

Cementrørs vandtæthed

E. Suenson

Tidsskrifter

Ingeniørvidenskabelige Skrifter B. nr. 03, 1930

1930

Tekn. 5820

40 Tekn 5830 LG

INGENIØRVIDENSKABELIGE SKRIFTER

B Nr. 3

CEMENTRØRS VANDTÆTHED

AF

E. SUENSON

Professor, M. Ing. F.

WITH AN ENGLISH SUMMARY



DANSK INGENIØRFORENING

I KOMMISSION HOS G. E. C. GAD · VIMMELSKAFTET 32

KØBENHAVN 1930

INDHOLD

	Side
1. Forsøgsrørene	5
2. Rumvægtsbestemmelse	6
3. Vandtæthedsbestemmelse	8
4. Teori for Strømning gennem en porøs Væg	10
5. Strømstyrkens Variation ved Forsøgets Begyndelse	16
6. Rørvæggens Luftindhold	17
7. Blandingsforholdets, Stampningens, Lagringsmaadens og Alderens Indflydelse paa Vandtætheden	18
8. Støbevandsprocentens Indflydelse paa Vandtætheden	21
9. Imprægnering med Vandglas	26
10. Støbning med Sæbevand	28
11. Rørenes Filtervirkning	31
12. Langvarige Forsøg	33
13. Selvtætningens Aarsager	36
14. Trykvariationsforsøg	37
15. Forsøg med Cementrør Nr. 10 og 78	38
16. Forsøg med Rør af Moler og med Ledningsvand	42
17. Forsøg med Rør af Moler og med destilleret Vand	47
18. Forsøg med Lerrør og destilleret Vand	49
19. Forsøg med Berkefeld Filter	51
20. Paavisning af Vandbakterier	54
21. Trykvariationers Eftervirkning	57
22. Aarsagen til Q^2 Kurvernes Krumning	61
23. Forsøg med surt Vand	62
24. Forsøg med Benzin	65
25. Forsøg med Metylalkohol	67
26. Oversigt	69

Ved Udarbejdelsen af Dansk Ingeniørforenings Normer for Cementvarer var en Orientering med Hensyn til de Faktorer, der er bestemmende for Cementrørs Vandtæthed ønskelig, og der paabegyndtes derfor i *Laboratoriet for Byggeteknik* nogle Forsøg desangaaende. Senere er der af Handelsministeriet, A/S De danske Cementfabriker, Foreningen Dansk Cementvareindustri og Dansk Ingeniørforening stillet et Beløb til Raadighed for Videreførelse af disse Forsøg og for Optagelse af nye vedrørende Cementrørs Syrefasthed.

De Forsøg, der omhandles i den foreliggende Beretning, er paa nogle faa Undtagelser nær kun Vandtæthedsforsøg.

1. Forsøgsrørene.

Forsøgsrørene var smaa Rør, 9 cm lange med 5 cm ydre Diameter og 1 cm Vægtykkelse støbte i Laboratoriet i en Form, hvis Bund og Sider var af Messing, mens Kærnen var en Trædorn omgivet af Messingblik. Stampningen udførtes med en Træstøder.

Cementen var Portlandcement, Sandet var fremstillet af Bakkegrus fra Hedehusene ved at lade dette passere et Sold med cirkulære Huller, 5 mm i Diameter.

Mørtelens Blandingsforhold efter Vægt var, naar intet andet er bemærket:

$P_c : P_s$	1 : 2	1 : 3	1 : 4	1 : 5
Vandtilsætning	9,2	8,8	8,0	8,0 % af $P_c + P_s$.

Vandtilsætningen var saa ringe, at Mørtelen ikke var vaad paa Overfladen efter Stampningen.

Saa snart et Rør var støbt, blev Kærnen forsigtigt skruet op, hvorefter Røret med Yderformen om henstilledes i vandmættet Luft. Efter et Døgns Forløb fjernedes Yderformen, hvorefter Rørene blev lagret 27 Døgn i

Vand eller 27 Døgn i vandmættet Luft. Ved Udtagelsen af denne var Rørene mørkegraa, og der sad undertiden Draaber paa baade Inder- og Ydersiden. De vandlagrede Rør var noget lysere og havde Udblomsstringer af Kalciumkarbonat paa Inder- og Yderside og paa den opadvendende Endeflade.

