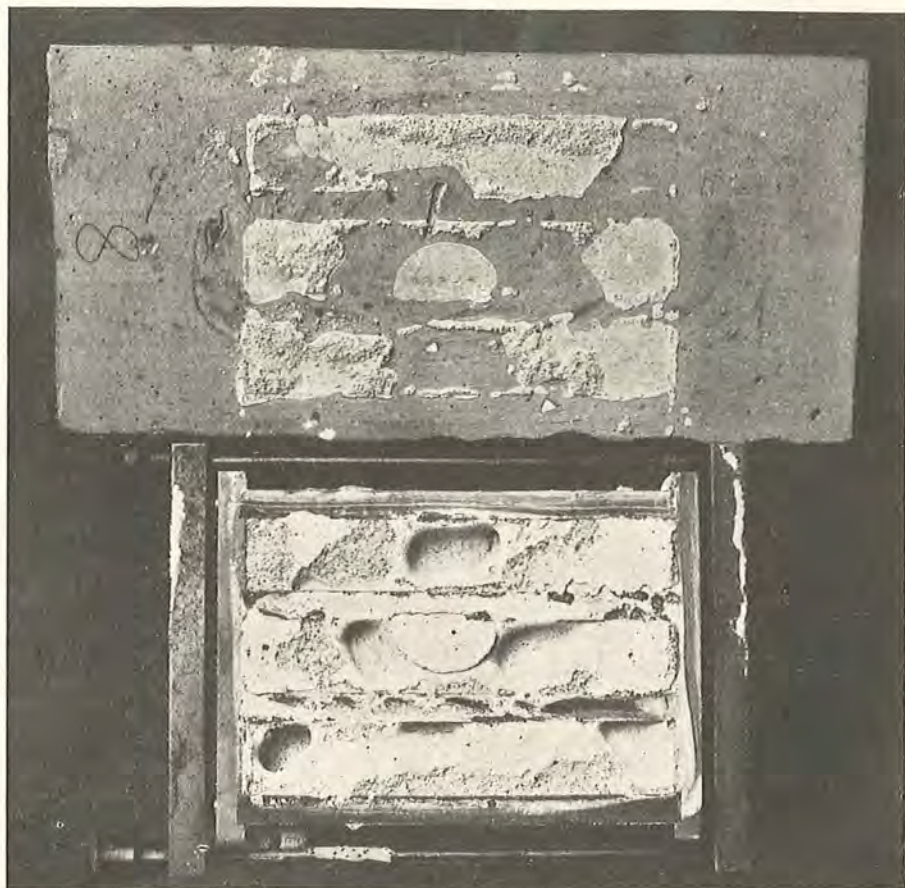


Fig. 10. Form med 3 Stænger af Cheopskalk, der straks efter Udstøbningen dækkedes med den Teglsten, der ses foroven. De lyse Pletter paa Stenen er Berøringsfladerne, gennem hvilke den har suget Vand fra Mørtlen. Gruberne i denne er dannet paa de uberørte Steder, der har maattet afgive Vand til den omgivende Mørtel.

maatte bruges Vold for at faa Stængerne løsnet. Gruberne var indtil 12<sup>mm</sup> dybe og skyldtes Teglstenens Sugning Vand fra den mellem Gruberne liggende Mørtel, der saa selv har suget fra Omgivelserne. Paa Stængernes Glasside var Forholdene normale.

Mørtlen af Klintebjergkalk havde berørt Stenen paa mere end Halvdel af Overfladearealet, og paa Berøringsstederne havde Mørtlen suget sig saa fast, at der maatte bruges Vold for at faa Stængerne løsnet; Brudtet skete 2—3<sup>mm</sup> inde i Mørtlen. Mellem Berøringsfladerne fandtes uregelmæssige Gruber; de fandtes kun paa den Side af Stængerne, der vendte mod Stenen.

Mørtlen af Faxealk havde ikke suget sig fast til Stenene, men disse havde lyse Pletter, der viste, at Mørtel og Sten havde berørt hinanden. Stængerne havde uregelmæssige Gruber ligesom Stængerne af Cheopskalk, men Gruberne var mindre og forekom saavel langs den Flade, der var i Berøring med Stenen, som langs den modsatte, der var i Berøring med Glaspladen. Foruden Gruberne fandtes en Del Tværvæner, der aabenbart ogsaa skyldtes Svind fremkaldt ved Vandets Bortsugning. Nogle af Revnerne var gennemgaaende, andre var saa dybe, at Stængerne gik itu langs dem ved Afformningen; ingen af Stængerne kunde derfor bøjeprøves. At Vandets Bortsugning har givet sig Udslag i flere og mere spredte Svindfænomener end i de andre Mørtler staar utvivlsomt i Forbindelse med Kalkens høje Findelingsgrad. Denne Mørtel har fastholdt Vandet stærkest og hindret det i at bevæge sig hurtigt; denne Mørtel klæbede ogsaa stærkest til Redskaberne. Ved Forsøgene i Afsnit 1 gjordes lignende Iagttagelser (Side 28).

Aarsagen til det stærke Svind er dels Mørtlernes Vaadhed, dels Teglstenens stærke Sugning. Ved Vandets Bortsugning formindskes Mørtlens Rumfang, og en Del af Vandet erstattes af Luft, der trænger ind gennem de Teglstensporer, som ikke er vandfyldte, og, som Forsøget viser, samler en Del af Luften sig i store Blærer, hvilket er ensbetydende med, at den Mørtel, der omgiver Blærene, komprimeres. Ved praktisk Støbning og Muring er Forholdene tilsvarende, hvad Vaadhed og Sugning angaar, men der vil næppe i samme Grad dannes Blærer, da Luften kan indsuges gennem en anden Mørtelflade end den, der berører Stenen.

**Stængernes Styrke.** Efter Afformningen blev Stængerne styrkeprøvet (Tabel 25). Ved Spændingsudregningen er der regnet med det fulde Tværsnit 2 · 2 cm<sup>2</sup> uden Fradrag for Hullerne, men ikke desto mindre er Teglstenens Sugning fundet at have forøget Styrken stærkt i Forhold til Styrken af uafsugede Mørtler lagrede mellem Glasplader (Tabel 19). Dette skyldes ikke CO<sub>2</sub> i den indsugede Luft, men udelukkende den Komprimering, som Afsugning medfører, og som begunstiger den hydrauliske Hærdning.

Tabel 25. Stængernes 4 Ugers Styrke.

	$S^b$ i at	$S^c$ i at
Cheops	6,0	15,4
Klintebjerg	3,7	6,8
Faxe	1)	3,4

1) Stængerne knækkede ved Afformningen.

Naar Forsøget offentliggøres, er det navnlig for at illustrere, at kraftig Sugning kan frembringe store Huller i en Mørtel, og at Hullernes Størrelse og Fordeling paavirkes af Kalkens Findelingsgrad.

## G. MØRTLERNES SVÆKKELSE VED GENNEMVÆDNING

Naar lufttør Cementmørtel vandlagres et Døgn, svækkes den ofte 30 %<sup>1)</sup>. Kalkmørtels Svækkelse fremgaar af følgende Forsøg med Stænger fremstillet efter Laboratoriets Metode (Afsnit D) og styrkeprøvet dels efter 4 Ugers Lagring i fugtig Luft, dels efter yderligere 1 Døgns Vandlagring i fortyndet Luft (0,99—0,95<sup>atm</sup>). Resultaterne ses i Tabel 26.

Tabel 26. Svækkelse ved Gennemvædning.  $P_k : P_s = 1 : 3$ .

	$S^b$ i at		$S^c$ i at	
	Efter 28F	Efter 28F+1V	Efter 28F	Efter 28F+1V
Cheops	11,4	9,6	26,9	27,7
Klintebjerg	10,2	11,6	21,7	18,2
Faxe	4,6	1,0	7,7	4,4
Hydrat (Faxe)	4,7	1,2	7,7	4,3
- (Ny Kalkbr.)	6,0	3,9	11,3	5,8

De to stærkeste Mørtler har nogenlunde samme Styrke i fugtig og i vandmættet Tilstand.

De tre uhydrauliske Mørtler svækkes derimod stærkt ved Gennemvædning;  $S^b$  er formindsket 35—78 %,  $S^c$  er formindsket 43—49 %. Denne Svækkelse omtales nærmere i Afsnit III F.

## H. KALKSORTERNES PRAKTISKE ANVENDELIGHED

Med Hensyn til de tre Kalksorters praktiske Anvendelighed kan der af Forsøgene drages følgende Slutninger:

*Faxekalken* adskiller sig ikke fra almindelig malet Hydratkalk og bør kun bruges under samme Forhold som denne, altsaa ikke til Mørtler, der skal have hydrauliske Egenskaber.

1) E. Suenson: Cements Syrefasthed (Ingeniørvidenskabelige Skrifter B Nr. 15), Side 107.

*Cheops- og Klintebjergkalken* er hydrauliske, men de Mørtler, der fremstilles af dem, faar dog ingen væsentlig Styrke, hvis de udstøbes i Vand, eller hvis de i vandfyldt Tilstand — med Murekonsistens — indelukkes i en tæt Form, der hindrer Vandet i at forsvinde. De kan derfor ikke bruges til Vandbygning, men kun til Husbygning og kun i Berøring med sugende Stoffer. De kan altsaa ikke bruges til at faststøbe tætte Stenplader paa et Betonhus og er heller ikke egnede til Muremørtel mellem Klinker eller andre ikke sugende Legemer.

En væsentlig Hærdning indtræder kun, naar Mørtlerne bruges mellem sugende Flader. Ved Vandets Bortsugning lejrer Mørtelkornene sig saa tæt, at de ved den hydrauliske Hærdning udskilte Krystaller formaar at bygge Bro imellem dem. Under disse Forhold opnaar navnlig Cheopskal-



Fig. 11. Indermur med afskallende Finpuds fremstillet af hydraulisk Kalk + fint Sand,  $R_k : R_s = 2 : 1$ . Afskallingen begyndte 2 Uger efter Pudsningen. En Undersøgelse viste, at Kalken indeholdt 15% Korn  $> 0,09$  mm. Et Provelegeme fremstillet alene af disse Korn + Vand sprængtes inden et Døgn som Følge af Kornenes Efterlæsning.

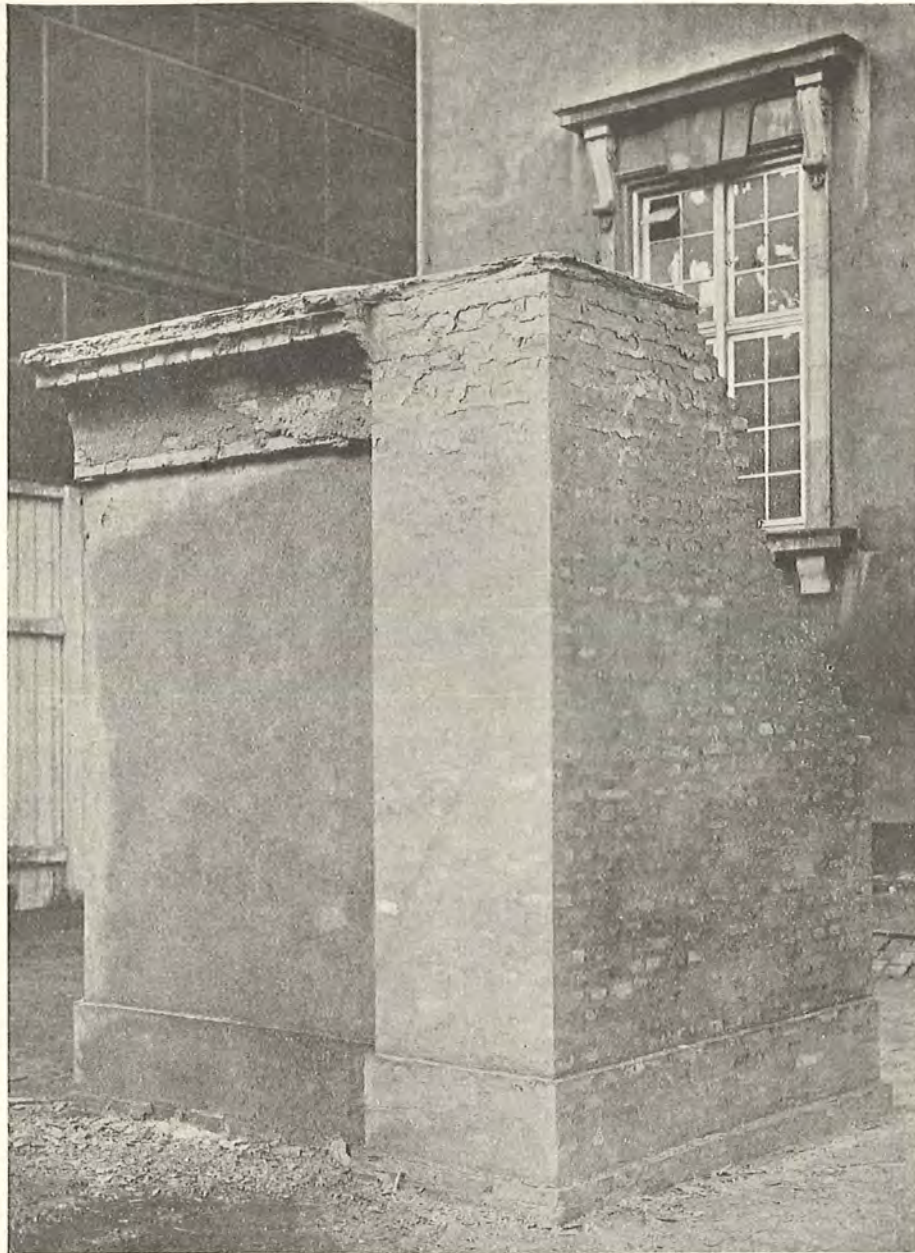


Fig. 12. Prøvemurværk opmuret i hydraulisk Kalk i Efteraaret 1907 og fotograferet 6/2 1908. Fløjen tilvenstre er pudset, Fløjen tilhøjre er skuret. Det afdækkende Pudslag og den øverste Del af Muren ses at være frostsprængt.

ken, men ogsaa Klintebjergkalken langt større Styrke end almindelig Luftkalk, uanset om der tilføres  $\text{CO}_2$  eller ej. Disse to Kalksorter er derfor velegnede til Muring og Pudsning i Forbindelse med sugende Sten.