De 28 Døgn gamle Rør stilledes derefter frit i Laboratoriets Luft indtil Prøvningen. Ved denne var Rørenes Alder som Regel mange Maaneder, undertiden flere Aar.

Ved luftlagrede Rør forstaas i det følgende Rør, der i 28 Døgn har staaet i fugtig Luft, derefter i Laboratorieluft. Ved vandlagrede Rør forstaas Rør, der i 1 Døgn har staaet i fugtig Luft, 27 Døgn i Vand og derefter i Laboratorieluft.

2. Rumvægtsbestemmelse.

Da Rørenes Tæthed i høj Grad er afhængig af Stampningens Intensitet, blev denne kontrolleret ved en Rumvægtsbestemmelse, der udførtes med

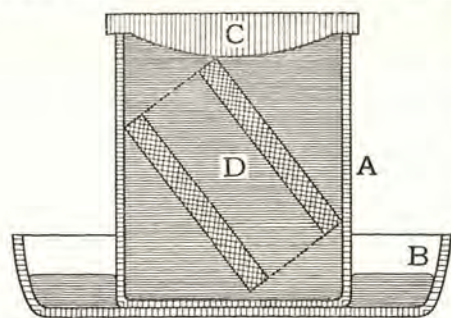


Fig. 1. Rumfangsbestemmelse.

Kvægsølv paa følgende Maade (Fig. 1). Glaskarret *A* stilles i Skaalen *B* og fyldes til Randen med Kvægsølv. En tyk, plan Glas skive *C*, paa hvilken er fastkittet en Glaslinse, lægges som Laag paa *A*, hvorved denne kommer til at indeholde en bestemt defineret Kvægsølv mængde, medens Overskuddet samler sig i *B*, hvorfra det fjernes. *A* stilles atter i *B*, og Prøve-

legemet *D* trykkes ned i Kvægsølvet ved Hjælp af Glaslinsen, indtil der ikke kan uddrives mere Kvægsølv. Det uddrevne Kvægsølv vejes, og Vægten divideret med Kvægsølvets Vægtfylde er da lig Prøvelegemets Volumen, der divideret ind i dets Vægt giver Rumvægten.

Metodens Nøjagtighed undersøgtes ved Hjælp af en Staalkugle vejende 534,2 g. Ved 10 paa hinanden følgende Rumvægtsbestemmelser fandtes Værdierne i Tabel 1.

Tabel 1.

	Maks.	Min.	Middel
Fortrængt Kvægsølv i g	930,6	929,5	929,9
Rumfang i cm ³	68,43	68,35	68,38
Rumvægt i g/cm ³	7,816	7,807	7,813

Den fundne største og mindste Værdi af Rumfanget afviger altsaa kun 0,08 cm³ fra hinanden.

Har Prøvelegemet Overfladeporer, i hvilke Kvægsølvet trænger ind, indgaar disse Porer ikke i det maalte Rumfang, og hvis Porerne af sig selv tømmes, naar Legemet tages op, kan man ikke bestemme disse Poreres Rumfang. Bliver Kvægsølvet derimod siddende i Porerne, kan Rumfanget findes ved følgende Fremgangsmaade. Naar Legemet tages op af Kvægsølvet, fejes de smaa Kvægsølvkugler, der eventuelt sidder paa Overfladen, ned i *A*, hvorefter Legemet rystes over *B*, for at det i Legemet eventuelt indtrængte Kvægsølv helt eller delvis kan falde ud. Derpaa vejes Legemet. Er Vægten steget fra P_0 til P_1 g, har Legemet i sine Porer optaget $P_1 - P_0$ g Kvægsølv, som burde have været trængt ud af *A* og over i *B*, og vejer det i *B* værende Kvægsølv K_1 g, er Legemets Rumfang:

$$R_1 = \frac{K_1 + P_1 - P_0}{13,6} \text{ cm}^3.$$

Hvis man til Kontrol gentager Forsøget og denne Gang finder Vægtene K_2 og P_2 , haves:

$$R_2 = \frac{K_2 + P_2 - P_1}{13,6}.$$

Foretages ialt n Bestemmelser, bliver Middelværdien:

$$R = \frac{\sum K + P_n - P_0}{n \cdot 13,6}.$$

Det er altsaa tilstrækkeligt at veje Legemet før den første og efter den sidste Neddypning. For at undgaa Kvægsølvindsugning bør Legemet ved Neddypningen ikke være varmere end Kvægsølvet.

Ved de foreliggende Forsøg oversteg $P_n - P_0$ i intet Tilfælde 2,1 g, og Fejlen ved ikke at korrigere for Indsugningen vilde i intet Tilfælde have oversteg 1,7 ‰.

For 16 Rør (Nr. 18-33) fremstillede samtidig og 58 Døgn gamle fandtes følgende Rumvægte:

	1 C : 2 S	1 C : 3 S
Luftlagring	2,274	2,255 g/cm ³ ,
Vandlagring	2,265	2,222 —

Rumvægten ses at aftage med Cementindholdet og at blive større ved Luftlagring end ved Vandlagring. Tilsvarende Resultater fandtes for alle de øvrige Rør.

Lignende Forsøg med Mørteltærninger viser, at disses Rumvægt bliver størst ved Vandlagring, og Aarsagen til denne Uoverensstemmelse er følgende. Mørtelen har Tilbøjelighed til at svinde ved Luftlagring og svulme ved Vandlagring, og denne Tilbøjelighed kan den nogenlunde frit følge,

naar den er i Rørform. De luftlagrede Rør faar derfor et mindre Rumfang end de vandlagrede, og disses Vægtforøgelse ved Vandoptagelsen er procentvis mindre end Rumfangsforøgelsen. Eksempelvis fandtes for 8 ens Rør 1:4, af hvilke de fire luftlagredes, de fire vandlagredes:

1 Døgn i fugtig Luft og derefter:	Vægt g	Rumfang cm ³	Rumvægt g/cm ³
27 Døgn i fugt. Luft + 49 Døgn i Lab. . . .	241,6	111,0	2,177
27 - - Vand + 49 - - - . . .	244,0	113,0	2,160

Har Mørtelen derimod Tærningeform, vil Overfladens Svind hæmmes af den vaadere Kærne; i det ydre Lag opstaar da blivende Forlængelser, og naar Kærnen senere forsøger at svinde, er den omgivet af en fast Skal, som hindrer det.

I massive Mørtel- og Betonlegemer er der følgelig meget store Egen-spændinger, og Lagringsmaadens Indflydelse paa Styrken er derfor ikke blot af kemisk, men i høj Grad af mekanisk Natur.

3. Vandtæthedsbestemmelse.

Forsøgsmaaden fremgaar af Fig. 2; hvor *P* er Prøverøret fastspændt mellem 2 Jærnflanger *F* med vulkaniserede Kautsjukringe *K* til Tætning. I den øvre Flange sidder Stigrøret *R*, i den nedre en Hane, der med en Kautsjukslange er forbundet med Mariotteflasken *M*, der kan hæves indtil 2,5 m over Røret. Trykhøjden *h* er regnet til Rørets Midtpunkt. Gennem Stigrøret *R* undviger Luften ved Forsøgets Begyndelse, og senere viser dette Rør Trykhøjden, saaledes at Vandtilførslen gennem Gummislangen ikke kan stoppe, uden at det opdages. Det gennem Rørvæggen sivende Vand opsamles i Glaskarret *G*, der fra Tid til anden vejes. Vandet i Glaskarret fik aldrig Lov til at stige op til Prøverøret. Ved at dividere Mængden af det gennemsivede Vand med Forsøgstiden, der, eftersom Strømstyrken var større eller mindre, varierede fra nogle Minutter til nogle Døgn, fandtes Strømstyrken *Q* udtrykt i Gram pr. Minut.