Hvis Mørtlerne bruges til at faststøbe tætte Stenplader paa en Teglstensmur, kan de opnaa en lige saa stor Trykstyrke, som naar de i afsluget Tilstand hærder frit i Luften. Brugt paa denne Maade vil de kunne støtte Pladerne mod Indtrykning, men næppe i væsentlig Grad hindre en Udskydning eller Parallelforskydning, da deres Adhæsion til de tætte Plader utvivlsomt vil blive ringe, og ligesaa deres Trækstyrke. En cementholdig Kalkmørtel vil i Almindelighed være at foretrække.

Grove, ulæskede Korn maa ikke findes i Kalken (Fig. 11).

Mørtlernes Frostfasthed blev ikke undersøgt ved de foreliggende Forsøg. Bruges Mørtlerne til Muring eller Fugning eller til lodrette Pudslag, er der ingen Grund til at tvivle om deres Frostfasthed, men vil man bruge dem til vandret Afdækning af Mure, maa det tilraades forud at undersøge, om man med den valgte Kalk og det valgte Blandingsforhold opnaar en tilstrækkeligt vandtæt og frostfast Mørtel (Fig. 12).

sammenbinder Kornene. At denne Proces ikke finder Sted i vaade Mørtler — den plejer først at blive mærkbar, naar Vandindholdet er sunket til ca. 6% — bekræftedes ved Forsøg med Stænger fremstillede af Hydratkalk fra Ny Kalkbrænderi og Skælsand,  $P_k : P_s = 1 : 3$ , Flydeevne 1,2, Afsugning i 3 Timer (Tabel 27).

### III. HYDRATKALK

Ved Styrkeforsøgene i Afsnit II C og II D blev ikke blot de tre hydrauliske Kalksorter prøvede, men ogsaa to Sorter Luftkalk, nemlig Hydratkalk fra Faxe og fra Ny Kalkbrænderi, idet man derved fik et naturligt Maal for de andres Styrkeoverlegenhed.

Efterhaanden som Forsøgene skred frem, opstod forskellige Tvivlsspørgsmaal vedrørende Hydratkalks Hærdning, og for at faa disse besvarede foretoges supplerende Forsøg, som omtales i det følgende.

#### A. LUFTKALKS HÆRDNING

Til uhydraulisk Kalkmørtels Hærdning er 3 Processer medvirkende:

(1) **Vandets Bortsugning.** Naar en Del af Vandet bortsuges, vokser den indre Friktion (Afsnit F 3), og Konsistensen ændres fra flydende til plastisk eller muligvis fast.

Naar en Mørtel med Murekonsistens og indeholdende 8%  $\text{Ca(OH)}_2$  udlægges paa en tør Teglsten, suges næsten alt Vandet straks ud af den, og den opnaar øjeblikkeligt en meget fast Konsistens. Udstøbes den derimod paa en Glasplade, saa Vandet kun kan forsvinde ved Fordampning, varer det ca. 3 Døgn, før en tilsvarende Fasthed er opnaaet<sup>1)</sup>, og denne Fasthed skyldes utvivlsomt i højere Grad den dannede Karbonatskorpe end Vandets Fordampning.

Se iøvrigt Afsnit D 1.

(2) **Vandets Fordampning.** Naar en afsuget eller uafsuget Mørtel henligger i  $\text{CO}_2$ -fri Luft, der ikke er vandmættet, vil der fordampe Vand fra Mørtlen, som derved bliver fastere. Noget tilsvarende er kendt fra plastisk Ler — hvis Styrke ved Udtørring kan stige til  $S^t = 14^{\text{at}}$  og  $S^c = 41^{\text{at}}$  — og fra de fleste andre porøse Stoffer, selv om de i vaad Tilstand er faste som Natursten og Teglsten<sup>2)</sup>. Kalkmørtels Styrkestigning ved Udtørring er langt mindre end Lers og skyldes formentlig overvejende Udfældning af  $\text{Ca(OH)}_2$  (Afsnit E).

(3)  **$\text{CO}_2$  Optagelse.** Naar  $\text{CO}_2$  trænger ind i den svagt fugtige Mørtel, begynder den egentlige Hærdningsproces, idet der udfældes  $\text{CaCO}_3$ , der

<sup>1)</sup> Se E. Suenson: Magniumklorid som Mørteltilsætning (Ing. 1926, Side 546) og Sække-kalk (Arkitekten 1933, Side 205).

<sup>2)</sup> Byggematerialer III, 1942, § 67.

Tabel 27. Styrke efter Lagring i vandmættet Luft.

	$S^b$ i at	$S^c$ i at
Straks efter Afsugning.....	0,9	3,1
Efter 4 Uger i vandmættet, $\text{CO}_2$ -fri Luft.....	2,1	6,6
- - - - - $\text{CO}_2$ .....	1,7 <sup>1)</sup>	5,9 <sup>1)</sup>

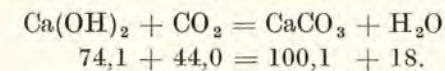
<sup>1)</sup> Efter yderligere 1 Døgn i mættet Kalkvand fandtes  $S^b = 0,9^{\text{at}}$ ,  $S^c = 5,5^{\text{at}}$ .

Styrkestigningen efter Afsugningen skyldes — se Afsnit B — hydraulisk Hærdning. Kultveiltens Tilstedeværelse har ikke forøget 4 Ugers Styrken, og det skyldes Stængernes store Vandindhold (det var 13,8% ved Luftlagringens Ophør); kun Stængernes Overflade var karbonatiseret, hvilket viste sig ved Paadrypning af Fenolftalein; Fladen blev da ikke straks farvet, men der fremkom hurtigt røde Pletter visende, at der nær ved Overfladen fandtes  $\text{Ca(OH)}_2$ , der diffunderede ud i Opløsningen. De andre Stængers Overflade farvedes straks rød<sup>2)</sup>.

Den Mængde atmosfærisk Luft, der kræves til en Mørtels fuldstændige Karbonatisering, er betydelig, som følgende Beregninger viser:

$\text{Ca(OH)}_2$	har Molekylvægten	$40,1 + 2 \cdot (16 + 1) =$	74,1
$\text{CaCO}_3$	- - -	$40,1 + 12 + 3 \cdot 16 =$	100,1
$\text{CO}_2$	- - -	$12 + 2 \cdot 16 =$	44,0
$\text{H}_2\text{O}$	- - -	$2 \cdot 1 + 16 =$	18,0.

Karbonatiseringen sker efter Ligningen:



Til Karbonatisering af 74,1<sup>g</sup>  $\text{Ca(OH)}_2$  kræves altsaa 44,0<sup>g</sup>  $\text{CO}_2$ .

- - - - - 1,0- - - - -  $\frac{44,0}{74,1} = 0,594^g$  -

Ved - - - - - dannes  $\frac{18}{74,1} = 0,243^g$  Vand.

<sup>2)</sup> En Mørteloverflades Karbonatiseringsgrad kan kun bedømmes ved Fenolftaleinets øjeblikkelige Virkning. Farves Fladen ikke straks, er den fuldt karbonatiseret, hvadenten den er tør eller vaad. Farves Fladen straks, og er den tør, er den ikke fuldt karbonatiseret; men hvis en fuldt karbonatiseret Flade gores vaad inden Fenolftaleinets Paadrypning, vil denne straks farve den rød, hvis der fra Mørtlens Indre er diffunderet  $\text{Ca(OH)}_2$  ud i Vandet.

En Luftarts Vægtfylde ved 0° og normalt Atmosfæretryk (1,0333<sup>at</sup>) findes ved at dividere Molekylvægten med 22,4.

$$\frac{\text{CO}_2 \text{ har altsaa ved } 0^\circ \text{ Vægtfylden } \frac{44,0}{22,4} = 1,96 \text{ og ved } 18^\circ \text{ Vægtfylden } \frac{1,96}{1 + 18 : 273} = 1,85 \text{ g/l.}$$

$$\text{Til Karbonatisering af } 1^{\text{e}} \text{ Ca(OH)}_2 \text{ kræves da } \frac{0,594}{1,85} = 0,321^1 \text{ CO}_2.$$

Indeholder den atmosfæriske Luft 0,03 Rumfangsprocent CO<sub>2</sub>, vil der til Karbonatisering af 1<sup>e</sup> Ca(OH)<sub>2</sub> kræves  $0,321 \cdot \frac{100}{0,03} = 1070^1$  Luft.

Mørtlerne med Flydeevne 1,2 og afsugede indeholdt:

$$\begin{array}{ll} \text{Naar } P_k : P_s = 1 : 3 & \text{ca. } 0,445^{\text{g}} \text{ Ca(OH)}_2 \text{ pr. cm}^3 \\ - \quad - \quad = 1 : 11,5 & - \quad 0,141 \quad - \quad - \quad - \end{array}$$

Til Karbonatisering af 1 cm<sup>3</sup> Mørtel kræves da:

$$\begin{array}{ll} \text{Naar } P_k : P_s = 1 : 3 & 0,445 \cdot 1070 = 476^1 \text{ Luft} \\ - \quad - \quad = 1 : 11,5 & 0,141 \cdot 1070 = 151 \quad - \quad - \end{array}$$

Til Karbonatisering af en Mørteloverflade i 1<sup>mm</sup> Dybde kræves:

$$\begin{array}{ll} \text{Naar } P_k : P_s = 1 : 3 & 47,6^1 \text{ Luft pr. cm}^2 \\ - \quad - \quad = 1 : 11,5 & 15,1 \quad - \quad - \quad - \end{array}$$

Til fuld Karbonatisering af en 2 · 2 · 12 cm<sup>3</sup> Stang kræves:

$$\begin{array}{ll} \text{Naar } P_k : P_s = 1 : 3 & 48 \cdot 476 = 22848^1 \text{ Luft} \\ - \quad - \quad = 1 : 11,5 & 48 \cdot 151 = 7248 \quad - \quad - \end{array}$$

En mager Mørtel hærdner følgende hurtigere end en fed.

Hvor hurtigt en saadan Stang karbonatiseres fremgaar af en Analyse af 3 Stænger, der efter Afsugning med Træpapir havde ligget 28 Døgn paa Traadnet i Laboratoriet; Luftens Temperatur og Fugtighed var henholdsvis 22,5° og 55—65%. Mørtlen blev fremstillet af Hydratkalk og kalkfrit Skælsand i Forholdet  $P_k : P_s : P_v = 1 : 11,5 : 2,1$ , altsaa svarende til alm. Muremørtel med 8% Ca(OH)<sub>2</sub>. Efter de 28 Døgn var 48,6% af Mørtlens oprindelige Ca(OH)<sub>2</sub>-Mængde omdannet til CaCO<sub>3</sub>. Stængernes Styrke var  $S^b = 5,2^{\text{at}}$ ,  $S^c = 10,5^{\text{at}}$ .