Naar Rørene var meget utætte, tømtes Mariotteflasken saa hurtigt, at Fremgangsmaaden maatte ændres. Mariotteflaskens Prop og Glasrør blev da fjernede og erstattede med en Kautsjukslange, gennem hvilken der kontinuerligt tilførtes Vandværksvand i en saadan Mængde, at der stadig strømmede Vand ovenud af Flaskens Munding. Paa denne Maade kunde Trykhøjden holdes konstant i ubegrænsede Tider og ved at forgrene Afløbet fra Flaskens Bund blev man i Stand til at føde et ubegrænset Antal Prøverør fra denne ene Flaske. Fremgangsmaaden viste sig saa bekvem, at den anvendtes til alle de senere Forsøg.

Vandet til Forsøgene var det københavnske Vandværksvand, naar intet andet er bemærket.

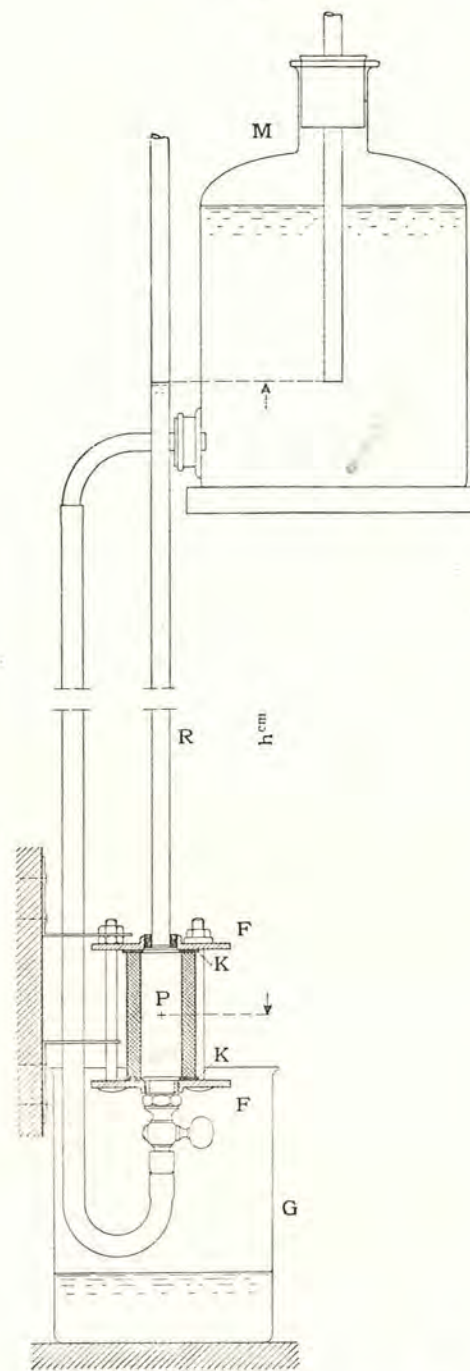


Fig. 2. Vandtæthedsbestemmelse.

Naar Rørene var meget utætte, begyndte Vandgennemstrømningen i samme Øjeblik som Hanen under Røret aabnedes. Naar Rørene var mere tætte, kunde der hengaa kortere eller længere Tid, inden den første Draabe dryppede ned i Glaskarret. For disse sidste Rør regnedes Forsøget at begynde i det Øjeblik, den første Draabe faldt.

4. Teori for Strømning gennem en porøs Væg.

Fig. 3 viser et lodret Snit i Rørvæggen, hvis Tykkelse er t cm. I Rørvæggens vandrette Midterplan findes en cylindrisk Pore, hvis Akse er vinkelret paa de to Vægflader. Porens Radius er r cm, og Aksen ligger h cm under Vædskespejlet i Stigrøret. Holdes h konstant, vil der i hvert Sekund strømme en konstant Vædskemængde Q g gennem Poren med Hastigheden v cm/Sek.

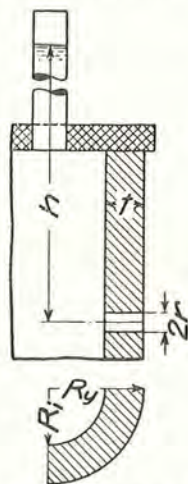


Fig. 3. Skematisk Snit i Forsøgsrør.