#### B. HYDRATKALKS HYDRAULISKE EGENSKABER

Ved de tidligere Styrkeforsøg med Sækkekalk<sup>1)</sup> blev det paavist, at dens Overlegenhed over Kulekalk ikke var betydelig, naar Hærdningen skete i almindelig, tør Stueluft, men meget betydelig, naar Luften holdtes stærkt fugtig, eller naar Prøvelegemerne vandmættedes een Gang ugent-

<sup>1)</sup> Arkitekten 1933, Side 197.

lig, og det nævntes, at Aarsagen kunde være, at Sækkekalken havde hydrauliske Egenskaber stammende fra ulæskede Korn. Saadanne Korn er uvirksomme i Kulekalk, men naar de findeles ved Maling, bliver de virksomme.

Denne Forklaring er blevet bestyrket ved en Række Forsøg med de foreliggende to Sorter Hydratkalk og den jævnbyrdige »hydrauliske« Kalk fra Fakse. Naar afsugede Mørtler af disse Kalksorter prøves saavel straks efter Afsugningen som efter 4 Ugers Lagring under Forhold, der udelukker Hærdning som Følge af Udtørring eller Optagelse af CO<sub>2</sub>, finder man dog en Styrkestigning, og anden Forklaring end hydrauliske Hærdningsprocesser har ikke kunnet findes. Nogle enkelte af disse Forsøg skal omtales.

For Stænger fremstillede af Hydratkalk fra Ny Kalkbrænderi og Skælsand,  $P_k : P_s = 1 : 3$ , Flydeevne 1,2, Afsugning i 3 Timer, fandtes følgende Styrker (Tabel 28).

Tabel 28. Fed Mørtels Styrkestigning som Følge af hydraulisk Hærdning.

	$S^b$ i at	$S^c$ i at
Straks efter Afsugning . . . . .	0,9	3,1
Efter 4 Uger i vandmættet, CO <sub>2</sub> -fri Luft . . . . .	2,1	6,6
- yderligere 1 Døgn i mættet Kalkvand . . . . .	0,6	5,4

Styrken er altsaa blevet fordoblet under Lagringen, og det kan ikke skyldes Udtørring, da Luften var vandmættet — Stængerne indeholdt 13,8% Vand ved Luftlagringens Ophør — og da Styrken ikke forsvandt ved Stængernes Vandlagring. Ved Paadrykning af Fenoltalein farvedes Overfladerne straks røde.

For tilsvarende Stænger med  $P_k : P_s = 1 : 11,5$  og fremstillede af Kalkmørtelsand fra *Disk* fandtes Værdierne i Tabel 29.

Tabel 29. Mager Mørtels Styrkestigning som Følge af hydraulisk Hærdning.

	$S^b$ i at	$S^c$ i at	Kegleindtryk <sup>1)</sup>
Straks efter Afsugning . . . . .	0,4 <sup>2)</sup>	0,7 <sup>3)</sup>	4 mm
Efter 4 Uger mellem tilkittede Glasplader . . . . .	4)	1,0 <sup>5)</sup>	2 .

<sup>1)</sup> Keglevægt 485 g.

<sup>4)</sup> Forsøgene mislykkedes.

<sup>2)</sup> Middeltal af 2 Værdier.

<sup>5)</sup> Middeltal af 8 Værdier.

<sup>3)</sup> Middeltal af 10 Værdier.

Denne magre Mørtel er saa svag, at Styrketallene ikke har stor Beviskraft, men det fremgaar af Haardhedstallene, at der er sket en Hærdning.

For Stænger fremstillede af Faxe hydrauliske Kalk og Skælsand,  $P_k : P_s = 1 : 3$ , Flydeevne 1,2 ( $P_v = 19,5\%$  af  $P_k + P_s$ ), Afsugning i 3 Timer, fandtes Værdierne i Tabel 30, altsaa lignende Værdier som i Tabel 28.

Tabel 30. Fed Mørtels Styrkestigning som Følge af hydraulisk Hærdning.

	$S^b$ i at	$S^c$ i at
Straks efter Afsugning.....	0,8	3,9
Efter 4 Uger mellem tilkittede Glasplader <sup>1)</sup> .....	2,3	5,3
do. ved et andet Forsøg (Tabel 20) .....	1,9	4,5

<sup>1)</sup> Brudstykkerne blev tørrede i Vakuumnovn ved 98°, og Vandindholdet fandtes at være det samme som straks efter Afsugningen, nemlig 15,5% af Tørvægten. Ved Bøjningsforsøget var Spændingsstigningens Hastighed 0,47 at/Sek; ved Trykforsøget var Trykpladens Hastighed 35 mm/Min.

## C. KALKMØRTELS VANDTAB VED AFSUGNING

En Mørtelstangs Vandprocent straks efter Afformningen er noget mindre end Mørtlens Vandprocent i Blandingskarret, selv om der ingen Afsugning er sket. Vandsvindet kan have følgende Aarsager:

- (1) Lidt Vand fordamper under Mørtlens Blanding og Udstøbning.
- (2) Lidt Vand bliver siddende paa Blandingskarrets Vægge, selv om disse forud er gnedet over med en fugtig Klud, hvilket altid gøres.
- (3) Lidt Vand suges ind i Formens Samlingsfuger.
- (4) Naar de fyldte Forme afstryges med en Kniv, bliver Vandprocenten i den afstrøgne Mørtel større end Stangens.
- (5) Ved Afformningen bliver lidt Vand siddende paa Formens Vægge.

Skal Vandtabet ved Afsugningen bestemmes, maa man ogsaa bestemme Summen af de øvrige Vandtab, og dette blev gjort for Mørtelstænger fremstillede af Ny Kalkbrænderi's Hydratkalk og Skælsand.  $P_k : P_s$  var 1 : 3 og 1 : 11,5, og Vandindholdet var henholdsvis 18,6% og 16,3% af  $P_k + P_s$ , hvorved Flydeevnen blev 1,2. Det halve Antal Stænger afformedes straks efter Støbningen, de øvrige først efter 3 Timers Afsugning med Trækpapir. Straks efter Afformningen vejedes samtlige Stænger, og efter Tørring i Vakuumnovn ved 98° vejedes de paany; Vægttabet var da lig med Vandindholdet straks efter Afformningen. Resultaterne ses i Tabel 31.

Tabel 31 viser, at den 3 Timers Afsugning fjerner langt mere Vand fra en mager Mørtel end fra en fed, og det skyldes den magre Mørtels grovere Porer.

Tabel 31. 100  $P_v : (P_k + P_s)$  paa forskellige Tidspunkter.

	$P_k : P_s =$	1 : 11,5	1 : 3
Mørtlens oprindelige Vandindhold.....		16,3 %	18,6 %
Uafsugede Stængers Vandindhold efter Afformning .....		14,8 -	17,3 -
Afsugede - - - - - <sup>1)</sup> .....		7,1 -	14,1 -
Vandtab ved Afsugning <sup>1)</sup> .....		7,7 -	3,2 -
- af andre Grunde <sup>1)</sup> .....		1,5 -	1,3 -

<sup>1)</sup> Der er korrigeret for Vægten af det ved Afsugningen tilførte Puddersand, saa Tallene angiver Vandindholdet i % af den oprindelige Tørvægt.

## D. AFSUGNINGSTIDENS INDFLYDELSE PAA MØRTELSTYRKEN

## 1. Styrken straks efter Afsugningen.

Den uhærdnede Kalkdejg er et fluidt eller plastisk Stof med et vist Sammenhæng og en vis indre Friktion og yder derfor en vis Modstand mod Deformationer. Denne Modstand er des større, jo hurtigere man udfører Deformationen. Ved et Trykforsøg med konstant Deformationshastighed stiger Modstanden til et Maksimum og aftager derpaa; ogsaa dette Maksimum — altsaa Styrken — vokser med Deformationshastigheden.

Den Fæsthed, der opnaas ved Stængernes Afsugning med Trækpapir, er mindre end den, som en tør Mursten frembringer, men dog saa stor, at selv Bøjningsstyrken kan bestemmes, naar man er behændig. Til Bøjningsforsøgene brugtes Frühling-Michaelis' Vægtstangsapparat (Fig. 6), men det sædvanlige Belastningsmateriale Hagl erstattedes med Normal-sand, af hvilket der tilførtes 3 g/Sek, hvorved Bøjningsspændingens Stigningshastighed blev 0,056 at/Sek. Til Trykforsøgene brugtes Maskinen fra Schopper (Fig. 7); Sammentrykningshastigheden var 30 mm/Min.

For at undersøge Afsugningstidens Indflydelse paa en Mørtels Styrke straks efter Afsugningen gentoges Styrkeforsøget med Faxekalk i Tabel 20 med kun 3 Timer gamle Mørtler, der — forsaa vidt Afsugningstiden var kortere end 3 Timer — lagredes mellem Glasplader i Resten af de 3 Timer (Tabel 32). Stængerne var bløde og plastiske, og Bøjningsstyrken af ens Stænger varierede stærkt, men Middelværdien af saavel  $S^b$  som  $S^c$  ses at vokse jævnt med Afsugningstiden. Tallene i sidste Linie skal senere omtales.

Tabel 32. 3 Timers Styrke af Mørtel af Faxekalk + Skælsand med  $P_k : P_s = 1 : 3$  og Flydeevne 1,2.

Afsugning	Alder	$S^b$ i at	$S^c$ i at
Ingen	3 Timer	0	0
½ Time	- -	0,6	2,2
3 Timer	- -	0,8	3,9
( - -	28 Døgn	1,9	4,5)

Den Styrke, som de 3 Timer gamle Stænger har opnaaet, kan enten være en Følge af, at Vandhinderne mellem Kornene er blevet tyndere som Følge af Afsugningen, eller at der under Afsugningen er sket en Udfældning af  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , og skønt den sidste Mulighed var lidet sandsynlig, gentoges Forsøget med Mørtler, hvis Kalk var erstattet med en ligesaa stor Vægt Kvartsmel (pulveriseret Klitsand), og som dels fremstilledes med destilleret Vand og dels med en mættet Opløsning af  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (Tabel 33). Tallene viser, at Kvartsmellet har givet mindre Styrke end Kalken, hvilket kan skyldes, at det har været grovere end denne. Da den mættede  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -Opløsning ikke har givet større Styrke end det rene Vand, kan Udkrystalliseringen af  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  næppe have spillet nogen Rolle for Kvartsmelmørtlens Vedkommende, og det er da naturligt at antage, at den heller ikke har spillet nogen Rolle for Kalkmørtlens Vedkommende, saaledes at dennes Styrke efter 3 Timers Afsugning alene skyldes, at Vandhinderne mellem Kornene er blevet tyndere.

Tabel 33. 3 Timers Styrke af Mørtel af Kvartsmel + Skælsand med  $P_{kv} : P_s = 1 : 3$  og Flydeevne 1,2.

Vand	Afsugning	Alder	$S^b$ i at	$S^c$ i at
Destilleret.....	3 Timer	3 Timer	1)	2,1
$\text{Ca}(\text{OH})_2$ -Opløsning .....	- -	- -	1)	1,9

1) Stængerne knækkede ved Afformningen.

Sidste Linie i Tabel 32 gengiver Tallene fra Tabel 20 og viser, at hvis Lagringen mellem Glaspladerne fortsættes i 4 Uger, stiger Styrken. Dette skyldes hydraulisk Hærdning; havde Kalken været en umalet Kulekalk, vilde Styrken næppe være vokset.

## 2. Styrken efter 4 Ugers Hærdning.

Afsugningstidens Indflydelse paa almindelig Muremørtels Styrke fremgaar af følgende Forsøg med Ny Kalkbrænderi's Hydratkalk. Mørtlerne fremstilledes af Sand fra *Dishen* og med  $P_k : P_s = 1 : 11,5$ . Flydeevnen var 1,2 og 2,0, og Afsugningstiden varierede. Efter Afsugningen lagredes Stængerne 4 Uger i Stueluft — Temperatur ca.  $23^\circ$ , relativ Fugtighed ca. 60% — og dyppedes i Vand hver Uge, hvorefter Styrken bestemtes (Tabel 34).

Tabel 34 viser:

- (1) At en Afsugning ud over 3 Timer ikke ændrer Stængerens Styrke.
- (2) At Mørtler med uens Flydeevne faar nogenlunde ens Styrke, naar de afsuges, men at Mørtlen med mindst Flydeevne dog bliver den stærkeste.

Tabel 34. Afsugningstidens Indflydelse paa 4 Ugers Styrken.  $P_k : P_s = 1 : 11,5$ .

	$S^b$ i at	$S^c$ i at
Flydeevne 1,2. Afsugning 3 Timer .....	12,2	15,1
- - - 5 - .....	11,2	15,4
- - - 18 - .....	11,7	14,6
Flydeevne 2,0. Afsugning 3 Timer .....	10,4	12,7
- - - 5 - .....	10,9	13,3
- - - 18 - .....	10,7	13,2

## E. UDTØRRINGS INDFLYDELSE PAA MØRTELSTYRKEN

Naar en nystøbt Mørtel lagres i tør,  $\text{CO}_2$ -fri Luft, vil dens Vand fordampe, men den Styrke, Mørtlen derved opnaar, er ikke betydelig. Dette Forhold er velkendt i Praksis fra Vægspuds, som udtørres hurtigt, idet saadan Puds smuldrer, naar den udsættes for Overlast. Se ogsaa Afsnit A (2).

Virkingen af ukarboniseret Mørtels fuldstændige Udtørring fremgaar af følgende Forsøg med Mørtler fremstillede af Ny Kalkbrænderi's Hydratkalk og med Flydeevne 1,2. Nogle af Stængerne blev afsuget i 3 Timer og enten styrkeprøvet straks eller efter 47 Timers Tørring over  $\text{CaCl}_2$  i smaa Vakuumeekssikatorer (Lufttryk  $0,012-0,025^{\text{atm}}$ ), hvis Lufttemperatur var enten  $18^\circ$  eller  $98^\circ$ . De øvrige Stænger blev ikke afsuget, men straks efter Støbningen afformet og indsat i lignende Ekssikatorer (Tabel 35).

Tabel 35. Styrke efter fuldstændig Tørring i Vakuum ved  $18^\circ$  eller  $98^\circ$ .

$P_k : P_s =$	1 : 3			1 : 11,5		
	Indtryk <sup>1)</sup>	$S^b$ at	$S^c$ at	Indtryk <sup>1)</sup>	$S^b$ at	$S^c$ at
Efter 3 Timers Afsugn.	1,0 <sup>mm</sup>	0,9 <sup>2)</sup>	3,1	3,8 <sup>mm</sup>	0,4 <sup>2)</sup>	0,7
- Tørring ved $18^\circ$		3,6 <sup>2)</sup>	8,1		1,1 <sup>2)</sup>	1,7
- - - $98^\circ$	0,1 -	3,2 <sup>2)</sup>	7,9	1,5 -	0,9 <sup>2)</sup>	1,9
Efter 0 Timers Afsugn.		0,0	0,0		0,0	0,0
- Tørring ved $18^\circ$		2,4 <sup>2)</sup>	1,7		0,0	0,1
- - - $98^\circ$	0,2 -	1,9 <sup>2)</sup>	3,0	4 -	0,0	0,5

1) Diameter af Indtryk frembragt af Kegle vejende 485<sup>g</sup>.

2) Spændingsstigningens Hastighed: 0,056 at/Sek.

3) - - - : 0,0056 - - -

Ved Trykforsøget faldt de tørre Stænger hen til Pulver.

Tabellen viser, at Styrken er steget under Udtørringen, men ikke til nogen betydelig Værdi; det samme fremgaar af Tabel 21.

Virkingen af en moderat Udtørring fremgaar af følgende Forsøg med Mørtel af Faxes »hydrauliske« Kalk + Skælsand,  $P_k : P_s = 1 : 3$ ,  $P_v : P_k =$

0,78, Flydeevne 1,2, Afsugning i 3 Timer. Nogle Stænger prøvedes straks efter Afsugningen, Resten efter 3 1/2 Times Lagring i Vakuumecksikator ved 18° (Tabel 36).

Tabel 36. Styrke efter delvis Tørring ved 18°.

	Vand i % af $P_k + P_s$		$S^b$ at	$S^c$ at
	Ved Udstøbn.	Ved Prøvn.		
Efter 3 Timers Afsugning .....	19,5	14,4	0,8 <sup>1)</sup>	3,2
- paafølgende Tørring .....	-	10,9 <sup>2)</sup>	1,0 <sup>1)</sup>	7,2

<sup>1)</sup> Disse Værdier er upaalidelige, da der belastedes for hurtigt (med Hagl).

<sup>2)</sup> Efter Afsugningen med Trækpapir var Vandindholdet 14,7%, altsaa svarende til Stængernes i 1' Linie.

Aarsagen til Styrkestigningen ved Udtørring kan være:

(1) At Vandets Fordampning virker paa samme Maade som dets Bort-sugning, altsaa gør Porerne snævrere, hvorved de sammenholdende Haarrørskræfter (se Afsnit F 3) bliver større. Denne Virkning er kun mulig, saalænge Kornene er adskilt ved Vandhinder og ikke berører hinanden.

(2) At der ved Vandets Fordampning udfældes sammenkittende Kry-staller af  $Ca(OH)_2$ .

(3) Naar en saadan Sammenkitning er sket, danner Mørtlens Korn et fast Skelet, hvis Porevidder ikke kan formindskes ved yderligere Udtørring, men en saadan kan tænkes at virke forstærkende ved, at Vand-spejlet efterhaanden flytter sig ind i flere og flere fine Porer, hvorved Haarrørskræfterne forøges.

Vandspejlets Tilbagerykning i et porøst Legeme under Udtørring vises skematisk i Fig. 13. *a* er en meget fin Pore uden Tværporer; Vandspejlet

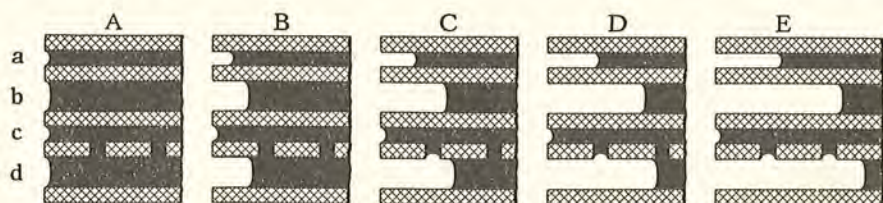


Fig. 13. Skematisk Fremstilling af porøst Legeme i vandmættet Tilstand (*A*) og paa 4 Stadier af Udtørring (*B* til *E*).

er vist paa 5 Stadier; i *A* er Poren vandfyldt, i *B* er der fordampet en vis Vandmængde, i *C* den dobbelte, i *D* den 3-dobbelte o. s. v.; *b* er en grov Pore uden Tværporer; Vandspejlet er vist paa de samme Tidspunkter; dets hurtigere Tilbagerykning skyldes dels dets svagere Krumning, dels at Vanddampene lettere vandrer ud gennem den grove Pore end gennem den fine.

*c* og *d* er en meget fin og en grov Pore med Tværforbindelser; den samlede Fordampning fra disse to Porer er den samme som fra *a* og *b*<sup>1)</sup>, men den Vandmængde, der fordamper fra *c*-Poren, suger denne til sig fra *d*-Poren, saa Resultatet bliver, at *c*-Poren forbliver vandfyldt, og at *d*-Poren tømmes hurtigere end *b*-Poren. Efterhaanden som *d*-Porens Vandspejl rykker tilbage, blottes der flere og flere fine Tværporer, hvorved der i disses Munding opstaar Haarrørskræfter, der forøger Legemets Sammenhold.

Der er Grund til at tro, at Styrkestigningen navnlig skyldes (2), altsaa Udfældning af  $Ca(OH)_2$ , og da Stigningen — som det fremgaar af Styrketallene og de praktiske Erfaringer — kun er ringe, maa disse Krystallers sammenbindende Evne være ret begrænset, hvilket ogsaa viser sig ved, at delvis udtørrede Mørtler flyder ud, naar de nedlægges i kalkmættet Vand (Afsnit F).

Hvis Styrkestigningen skyldtes (1), maatte man vente, at de uafsugede Stænger i Tabel 35 i udtørret Tilstand vilde være lige saa stærke som de afsugede, men de er langt svagere.

Ogsaa Tallene i Tabel 21 tyder paa, at Virkningen af (1) og (3) er ringe.

#### F. MØRTLERNES SVÆKKELSE VED GENNEMVÆDNING

##### 1. Ældre Forsøg.

Af Tabel 26 fremgik, at de tre uhydrauliske Kalkmørtler svækkedes meget stærkt, naar de efter 4 Ugers Hærdning vandmættedes. Ved Bedømmelsen af denne Svækkelse maa det erindres, at Mørtlerne var meget kalkrige og lagrede i fugtig Luft og derfor kun har været svagt karbonatiserede. Ved ældre Forsøg<sup>2)</sup> med uhydraulisk Kulekalksmørtel af Sammensætning 90,4 Sand + 9,6  $Ca(OH)_2$  + 23,3 Vand (Murekonsistens) udstøbt paa Teglstén og lagret i Laboratorieluft (tør), fandtes  $S_{28}^c = 12,6^{at}$ , og denne Styrke formindskedes kun 13% ved Gennemvædning; at Svækkelsen i dette Tilfælde er ringere skyldes en stærkere Karbonatisering, og denne er en Følge af Mørtlens kraftigere Afsugning og mindre Kalkindhold samt af Lagringsluftens større Tørhed.

Muligt er det ogsaa, at det indtrængende Vands Sprængvirkning kan svække de svagt karbonatiserede Mørtler, der kun er overtrukket med tynde Karbonatskorper. At sprængende Kræfter opstaar viste sig ved de

<sup>1)</sup> Dette er dog kun helt rigtigt paa Stadiet *A*; paa de senere Stadier kan der blive lidt Forskel, fordi Diffusionsmodstanden vokser med den tomte Porelængde og altsaa er større i *d* end i *b*, men samtidigt mindre i *c* end i *a*. Er Vandspejlets Afstand fra Poremundingen *h*, vil Porens Vandafgivelse pr. Tidsenhed være omvendt proportional med *h*, saafremt  $h > 1\text{cm}$  (*C. Christiansen*: Lærebog i Fysik I, 1892, Side 282).

<sup>2)</sup> *Ingeniøren* 1926, Side 548.



ældre Forsøg<sup>1)</sup> med nævnte Mørtel udstøbt paa Glasplader til fugetykke Kager. Naar disse Kager efter 3 Døgn Hærdning i Stueluft lagdes i Vand — sammen med Glaspladen, til hvilken de hæftede — piblede Luften ud og steg til Vejrs som Smaabobler, og nogle Minutter senere sprængtes Karbonatskorpen løs i store Flager (Fig. 14). Hvis Kagerne først lagdes i Vand efter 6 Døgn Lufthærdning, kom der ogsaa Luftblærer frem, men der skete ingen Sprængning, utvivlsomt paa Grund af Skorpens større Tykkelse. Hvis Kagerne blot dyppedes et Øjeblik i Vand, tog de ingen Skade, selv om de kun var 1 à 2 Døgn gamle.



Fig. 14. Karbonatskorpens Sprængning paa 3 Døgn gammel luftlagret Kalkmørtel med  $P_k : P_s = 1 : 9,42$  ved Nedlægning i Vand. Sand Storrelse.

I Tidens Løb kan Karbonatskorpen blive meget tæt. Dette viste sig, naar Kagerne efter 1 til 5 Ugers Lagring i Stueluft blev stillet ud i fri Luft, om Foraaret. Hvis Kagerne var ubeskadigede, holdt de sig tætte og

<sup>1)</sup> *Ingeniøren* 1926, Side 555—56.

hvide i Regnvejr, i modsat Fald gik Vandet ind i dem og farvede dem graa. De tætte Kagers Tæthed forsvandt i Løbet af Sommeren, maaske fordi Hinden opløstes, men snarere fordi den revnede eller paa anden Maade skadedes.

## 2. Nye Forsøg.

Unge Kalkmørtlers Henfald i Vand blev ogsaa studeret ved nærværende Forsøg. Der brugtes de sædvanlige, stangformede Prøvelegemer fremstillet som angivet i Afsnit II D af Hydratkalk fra Ny Kalkbrænderi og Skælsand.

*Blandingsforholdet*  $P_k : P_s$  var enten 1:3 eller 1:11,5 (svarende til 8%  $\text{Ca}(\text{OH})_2 + 92\%$  Sand).  $P_v : P_k$  var henholdsvis 0,74 og 2,04.

*Flydeevne*: 1,2. Efter Støbning Afsugning som i Afsnit II D.

*Lagringsmaade*: Enten i 18° varm Luft med 60—70% relativ Fugtighed eller i Ekssikkator over  $\text{CaCl}_2$ . Efter den i Tabel 37 indførte Lag-

Tabel 37.