Naar 1 g Vædske synker h cm, udfører Tyngdekraften Arbejdet $1 \cdot h$ gcm. Af dette Arbejde forbruges en Del e_1 til at overvinde Modstanden ved Overgangen fra det større Tværnsnit i Røret til det mindre i Poren, en anden Del e_2 til at overvinde Gnidningsmodstanden i Poren, medens Resten medgaar til at give Vædsken Hastigheden v . Man har da:

$$h = e_1 + e_2 + \frac{v^2}{2g}, \quad (1)$$

hvor $g = 981$ cm/Sek².

Energitalbet ved Indstrømningen kan sættes til:

$$e_1 = a_i \cdot \frac{v^2}{2g}, \quad (2)$$

hvor a_i er en Koefficient, hvis Størrelse afhænger af Forholdet mellem Ledningstværsnittene og af, hvordan Overgangen mellem dem er formet. Er Rørets lodrette Tværnsnitsareal meget stort i Forhold til Porens, og Overgangen brat, angives Værdien $a_i = 0,5$ at være passende, og denne Værdi regnes der med i det følgende. Om den er mer eller mindre rigtig vil vise sig at være uden Betydning.

Modstanden e_2 i Poren vil, saafremt Strømningen er laminar d. v. s. retliniet uden Hvirveldannelse, være en indre Gnidning i Vædsken, idet Porens Vægge vil fastholde en Vædskehinde, og Modstanden er da efter Poiseuille:

$$e_2 = 8 \cdot \frac{\eta}{\gamma} \cdot \frac{l}{r^2} \cdot v, \quad (3)$$

hvor:

η = Vædskens Gnidningstal
 γ = — Vægtfylde i g/cm³
 l = Porens Længde i cm
 r = — Radius i cm.

Indsættes (2) og (3) i (1), faas:

$$h = 8 \cdot \frac{\eta}{\gamma} \cdot \frac{l}{r^2} \cdot v + \frac{1 + a_i}{2g} \cdot v^2. \quad (4)$$

For Vand har η følgende Værdier:

Temperatur =	0°	10°	20°	30°	40°	50° C.
$\eta \cdot 10^6$	= 18,32	13,32	10,23	8,19	6,68	5,62 g·Sek/cm ² .

For Vand af Stuetemperatur kan man regne $\frac{\eta}{\gamma} = 10^{-5}$. Indføres desuden $l =$ Vægttykkelsen = 1 cm, $a_i = 0,5$, $g = 981$, faas:

$$h = \frac{8}{10^5} \cdot \frac{v}{r^2} + \frac{v^2}{1308}. \quad (4a)$$

v vokser altsaa langsommere end h , og det samme gælder den udstrømmende Vædskemængde Q , da denne er proportional med v . Samhørigheden mellem h og Q er følgelig givet ved en Kurve som Fig. 4.

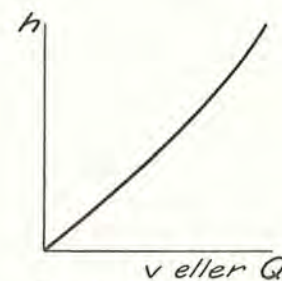


Fig. 4. Strømstyrkens Variation med Trykhøjden.

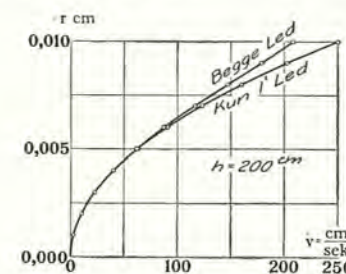


Fig. 5. Hastighedens Vækst med Poreradien.

Saafremt $v \cdot r$ overstiger en vis Grænse, der for Vand af Stuetemperatur ligger ved ca. 10, ophører (3) at gælde; v 's Potens stiger da med $v \cdot r$ fra 1 til 2, hvorved Kurven i Fig. 4 bliver krummere. At denne Grænseværdi ikke er overskredet ved de foreliggende Forsøg vil fremgaa af det følgende.

Har Væggen flere Porer, alle med Radius r , vedbliver (4) at gælde, naar h betyder Middelværdien af Trykhøjden, og denne er stor i Forhold til $\frac{1}{2}$ Væggens Højde. Har Porerne forskellig Radius, bliver Vandets Hastighed i dem ogsaa forskellig, og der maa da regnes med en Middeleradius og en Middelhastighed, som senere skal defineres.