Afsuget Timer	Lagt i Vand	Stængernes Henfald	
		$P_k : P_s = 1 : 11,5$	$P_k : P_s = 1 : 3$
0	Straks efter Støbning	Fuldstændigt <sup>1)</sup>	Kun Sideflader <sup>1)</sup>
3	- - Afsugning	-	- - <sup>2)</sup>
3	Efter 22 Timer i Ekssikkator	-	Fuldstændigt <sup>3)</sup>
3	- 66 - - -	- <sup>1)4)</sup>	- <sup>3)</sup>
3	- 28 Døgn - -	Intet	Intet
3	- 22 Timer - Stueluft	- <sup>5)</sup>	- <sup>6)</sup>
3	- 66 - - -	- <sup>7)</sup>	- <sup>8)</sup>
3	- 28 Døgn mellem Glasplader	Fuldstændigt <sup>9)</sup>	
3	- 28 - i vandmættet, CO <sub>2</sub> -fri Luft		Intet

<sup>1)</sup> Tilsvarende Forsøg blev udført 1 eller flere Gange paa andre Tidspunkter med samme Resultat.

<sup>2)</sup> og i mindre Grad end straks efter Støbning. Forsøget blev gentaget 2 Gange paa andre Tidspunkter og med nogenlunde samme Resultat. Den ene Gang fik samtlige Stænger hurtigt 2—3 gennemgaaende Tværværner, men Stængerne faldt ikke hen. Den anden Gang skete der ikke andet, end at enkelte Korn løsnede sig fra de øvre Hjørner og nedre Kanter; efter 5 Døgn i Vandet fandtes disse Stænger stadig sammenhængende og plastiske; efter 1 Døgn Vandlagring fandtes  $S^c = 2,0^{at}$  mod  $3,1^{at}$  for Vandlagringen.

<sup>3)</sup> Stængerne havde en tynd Karbonatskorpe. Ved et nyt Forsøg var Henfaldet ikke fuldstændigt, men dog meget stærkt.

<sup>4)</sup> Stængerne havde en ca. 1 mm tyk Karbonatskorpe.

<sup>5)</sup> Efter 5 Døgn i Vandet fandtes Stængerne stadig faste.

<sup>6)</sup> Ved et nyt Forsøg var der noget Henfald, og en enkelt Stang fik Tværværner efter 2 Døgn Forløb.

<sup>7)</sup> Disse Stænger havde en ca. 7,5 mm tyk Karbonatskorpe.

<sup>8)</sup> - - - - - 1,5 - - -

<sup>9)</sup> Henfaldet skete langsomt. Stangen afgav Luft, og der opstod 3 Tværværner, der efterhaanden blev bredere, men Stangen bevarede sin Form i mindst  $\frac{1}{2}$  Time. Næste Morgen var Stangen flydt ud.

ringstid blev Stængerne lagt i mættet Kalkvand med det i Tabellen indførte Resultat.

Der var 3 ens Stænger i hver Gruppe, men kun 2 blev lagt i mættet Kalkvand. Den 3' blev lagt i Vakuumovn ved 98° straks efter Afsugningen, og den Tørvægt, der derved fandtes, blev regnet at gælde ogsaa for de to andre Stænger og brugt til Udregning af Tabel 38.

De to Stænger, der lagdes i Vand, opførte sig ens; de lagdes i hver sin Skaal, og Fig. 15 viser Stængerne i den ene.

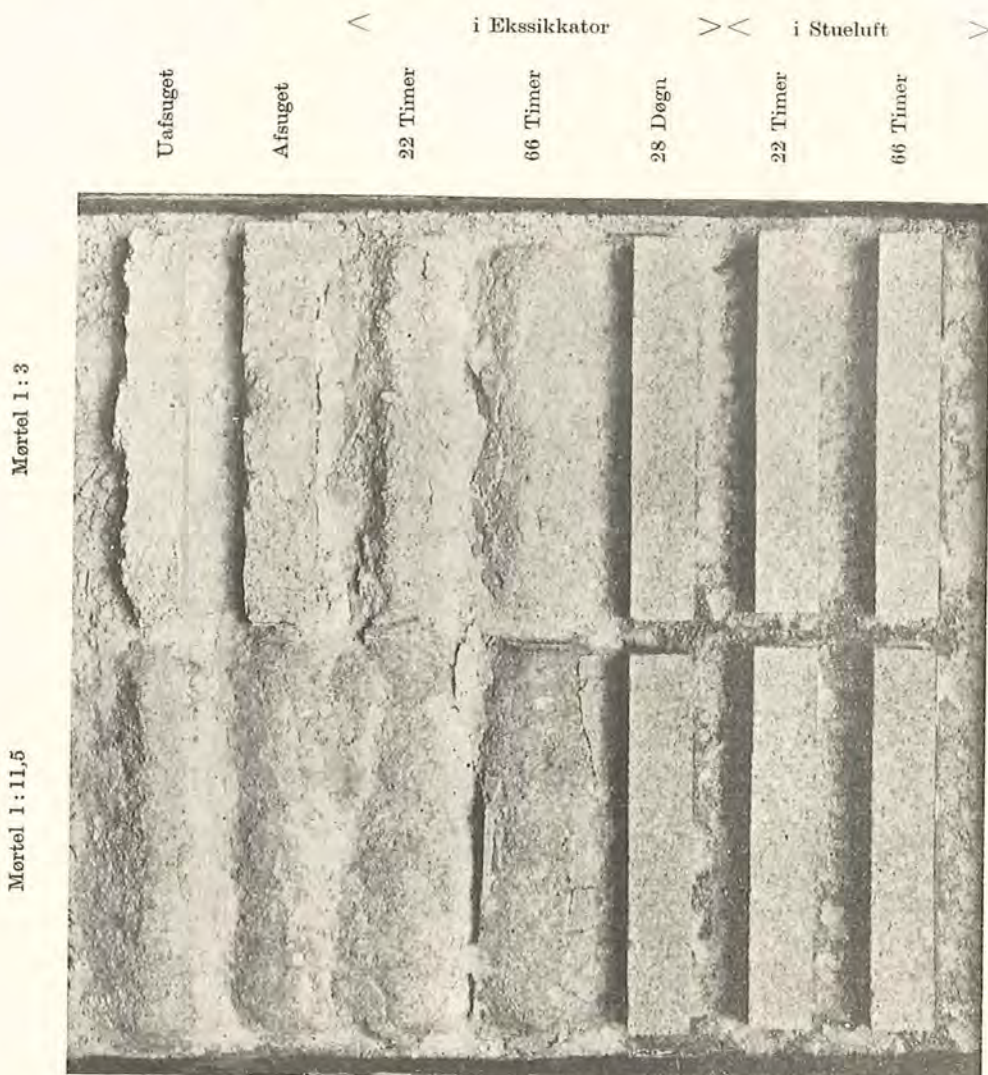


Fig. 15. Fed og mager Mørtels Henfald i Vand efter forskellige Lagringsmaader (Tabel 37). Før Fotograferingen blev Skaalens Vand tomt af. 2,4 Gange formindsket.

Som det fremgaar af Fodnoterne til Tabel 37, blev Forsøget gentaget een eller flere Gange. I een af Forsøgsrækkerne blev 1 Stang fra hver Gruppe lagt i destilleret Vand og de to andre i mættet Kalkvand, men Vandets Art var uden Betydning, bortset fra at enkelte Stænger af den fede Mørtel maaske faldt lidt hurtigere hen i det rene Vand.

Naar Stængerne lagdes i Vand, afgav de som Regel Luftbobler, dog kom der næsten ingen fra de 0—3 Timer gamle Stænger; iøvrigt syntes Luftmængden at vokse med Stængernes Tørhed og at være større i de luftlagrede Stænger end i de ekssikkatorlagrede. Sandsynligvis kom der mere Luft fra den magre Mørtel end fra den fede, men Bedømmelsen var vanskelig, da Boblernes Størrelse varierede, og da Luften blev uddrevet hurtigere af nogle Stænger end af andre.

Nogle Stængers Henfald begyndte straks og var afsluttet efter faa Sekunder, i andre Tilfælde foregik Processen langsommere; den magre Mørtel henfaldt som Regel hurtigere end den fede, og den tørrede Mørtel hurtigere end den nystøbte eller blot afsugede. Det Sammenhæng, den fede Mørtel viste, naar den i nystøbt eller afsuget Tilstand lagdes i Vand, forsvandt, hvis Bordet rystedes; Mørtlen skred da fuldstændigt ud.

Stængernes Indhold af Vand + CO<sub>2</sub> umiddelbart før Vandlagringen blev bestemt som Forskellen mellem deres Vægt paa dette Tidspunkt og deres Tørvægt (se Side 48) og er indført i Tabel 38.

Tabel 38. Stængernes Indhold af Vand + CO<sub>2</sub> i % af Tørvægt.

	$P_k:P_s=1:11,5$	$P_k:P_s=1:3$
Ved Fremstillingen .....	16,3	18,6
Straks efter Støbning .....	14,8	17,1
- - Afsugning .....	7,4	14,1
Efter 22 Timer i Ekssikkator ..	6,3	13,3
- 66 - - - ..	3,4	10,9
- 28 Døgn - - - ..	0,0	0,9
- 22 Timer - Stueluft .....	1,4	1,7
- 66 - - - .....	0,9	1,2

Af Tabel 38 fremgaar:

- (1) Mørtlernes Vandtab i de første 3 Timer stemmer godt med Tabel 31.
- (2) Tørring i Ekssikkator over CaCl<sub>2</sub> foregaar meget langsommere end Tørring i Stueluft, hvilket skyldes den ringe Luftbevægelse i Ekssikkatoren.
- (3) De ikke henfaldne Stænger — Tabellens 3 sidste Linier — har været tørrere end de øvrige, men det vil fremgaa af næste Afsnit, at det ikke er Tørhedsgraden, der er bestemmende for Henfaldet.

## 3. Svækkelsens Aarsag.

Naar en nystøbt Stang ikke falder sammen allerede i Luften under Af-formningen, skyldes det, at den indre Friktion er større end de forskydende Kræfter, som Tyngden fremkalder, og som faar tørt eller meget vaadt Sand til at skride eller flyde ud. Denne indre Friktion skyldes 2 Faktorer:

(1) **Haarrørskræfterne**; disse vokser med Porerne Snæverhed, d.v.s. med Kitmassens Tæthed, altsaa med Mørtlens Kalkindhold og Komprimeringsgrad. Deres Virkning paa en Porevæg er søgt forklaret ved Fig. 16 a—f, i hvilke Diagrammerne foroven viser de aksiale Kræfter i Væggen<sup>1)</sup>.

I en vandmættet Mørtel virker Haarrørskræften kun i Poremundingen, og den holdes i Ligevægt af en lige saa stor Trykkraft i Porevæggen (Fig. 16a). Naar Mørtlen lægges i Vand, forsvinder begge Kræfter (Fig. 16b), saafremt de smaa Luftmængder i Poremundingerne kan undvige.

Er Poren delvis luftfyldt (Fig. 16c), vil der ogsaa virke Haarrørskræfter i de indre Grænseflader mellem Vand og Luft, og da disse Kræfter er lig med de ydre, er de viste to Vandstrengene hver for sig i Ligevægt med Trykkraften i Væggen, og Trykket i Luftblæren er derfor lig med Yderluftens Tryk. Naar Mørtlen lægges i Vand, og de ydre Haarrørskræfter forsvinder (Fig. 16d), vil de indre Haarrørskræfter trække Vandstrengene længere ind, hvorved Blæren sammentrykkes, indtil Lufttrykket er blevet saa stort, at dets aksiale Resultant er blevet lig med Haarrørskræften; Pilene i Luftblæren viser Vandets Tryk paa den. Gaar man ud fra den almindelige Haarrørsteori, vil Lufttrykket i en uendeligt snæver Pore være uendeligt stort, og selv om Teorien næppe er brugbar ved meget snævre Porer, maa det antages, at Lufttrykket kan blive stort nok til at sprænge Porevæggen ved enten Ringspændinger eller aksiale Spændinger.

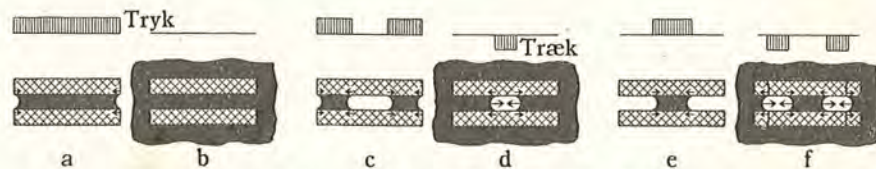


Fig. 16. Aksiale Kræfter i et Haarrørs Vægge.