Forudsættes r konstant og $h = 200$ cm, giver (4a) den i Fig. 5 viste Samhørighed mellem r og v , eftersom begge Led eller kun 1ste Led medtages. Fra $r = 0$ til $r = 0,005$ cm er Kurverne praktisk talt sammenfaldende, og for mindre Værdier af h er de sammenfaldende paa en endnu længere Strækning. For $r < 0,005$ cm bliver Kurven i Fig. 4 altsaa en ret Linie. Ved de foreliggende Forsøg er der kun rent undtagelsesvis fundet en Krumning som paa Fig. 4, og den har da været meget ringe. Tværtimod har Kurverne som Regel vendt Konkaviteten nedad, et Fænomen som senere vil blive drøftet. Vi kan derfor gaa ud fra, at Middelporeradien har været mindre end 0,005 cm, altsaa Diameteren mindre end 0,1 mm.

En mere umiddelbar Forstaaelse af Forholdene faas, naar man gennemregner Resultaterne for det mest utætte Rør, altsaa det Rør, for hvilket Q var størst. For dette Rør maa Værdierne af r og v have været særlig store og altsaa Betydningen af 2det Led i (4a) særlig stor. Den største Trykhøjde var $h = 200$ cm, og den hertil svarende Værdi af Strømstyrken Q var 20 g/Sek. Forudsættes Porerne at være lige store, er Vandbevægelsen foregaaet med Hastigheden $v = 20 : F_p$ cm/Sek, hvor F_p er det samlede Poretværsnit. Har Væggens Porerumfang udgjort $x\%$ af Væggens Rumfang, er det sandsynligt, at F_p har udgjort $x\%$ af Væggens lodrette Areal, der maalt midt i Væggen var 113 cm². Mørtlens Blændingsforhold var 1 : 4, og x har utvivlsomt været større end 20%, altsaa $F_p > 22,6$ cm², men for at faa en for stor Værdi af v , sætter vi $F_p = 1$ cm², altsaa $v = 20$ cm/Sek, hvorved sidste Led i (4a) faar Værdien 0,3 cm eller 0,15% af h .

Ovenstaaende kunde synes at være et Bevis for, at v^2 -Ledet ingen Rolle har kunnet spille ved Forsøgene, men i Virkeligheden behøver der ikke at være nogen Forbindelse mellem F_p og Porerumfanget, hvilket let forstaaes, naar man tænker sig et meget porøst Rør forsynet med en tæt Overfladehinde, men saadanne Rør har der ikke været eksperimenteret med.

Det kan derfor fastslaaes, at Energitabet ved Vandets Indstrømning i Porerne og Energien i det af Porerne udtrædende Vand har været forsvindende smaa Størrelser i Sammenligning med Gnidningsmodstanden i Porerne. Hele Trykhøjden er medgaaet til at overvinde denne Modstand. Dette Resultat kan overføres paa Vædske, hvis Egenskaber ikke er meget afvigende fra Vandets, og (4) faar da Formen:

$$h = 8 \cdot \frac{\eta}{\gamma} \cdot \frac{l}{r^2} \cdot v. \quad (5)$$

Forholdene er som i Fig. 6. Vædskens Hastighed v er konstant i hele Porens Længde, og Trykket y aftager retliniet fra h til Nul.

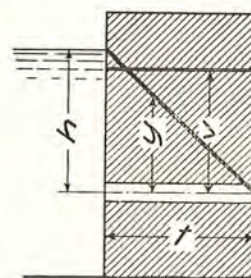


Fig. 6. Hastighed og Tryk i Poren.