- a og b: Vandfyldt Rør før og efter Nedlægning i Vand.  
 c - d: Rør med Luftblære før og efter Nedlægning i Vand.  
 e - f: - - Luft i Mundingerne før og efter Nedlægning i Vand.  
 Diagrammerne foroven viser de aksiale Kræfter i Porevæggen.

Er Mørtlen tør i Overfladen (Fig. 16e), kan Luften i Poremundingerne ikke forsvinde, naar Mørtlen lægges i Vand; Luften bliver da indespærret

<sup>1)</sup> Se iøvrigt *Byggematerialer* III, 1942, § 31—32.

(Fig. 16 f) og faar samme Tryk som i Fig. 16 d, og Væggens Trykkraft udfor den indre Vandstreng erstattes med Trækkrafter udfor Blærene. Naar Vandet trænger ind i en saadan Mørtel, hvis Porevægge dannes af lidet sammenhængende Korn, virker Trækkraften i første Øjeblik paa Kornene i Poremundingen og river dem ud af Mørtelmassen, som antydet ved de 4 Brudlinier i Fig. 16 f. Ved Forsøgstængernes Nedlægning i Vand kunde Sidefladernes Nedbrydning paa denne Maade tydeligt iagttages.

(2) **Den Friktion, der findes mellem Kornene, naar Haarrørskræfter mangler**, og som betinger den naturlige Skræntvinkel. Denne Friktion er størst, naar Kornene er tørre. Gøres de fugtige, indfører man de nys nævnte Haarrørskræfter, der virker saa stærkt sammenholdende, at Vandets forringende Virkning paa Friktionen skjules. Mættes Kornene med Vand, forsvinder Haarrørskræfterne, saa den forringede Friktion kan iagttages ved Mørtlens Udflyden. Forringelsen skyldes, at Vandet virker smørende paa Kornene og desuden gør dem lettere. Smøringen vokser med Vandfugernes Tykkelse, altsaa med Mørtlens Vandindhold, som det er kendt fra Synkningsprøven og Rystebordsprøven med Mørtel og Beton og fra Konsistensprøven med Vicats Naal.

De under (1) og (2) nævnte Kræfter er afgørende for ukarbonatiserede Stængers Henfald i Vand:

Naar en Stang lægges i Vand i nystøbt Tilstand uden at være afsuget eller paa anden Maade udtørret, altsaa med vandfyldte Porer (Fig. 16 a og b), holdes de forskydende Kræfter, som Tyngden frembringer, kun i Ligevægt af det ydre Vandtryk og af den under (2) nævnte Friktion, der er større i en fed end i en mager Mørtel med ens Flydeevne, da den første har størst Kitmassetæthed og altsaa de tyndeste Vandfuger. Derfor flyder en mager Mørtel straks og fuldstændigt ud, mens en fed Mørtel nedbrydes langsommere (Tabel 37).

Naar en Stang lægges i Vand i afsuget Tilstand, bliver Resultatet det samme. I den magre Mørtel er en Del af Vandet erstattet med indsuget Luft, som bidrager til Sprængningen (Fig. 16 e og f). Fra den fede Mørtel er der afsuget mindre Vand, og dette er ikke blevet erstattet af Luft — dertil er Porerne for fine — men Mørtlen er blevet tættere og derfor mere modstandsdygtig end i uafsuget Tilstand.

Ved Tørring i Ekssikkator i indtil 66 Timer bliver baade den magre og den fede Mørtel luftholdige (Fig. 16 e), og naar de lægges i Vand (Fig. 16 f), suger alle Porerne Vandet til sig, og da Luften ikke undviger tilsvarende hurtigt, bliver den sammenpresset og sprænger Stangen. Nogen væsentlig hydraulisk Hærdning har ikke kunnet ske i Løbet af de 66 Timer, og de Karbonatskorper, der i nogle Tilfælde var synlige (Fig. 15),

har været for tynde til at hindre Sprængning. At saadanne Skorper overhovedet har kunnet dannes er en Følge af, at Ekssikkatoren var stor i Forhold til Prøvelegemerne; desuden blev den aabnet fra Tid til anden.

Naar Stængerne derimod har været lagret i Stueluft i 22 Timer eller længere, falder de ikke hen, fordi der da har dannet sig en Karbonat-skorpe, der er tilstrækkelig tyk til at holde sammen paa den uhardnede Kærne. En saadan Skorpe dannes hurtigere paa en mager Mørtel end paa en fed, fordi den første er mere porøs. Skorpen paa den magre Forsøgs-mørtel var tyk nok efter 22 Timers Lagring i Stueluft. Den fede Mørtels Skorpe var paa dette Tidspunkt undertiden saa tynd, at den sprængtes af det indtrængende Vand, men efter 66 Timer var Tykkelsen tilstrækkelig; paa dette Tidspunkt fandtes den magre og den fede Mørtels Karbonat-skorpe at være henholdsvis ca. 7,5 og ca. 1,5<sup>mm</sup> tyk.

At Skorpen beskytter Stængerne mod Henfald maa skyldes dens Styrke og ikke dens Vandtæthed, thi der var livlig Luftudvikling fra de luftlagrede Stænger. At Styrken er den bestemmende Faktor fremgaar ogsaa af, at den 3 Døgn gamle Mørtelkage i Fig. 14 sprængtes, mens de yngre Stænger i Fig. 15 ikke sprængtes, thi dette kan ikke forklares, hvis begge Skorper er vandtætte — medmindre man antager, at Vandet er trængt ind i Kagen langs Glaspladen — derimod er det forstaaeligt, at den store Overflade i Fig. 14 lettere sprænges end de smaa i Fig. 15.

Tilbage staar at forklare de 28 Døgn gamle Stængers Opførsel. At den fede Mørtel ikke faldt hen efter 28 Døgns Lagring i vandmættet, CO<sub>2</sub>-fri Luft kan kun skyldes hydraulisk Hærdning. At den magre Mørtel faldt hen efter 28 Døgns Lagring mellem Glasplader — denne Lagring kan side-stilles med den foregaaende — er i Overensstemmelse med, at en saa mager Mørtel kun har ringe Evne til at hærde hydraulisk (Afsnit B).

Om de i Ekssikkator lagrede Stænger er at bemærke, at Ekssikkatoren blev aabnet gentagne Gange i Løbet af de 28 Døgn, hvorved disse Stænger har optaget CO<sub>2</sub>, og efter det nys anførte er dette den eneste Aarsag til den magre Mørtels Hærdning, medens den fede Mørtels Hærdning skyldes saavel Karbonatiseringen som de hydrauliske Processer.

#### IV. SAMMENFATNING

I. DE UNDERSØGTE KALKSORTER er indført i Tabel 1.

II. HYDRAULISK KALK

**A. Kemisk Sammensætning.** De kemiske Analyser viser, at Kalksorternes hydrauliske Egenskaber skyldes et Indhold af opløselig Kiselsyre. Mængden aftager i Ordenen Cheops, Klintebjerg, Faxe. I Faxekalken er Mængden ikke større end i almindelig Luftkalk (Tabel 4). Det hydrauliske Indeks er henholdsvis 0,57—0,33—0,04 (Tabel 2). Analyserne bekræfter, at Cheopskalken sælges ulæsket, Klintebjergkalken delvis læsket og Faxekalken fuldt læsket (Tabel 5).

**B. Findelingsgrad.** Findelingsgraden voksede i Ordenen Cheops, Klintebjerg, Faxe (Fig. 3). Ved Sigtning af Faxekalk danner den Boller, og den lader sig derfor kun rensigte ved langvarig Sigtning med Nagler paa Sigten. Bolledannelsen skyldes, at Kalken optager Luftfugtighed under Sigtningen. Man bør begynde med den fineste Sigte, saa det fineste Pulver — der er Skyld i Bolledannelsen — hurtigst fjernes.

**C. Styrken bedømt efter de tyske Normer.** Ved denne Prøve-maade — enskornet Normalsand, jordfugtig, stærkt stampet Mørtel,  $P_k : P_s = 1 : 3$  — fandtes 28 Døgns Trykstyrken at være: Cheops 24<sup>at</sup>, Klintebjerg 18<sup>at</sup>, Faxe 5<sup>at</sup> (Tabel 13). Ingen af de 3 Kalksorter tilfredsstiller de tyske Krav til »Hydraulisk Kalk«, og kun Cheops og Klintebjerg tilfredsstiller Kravene til »Vandkalk« (Tabel 14 og 15), mens Faxe falder ind under Gruppen »Luftkalk« (Afsnit A, Side 9). De fundne Styrker skyldes utvivlsomt hydraulisk Hærdning og ikke CO<sub>2</sub>-Optagelse.

**D. Styrken af afsugede Mørtelstænger.** Ved denne Prøve-maade — naturligt Sand, plastisk, afsuget Mørtel,  $P_k : P_s = 1 : 3$ , se Fig. 5 — fandtes 28 Døgns Trykstyrken at være: Cheops 28<sup>at</sup>, Klintebjerg 23<sup>at</sup>, Faxe 8<sup>at</sup> (Tabel 17). Faxekalken har opført sig som en almindelig Hydratkalk. Denne Metode giver større Styrker end den tyske, navnlig naar Kalken er uhydraulisk, og det skyldes, at Prøvelegemerne er mere porøse og danner CO<sub>2</sub>-Skorper.

**E. Hærdning mellem Glasplader.**

1. Naar Mørtler med Murekonsistens uden at være afsugede afspæres fra Luften — Lagring mellem Glasplader — hærder Faxekalken slet ikke, mens Klintebjerg og navnlig Cheops opnaar en vis Fasthed (Tabel 19), som dog ikke er saa stor, at Mørtlerne kan bruges i Praksis under

tilsvarende Forhold, saaledes ikke til Bagstøbning af tætte Stenplader opsat paa Betonfacader.

2. Den mangelfulde Hærdning skyldes ikke manglende Lufttilførsel, men manglende Afsugning, thi naar Mørtlerne fremstilles med mindre Vand og desuden afsuges, inden de afspærres fra Luften, mangedobles Styrken (Tabel 20). Kornene er da kun adskilt af saa tynde Vandhinder, at de Krystaller, som udskilles ved de hydrauliske Hærdningsprocesser, kan bygge Bro fra Korn til Korn; selv Faxekalken viser sig noget hydraulisk under disse Forhold. Styrken bliver dog ikke nær saa stor, som naar de samme Mørtler hærdner i Luften og kan optage  $\text{CO}_2$  (Tabel 17). Se ogsaa nedenfor under F 1.

3. De under Punkt 2 nævnte Forhold viser, at Kitmassetætheden spiller en endnu større Rolle for disse Mørtler end for Cementmørtel.

4. Den manglende Afsugning straks efter Udstøbningen kan ikke erstattes af en Udtørring paa et senere Tidspunkt (Tabel 21).

#### F. Hærdning mellem Glasplade og Teglsten.

1. Naar Mørtler med Murekonsistens stemples ned i en Form, hvis Bund dannes af en sugende Teglsten (Fig. 8), og som straks efter Fyldningen dækkes med en Glasplade, der tilkittes, bliver Styrken mange Gange større end i Tilfælde E 1 (Tabel 23). Afsugningen begunstiger altsaa i høj Grad den hydrauliske Hærdning, som nævnt under E 2. Optagelse af  $\text{CO}_2$  gennem Stenen sker næppe, men alligevel har de to hydrauliske Mørtlers Trykstyrke opnaaet en lignende Størrelse som ved fri Lufttilgang (Tabel 17).

2. Vandets Bortsugningshastighed aftager, naar Kalkens Findelingsgrad vokser; den er størst hos Cheopskalken og mindst hos Faxekalken. En stor Del af Vandet i denne udsuges først, efter at Formen er fyldt og Stampningen ophørt, og Mørtlen trækker sig da bort fra Formsiderne eller faar indvendige Svindhulheder eller gennemgaaende Tværvæner. Kun ca. 1% Vand bliver tilbage i Mørtler 1 : 3.

3. Den sugende Teglsten forbinder sig mere eller mindre stærkt med Mørtlen. Adhæsionen var meget stor hos Cheopskalken, stor hos Klintebjergkalken og meget lille hos Faxekalken (Tabel 22).

4. Naar Teglstenen ikke danner Bund i Formen, men paalægges som Laag efter Formens Fyldning (Fig. 9), opstaar der store Svindhulheder i Stængerne (Fig. 10).

**G. Mørtlernes Svækkelse ved Gennemvædning.** Naar Mørtler af Cheopskalk og Klintebjergkalk efter 28 Døgns Lagring i fugtig Luft lagdes i Vand, bevarede de deres Styrke, mens de tre uhydrauliske Mørtler svækkedes stærkt (Tabel 26); Svækkelsen afhænger af Karbonatiseringsgraden (Afsnit III F).

**H. Kalksorternes praktiske Anvendelighed.** Se Side 32.

### III. HYDRATKALK

#### A. Luftkalks Hærdning.

1. Ved hurtig Afsugning bliver Mørtlen straks fast, fordi Kornene suges sammen. Derved forøges ogsaa den endelige Styrke.

2. Hvis Vandet ikke afsuges, men bortgaar mere eller mindre langsomt ved Fordampning i  $\text{CO}_2$ -fri Luft, sker der ingen væsentlig Sammensugning, og de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -Krystaller, der udfældes, har ringe sammenkittende Evne. En saadan Udtørring er skadelig for den endelige Styrke. Se nedenfor under E.

3. Den egentlige Hærdning skyldes  $\text{CO}_2$ -Optagelse, der kun sker, naar det meste af Mørtlens Vand er forsvundet. En nystøbt Mørtelstang, der lagres i vandmættet Luft, optager ikke  $\text{CO}_2$ , selv om Luften bestaar af ren  $\text{CO}_2$  (Tabel 27). Hvis Stangen derimod lagres i Stueluft, kan der i Løbet af mindre end et Døgn dannes en Karbonatskorpe, der er saa tyk, at Stangen kan lægges i Vand uden at flyde ud (Fig. 15). Om der kræves kortere eller længere Tid afhænger af Luftens Tørhed og  $\text{CO}_2$ -Indhold. Efter 66 Timer i Stueluft kan Skorpen paa en fed og en mager Mørtel være henholdsvis 1,5 og 7,5<sup>mm</sup> tyk (Side 52).

**B. Hydratkalks hydrauliske Egenskaber.** Den almindelige Luftkalk, der efter Tørlækning og Maling sælges under Navn af Sækkealk eller Hydratkalk, er i Modsætning til Kulekalk noget hydraulisk, fordi der ved Brændingen dannes smaa Mængder cementagtige Stoffer, der ikke læsker sig, og som derfor i Kulekalken findes som uvirksomme Sandskorn, mens de ved Maling bliver hydraulisk virksomme.

**C. Kalkmørtels Vandtab ved Afsugning** vokser med Mørtlens Magerhed (Tabel 31).

#### D. Afsugningstidens Indflydelse paa Mørtelstyrken.

1. Styrken straks efter Afsugningen vokser med Afsugningstiden (Tabel 32). Styrkestigningen skyldes, at den indre Friktion vokser, efterhaanden som Vandhinderne mellem Kornene bliver tyndere.

Den Afsugning med Træpapir, som Laboratoriet bruger, er mindre kraftig end Afsugning med en tør Teglsten.

2. Styrken efter 28 Døgns Hærdning fremgaar af Tabel 34. For Mørtler med 8%  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  virker en Forøgelse af Afsugningstiden udover 3 Timer ikke forstærkende, og Styrken bliver noget nær ens, enten den oprindelige Flydeevne har været 1,2 eller 2,0; Mørtlen med mindst Flydeevne bliver dog den stærkeste.

**E. Udtørrings Indflydelse paa Mørtelstyrken.** Naar en uhardnet Mørtel tørrer uden at faa tilført  $\text{CO}_2$ , udfældes der  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , hvorved den faar en vis Styrke, der dog er langt ringere end den normale. Haarørskræfternes Betydning for Styrken er søgt forklaret ved Fig. 13, men synes at være uvæsentlig.

**F. Mørtlernes Svækkelse ved Gennemvædning.** Naar Mørtler af Hydratkalk lægges i Vand straks efter Fremstillingen, altsaa med vandfyldte Porer, flyder de ud som vaadt Sand (Fig. 15) — i alt Fald hvis de udsættes for Rystelser — fordi de Haarrørskræfter, der sammenholder dem i Luften, forsvinder i Vandet (Fig. 16 a—b). Jo tykkere Vandfugerne er ved Nedlægningen — d.v.s. jo mindre Kitmassetætheden er — des hurtigere sker Udflydningen. Naar en fed Mørtel afsuges, bliver den vandfattigere, uden at Vandet i væsentlig Grad erstattes af Luft; derved forøges Kitmassetætheden, saa Henfaldet sker lidt langsommere (Tabel 37). Naar en mager Mørtel afsuges, gaar der Luft ind i de groveste Porer, hvorved Henfaldet begunstiges. Er der Luft i Mørtlen, vil den nemlig komme under Tryk af Haarrørskræfterne, naar Mørtlen lægges i Vand; derved sker der en Sprængning (Fig. 16 c—d).

Naar ældre Mørtler ikke falder hen, skyldes det enten hydraulisk Hærdning eller Dannelse af en Karbonatskorpe (Fig. 14). Hydraulisk Hærdning er Skyld i, at Hydratkalk ikke falder hen efter 28 Døgns Lagring i vandmættet, CO<sub>2</sub>-fri Luft.

At en Karbonatskorpe beskytter mod Henfald forklares ved, at Luftblærens Tryk ikke kan sprænge den.

## SUMMARY

In *The Laboratory for Building Research at The Technical University of Denmark* a series of tests were carried out on lime mortars made with hydraulic lime and with ordinary lime.

Danish hydraulic lime is only slightly hydraulic and is therefore unsuitable for hydraulic structures. It is only used for construction of brickwork in buildings where a quicker hardening or a greater strength is required than can be attained with ordinary lime.

If in such brickwork it is preferred to a lime-cement mortar, it is principally because this mortar often produces an efflorescence of white salts, and besides can give certain light stones — principally marble — a yellowish or brownish colouring. For the latter reason a hydraulic lime is sometimes used when thin marble slabs have to be fastened on concrete facades. But mortar of this kind enclosed between a dense marble slab and a dense concrete wall has no opportunity to dry out or to absorb CO<sub>2</sub>, and as it, as mentioned, is very slightly hydraulic, it will stay wet and soft for years and cannot hold the slabs in position.

To study these facts we have tested the strength of 3 hydraulic limes in different ways:

(1) According to the German standard methods for hydraulic lime, i. e. with a highly compressed, slightly moist mortar made with a standard sand containing uniform sized grains. The test specimens were cured in moist air.

(2) According to our own method for ordinary lime mortars, i. e. with a wetter mortar made with common mortar sand and immediately after moulding exposed to suction from blotting paper. The test specimens were cured in moist air. These conditions approximately equal the conditions existing in bricklaying or plastering.

(3) With mortars made with common mortar sand and common consistence as used in bricklaying. The test specimens were cured in a completely closed mould, the bottom and cover of which were glass plates, i. e. approximately as when a mortar is used between a non-porous stone slab and a non-porous concrete wall.

(4) As (3), but with a brick instead of one of the glass plates, i. e. approximately as when a mortar is used between a non-porous stone slab and a brick wall.

In some of the tests two kinds of ordinary lime were tested for comparison, and as questions came up regarding the effect of the suction by blotting paper etc., a series of supplementary tests were carried out with these two limes; they are contained in Section III.

#### I. THE KINDS OF LIME EXAMINED

The following kinds of *hydraulic lime* were examined:

*Mariager Cheops Kalk*, which is quarried at Mariager in northeastern Jutland. Brownish white after burning.

*Klintebjerg Kalk*, which is quarried at Klintebjerg in northwestern Seeland. Light brown after burning.

*Faxe Kalk*, which is quarried at Faxe in southeastern Seeland and sold as hydraulic, but which the tests showed to be ordinary lime. Yellow white after burning.

Of *ordinary limes* two kinds of hydrated and finely ground sack lime — so called Hydrat Kalk — were tested; one was delivered by *A/S Faxe Kalkbrud*, the other by *A/S Ny Kalkbrønderi*.

#### II. HYDRAULIC LIMES

**A. Chemical Composition.** The chemical analysis shows that the hydraulic properties of the limes are due to a content of soluble silica. The amount decreases in the order Cheops, Klintebjerg, Faxe. In Faxe Kalk the amount is not greater than in ordinary non-hydraulic lime

(Table 4). The hydraulic index  $\frac{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3}{\text{CaO} + \text{MgO}}$  is 0.57 — 0.33 —

0.04 respectively (Table 2). The analysis shows that Cheops Kalk is sold unslaked, Klintebjerg Kalk partly slaked and Faxe Kalk fully slaked (Table 5).

**B. Fineness.** The fineness increased in the order Cheops, Klintebjerg, Faxe (Fig. 3). On testing sieves Faxe Kalk forms lumps and can only be fully separated by lengthy sieving with nails on the sieve. The forming of lumps is caused by moisture absorbed from the air during the sieving. It is recommendable to begin with the finest sieve, so that the finest powder — which causes the forming of lumps — is eliminated first.

**C. Strength judged using the German Standard Method.** Using this method of testing — uniformly grained, standard sand; slightly moist, strongly tamped mortar;  $P_k : P_s =$  weight of lime : weight of sand = 1 : 3 — the 28 days compressive strength was found to be: Cheops 24 kg/cm<sup>2</sup>, Klintebjerg 18 kg/cm<sup>2</sup>, Faxe 5 kg/cm<sup>2</sup> (Table 13). None of the three kinds of lime fullfills the German requirements for "Hydraulic Lime" and only Cheops and Klintebjerg fullfill the requirements for "Water Lime" (Table 14 and 15), while Faxe comes in the group "Air-

hardening Lime" (Section A, p. 9). The strengths found are undoubtedly due to hydraulic processes and not to CO<sub>2</sub> absorption.

**D. Strength of Mortar Prisms exposed to Suction from Blotting Paper.** Using this method of testing — natural sand; plastic mortar;  $P_k : P_s = 1 : 3$ , see Fig. 5 — the 28 day strength was found to be: Cheops 28 kg/cm<sup>2</sup>, Klintebjerg 23 kg/cm<sup>2</sup>, Faxe 8 kg/cm<sup>2</sup> (Table 17). The Faxe Kalk reacts as an ordinary non-hydraulic lime. This method gives greater strengths than the German method, especially when the lime is non-hydraulic, because the test specimens are more porous and form carbonate crusts.

#### E. Curing between Glass Plates.

1. When mortars with bricklaying consistence are shut out from the air without being exposed to suction — curing between glass plates — the Faxe Kalk does not harden at all, while Klintebjerg and especially Cheops obtain a certain degree of cohesion (Table 19), which however is not so great that the mortars can be used in practical work under similar conditions, thus not to fasten non-porous stone slabs on concrete facades.

2. The deficient hardening is not due to lack of air but to lack of suction, because when the mortars are made with less water, and in addition are exposed to suction from blotting paper before they are shut out from the air, the strength is doubled many times (Table 20). The grains are then only kept apart by such thin films of water that the crystals which are precipitated by the hydraulic processes can form bridges from grain to grain; even Faxe Kalk seems somewhat hydraulic under these conditions. The strength will however never be nearly as great as when the same mortars are cured in air and can absorb CO<sub>2</sub> (Table 17). See also below under F 1.

3. The under item 2 mentioned circumstances show that the water-lime ratio is of greater importance for these mortars than for cement mortars.

4. The absence of suction immediately after moulding cannot be replaced by drying out at a later period (Table 21).

#### F. Curing between a Glass Plate and a Brick.

1. When mortars with bricklaying consistence are filled into a mould, the bottom of which consists of an absorbent brick (Fig. 8), and which, when filled, is immediately covered with a glass plate cemented to the mould, the strength becomes many times greater than in the case E 1 (Table 23). Suction therefore favours the hydraulic hardening immensely as mentioned under E 2. Absorption of CO<sub>2</sub> through the brick is hardly possible, and yet the compressive strengths of the two hydraulic mortars are of about the same size as when air is freely admissable (Table 17).

2. The speed at which the water is sucked away decreases when the

fineness of the lime increases; it is highest for Cheops Kalk and lowest for Faxø Kalk. A large part of the water in the latter is not sucked away until after the mould has been filled and the tamping finished, and the mortar then draws away from the sides of the mould, or internal shrinkage voids or pervading transversal cracks appear. Only about 1% water is left in mortars 1:3.

3. The absorbent brick adheres more or less firmly to the mortar. The adhesion was very great for Cheops Kalk, great for Klintebjerg Kalk and slight for Faxø Kalk (Table 22).

4. When the brick does not form the bottom of the mould, but is laid on top as a lid after the mould has been filled (Fig. 9), large shrinkage voids appear in the test specimens (Fig. 10).

**G. Weakening of the Mortars caused by Soaking.** When mortars of Cheops and Klintebjerg Kalk after 28 days curing in moist air were put in water, they maintained their strength, while the three non-hydraulic mortars were greatly weakened (Table 26). The weakening depends on the degree of carbonating (Section III F).

#### H. The practical Use of the Hydraulic Limes.

Faxø Kalk does not differ from ordinary lime and should only be used under the same conditions as this, i. e. not for mortars of which hydraulic qualities are required.

Cheops and Klintebjerg Kalk are hydraulic, but mortars made with them do not obtain any appreciable strength, if they are moulded in water, or if they in a water filled condition — with bricklaying consistence — are enclosed in an airtight mould that prevents the water from evaporating. They cannot therefore be used in underwater structures, but only where the mortar is in contact with air and with absorbent materials. Thus they cannot be used to fasten a non-porous stone slab on a concrete building, nor are they suitable for use between clinker or other non-absorbent materials.

A substantial hardening only takes place, when the mortars are used between absorbent surfaces. When the water is sucked away, the grains of mortar are packed so closely, that the crystals precipitated by the hydraulic processes are able to form bridges between them. Under these conditions especially Cheops Kalk, but also Klintebjerg Kalk, obtains much greater strength than ordinary lime, whether supplied with CO<sub>2</sub> or not.

These two limes are therefore suitable for bricklaying or plastering when absorbent bricks are used.

If the mortars are used to fasten non-porous stone slabs on a brick wall, they can attain just as great compressive strength as when they are cured in air. Used in this way they will prevent the slabs from being

forced inwards, but hardly in any essential degree from being forced outwards or from a displacement sideways, because their adhesion to the non-porous stone slabs undoubtedly will be slight, as also will be their tensile strength. A cement-lime mortar should usually be preferred.

The lime must not contain coarse, unslaked grains (Fig. 11).

Whether the mortars were frost proof was not tested. If the mortars are used for bricklaying or pointing or for vertical plastering, there is no reason to doubt their ability to withstand frost, but if they are to be used as horizontal covering of walls, one should test beforehand, whether with the chosen lime and ratio of mixture one can obtain a mortar, that is sufficiently watertight and frost proof (Fig. 12).

### III. HYDRATED LIMES

#### A. The Hardening of Hydrated Lime.

1. When the speed of suction is high the mortar quickly becomes coherent, because the grains are drawn together. The ultimate strength is also increased.

2. If the water is not sucked away, but evaporates more or less slowly in a CO<sub>2</sub> free atmosphere, the grains are not drawn much together, and the Ca(OH)<sub>2</sub> crystals which are precipitated only have a slight binding ability. Such drying out has a detrimental effect on the ultimate strength. See below under E.

3. The real hardening is due to CO<sub>2</sub> absorption, which only takes place when most of the mortars water has gone. A newly moulded mortar specimen, cured in moisture saturated air does not absorb CO<sub>2</sub>, even if the atmosphere consists of pure CO<sub>2</sub> (Table 27). If on the contrary the specimen is cured in ordinary air, in less than a day a carbonate crust may be formed that is so thick, that the specimen does not fall apart when put in water (Fig. 15). The necessary time depends on the humidity of the air and its CO<sub>2</sub> content. After 66 hours in ordinary air the crust on a fat and on a lean mortar can be 1.5 and 7.5 mm thick respectively (p. 52).

**B. The hydraulic Qualities of Hydrated Limes.** The hydrated lime, which after dry-slaking and grinding is sold as "sack lime" is — in contrast to the lime, which is slaked with more water and not ground — somewhat hydraulic. Small quantities of cementlike materials are formed during the burning and cannot be slaked and therefore in unground lime putty appear as non-participant sand grains, while they after grinding become hydraulically active.

**C. Lime Mortars Loss of Water by Suction** increases with the mortars leanness (Table 31).



**D. Influence of the Duration of Suction.**

1. The strength immediately after suction increases with the length of time under suction (Table 32). The strength increases because the internal friction increases as the water films between the grains become thinner.

The suction from blotting paper as used in the laboratory is not so strong as the suction from a dry brick.

2. The strength after 28 days hardening is given in Table 34. For mortars with 8% Ca(OH)<sub>2</sub> more than 3 hours suction does not increase the strength, and the strengths are almost equal whether the original flow was 20 or 100%; the stiffest mortar will however attain the greatest strength.

**E. The Influence of Drying on Mortar Strengths.** When a fresh mortar dries out without absorbing CO<sub>2</sub>, Ca(OH)<sub>2</sub> is precipitated, whereby the mortar obtains a certain strength, which however is much lower than normal. An attempt to explain the influence of the capillary forces on the strength is given in Fig. 13, but these forces seem inessential.

**F. Weakening of the Mortars through Soaking.** When lime mortars are put in water immediately after moulding, that is with waterfilled pores, they fall apart like wet sand (Fig. 15), at least if they are exposed to slight vibrations, because the capillary forces that bind them together in air disappear in water (Fig. 16 a—b). The thicker the water joints are when the specimen is put in water, that is the greater the water-lime ratio is, the sooner the mortar falls apart. When a fat mortar is exposed to suction from blotting paper, it loses water, but the water is not in any essential degree replaced by air; therefore the density increases and the mortar falls apart more slowly (Table 37). When a lean mortar is exposed to suction, air enters the coarse pores and this favours the falling apart; if there is air in the mortar, the air will come under pressure from the capillary forces when the mortar is put in water; this will cause the mortar to burst (Fig. 16 c—d).

When older mortars do not fall apart, it is due either to hydraulic hardening or to the formation of a carbonate crust (Fig. 14). It is due to hydraulic hardening that a mortar does not fall apart after 28 days curing in CO<sub>2</sub> free air saturated with water.

That a carbonate crust can keep a mortar from falling apart may be explained by the assumption that the pressure of the airbubbles cannot break the crust.

INGENIØRVIDENSKABELIGE SKRIFTER

A.

UDGIVET AF

DANMARKS NATURVIDENSKABELIGE SAMFUND

VED UDVALGET FOR INGENIØRVIDENSKABELIG FORSKNING

40. E. Suenson: Die Einwirkung von Salzsäure auf Ziegelsteinfassaden. 1935. (Pris: Kr. 5,00).
41. Jul. Hartmann: The Plate-Jet. 1935. (Pris: Kr. 15,00).
42. J. O. V. Irminger and Chr. Nøkkentved: Wind-Pressure on Buildings. Experimental Researches. (Second series). 1936. (Pris: Kr. 10,00).
43. E. K. Henriksen: Zerspanung und Eigenspannungen. Erste Versuchsreihe. 1937. (Pris: Kr. 3,00).
44. Paul Bergsøe: The Metallurgy and Technology of Gold and Platinum among the Pre-Columbian Indians. 1937. (Pris Kr. 2,00).
45. M. Juul Hvorslev: Über die Festigkeitseigenschaften gestörter bindiger Böden. With an Abstract in English. 1937. (Pris: Kr. 6,00).
46. Paul Bergsøe: The gilding Process and the Metallurgy of Copper and Lead among the Pre-Columbian Indians. 1938. (Pris: Kr. 2,00).
47. P. H. Bendtsen: Urban and Suburban Railways. Studies of transport problems and network design. 1938. (Pris: Kr. 8,00).

B.

UDGIVET AF

DANSK INGENIØRFORENING

3. E. Suenson: Cementrørs Vandtæthed. With an English Summary. 1930. (Pris: Kr. 2,50).
15. E. Suenson: Cementrørs Syrefasthed. Beretning afgivet af et af Dansk Ingeniørforening nedsat Udvalg for Undersøgelse af Cementrørs Vandtæthed og Syrefasthed. Med Resumé paa Engelsk, Fransk og Tysk. 1935. (Pris: Kr. 7,50).
16. Afsluttende Beretning fra Udvalget angaaende Isolatorbindinger. Mit einem deutschen Resumé. 1935. (Pris: Kr. 1,50).
17. P. E. Raaschou: Om Kulforekomsterne paa Færøerne. With an abstract in English. 1937. (Pris: Kr. 2,00).
18. W. & N. Engel: Die Schmelzspiegelreaktion. Med dansk Efterskrift. 1939. (Pris: Kr. 10,00).
19. J. A. Tork: Jernbanetariffer og Omkostningsberegning. English Summary. 1939. (Pris: Kr. 3,00).
20. Forchhammer: Byplan. (Pris. Kr. 12,00).

UDGIVET AF

AKADEMIET FOR DE TEKNISKE VIDENSKABER

OG DANSK INGENIØRFORENING

1939.

1. A. Howard Grøn: Raastoføkonomi og Dansk Naaletrædyrkning (Pris Kr. 1,00).
2. H. Baggesgaard Rasmussen: Medicinfabrikation i Danmark (Pris Kr. 1,00).
3. A. H. M. Andreassen: The fineness of solids and the technological importance of fineness (Pris Kr. 6,00).
4. Jul. Hartmann: The acoustic air-jet generator (Pris Kr. 15,00).

## 1940.

1. *H. P. Christensen*: Om Betydningen af et dansk Staal- og Valseværk og de tekniske og økonomiske Muligheder herfor (Pris Kr. 2,00).
2. *Søren Berg*: Studies on Particle-size Distribution (Pris Kr. 9,00).
3. *E. Suenson*: Staalsortens Indflydelse paa Jærnbetonbjælkers Styrke og Deformationer (Pris Kr. 4,00).
4. *I. A. Rimstad*: Zur Bemessung des doppelten Spundwandbauwerkes (Pris Kr. 7,50).
5. *P. O. Pedersen*: Lydtekniske Undersøgelser i Aarene 1935—40 i Den polytekniske Lærestalts Laboratorium for Telegrafi og Telefoni (Pris Kr. 6,00).

## 1941.

1. *K. A. Bondorff*: Gødningsproblemet for dansk Landbrug (Pris Kr. 2,00).
2. *Holger Møllgaard*: Om Folkeernæring (Pris Kr. 3,00).
3. *Kj. Prytz*: The Padding Condenser (Pris Kr. 6,00).

## 1942.

1. *Jul. Hartmann* in cooperation with *K. Agersted* and *Freimut Lazarus*: Atomization (Pris Kr. 4,00).
2. *K. Erik Jensen*: Om Spildevandsrensning særlig med Henblik paa Danmark i de senere Aar. Mit einer Zusammenfassung (Pris Kr. 3,00).
3. *Chr. Ostfeldt*: Forsøg med Pæle ved Aggersundbroen og ved Langenæstunnelen. Avec un résumé (Pris Kr. 9,00).
4. *Walter Engel & Niels Engel*: Die praktische Anwendung des Schmelzspiegel Verfahrens zur Eisen- und Stahlerzeugung (Pris Kr. 6,00).

## 1943.

1. *E. Bramslev*: Die Absorptionsgeschwindigkeit des Wasserdampfes in Calciumchloridlösungen (Pris Kr. 3,00).
2. *Anker Engelund*: Broen over Ulvsund, Dronning Alexandrines Bro. With an english summary (Pris Kr. 6,00).
3. *Fr. Jahnsen*: Indhaling af uarmerede Telefonkabler i Cementrørledninger. With an english summary (Pris Kr. 7,50).
4. *H. Stevenius-Nielsen*: On the modern Chemistry of the Manufacture of Superphosphate (Pris Kr. 2,00).
5. *H. Stevenius-Nielsen*: Some Recent Developments in the Chemistry of the Manufacture of Sulphuric Acid (The Nitration Process) (Pris Kr. 3,00).

## 1944.

1. *E. Suenson* og *H. Dührkop*: Forsøg med Murværk af Molersten og almindelige Teglsten (Pris Kr. 4,50).
2. *Jul. Hartmann* og *L. Logstrup Jensen*: The large capacity Jet-wave commutator. I (Pris Kr. 12,00).
3. *N. J. Nielsen*: Skævvinklede Plader (Pris Kr. 4,50).
4. *Kj. Prytz*: The Padding Condenser (Pris Kr. 1,50).
5. *Fritz Ingerslev* and *A. Kjerbye Nielsen*: On the transmission of sound through small apertures and narrow slits (Pris Kr. 4,50).

## 1945.

1. *Per Brüel*: Rørmetodens Anvendelse i Akustiken (Pris Kr. 10,00).
2. *V. Thorsen*: Bidrag til Koblingssvingningernes Teori. (Pris Kr. 4,50).
3. *T. Grenness*: Om syntetisk Gummi m. m. (Pris Kr. 3,00).
4. *E. Suenson*: Dansk hydraulisk Kalk og Hydratkalk (Pris Kr. 4,50).