Mellem Porens Tværsnit F_p og den udstømmende Vædskemængde Q g/Sek er der følgende Samhørighed, naar γ er Vædskens Vægtfylde:

$$F_p \cdot v = \frac{Q}{\gamma} \quad \text{eller:} \quad v = \frac{Q}{\gamma \cdot F_p}, \quad (6)$$

der indsat i (5) giver:

$$h = \frac{8 \cdot \eta \cdot l}{\gamma^2 \cdot r^2} \cdot \frac{Q}{F_p} = \frac{8 \cdot \eta \cdot l}{\gamma^2 \cdot \pi \cdot r^4} \cdot Q \quad (5a)$$

eller for Vand af Stuetemperatur:

$$h = \frac{8}{10^5} \cdot \frac{l}{r^2} \cdot \frac{Q}{F_p} = \frac{8}{10^5} \cdot \frac{l}{\pi \cdot r^4} \cdot Q. \quad (5b)$$

Er h og l givne, haves da:

$$Q = k_1 \cdot r^4 = k_2 \cdot r^2 \cdot F_p,$$

hvor k_1 og k_2 er Konstanter.

Har Væggen ikke een, men n Porer, alle med Radius r , og er Q den samlede Strømstyrke, faas:

$$Q = n \cdot k_1 \cdot r^4 = k_2 \cdot r^2 \cdot F_p,$$

naar F_p er det samlede Poreareal.

Har de n Porer forskellige Radier, haves:

$$Q = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n = k_1 \cdot (r_1^4 + r_2^4 + \dots + r_n^4).$$

De n uens Porer virker altsaa som n ens, hvis Radius er bestemt ved:

$$r^4 = \frac{r_1^4 + r_2^4 + \dots + r_n^4}{n}.$$

Ligningerne (5a) og (5b) har derfor Gyldighed for den samlede Rørvæg, naar Q betyder den samlede Strømstyrke, r den nys definerede Middelværdi og F_p det tilsvarende Poreareal.

Naar Poren, som forudsat, er retliniet og vinkelret paa Væggen, skal i Formlen indføres $l = t$. Er Poren bugtet, forøges Modstanden, baade fordi Poren bliver længere, og fordi den bliver bugtet; man kan under eet tage Hensyn til begge disse Virkninger ved at indføre:

$$l = c \cdot t, \quad (7)$$

hvor c er en af Porens Bugtethed afhængig Konstant.

Der er hidtil regnet med, at det samlede Poretværsnit F_p var ens i Væggens For- og Bagside og i alle mellemliggende Snit, og dette vil for et ensartet porøst Stof kun være Tilfældet, naar Væggen er plan.

Er Karvæggen formet efter en Cylinder, og er Porøsiteten ens overalt, vil F_p vokse jævnt udefter, og hvis Porerne Middelværdi er ens overalt,

vil Poreantallet vokse jævnt udefter. Under disse Forhold gælder (5a) kun for en uendelig lille Porelængde, saaledes at den samlede Gnidningsmodstand maa findes ved Integration. Har Cylinderen følgende Dimensioner (Fig. 5): Ydre Radius R_y , indre R_i , ydre Areal F_y , indre F_i , altsaa $\frac{F_y}{F_i} = \frac{R_y}{R_i}$, kan Porearealerne i Yder- og Inderside udtrykkes ved $a \cdot F_y$ og $a \cdot F_i$, der altsaa ogsaa har Forholdet $\frac{R_y}{R_i}$. En mellemliggende Cylinderflade med Radius x og Arealet F_x har Porearealet:

$$F_p = a \cdot F_x = a \cdot F_i \cdot \frac{x}{R_i}$$

Paa en Strækning dx er Porelængden:

$$dl = c \cdot dx,$$

og paa denne Strækning kan Tryktabet beregnes af (5a):

$$dy = \frac{8 \cdot \eta \cdot c \cdot dx}{\gamma^2 \cdot r^2} \cdot \frac{Q}{a \cdot F_x} = \frac{8 \cdot \eta \cdot c}{\gamma^2 \cdot r^2} \cdot R_i \cdot \frac{Q}{a \cdot F_i} \cdot \frac{dx}{x},$$

hvor r er Porerens Middelradius, som regnes konstant i hele Væggens Tykkelse.

Naar dette Udtryk integreres fra h_i til h_y , hvor h_i er Trykket i Poren umiddelbart indenfor Indstrømningsaabningen, og h_y er Trykket i Porens Udstrømningsaabning, i dette Tilfælde altsaa lig Nul, faas Tryktabet som Følge af Gnidning at være:

$$h = h_i - h_y = \frac{8 \cdot \eta \cdot c \cdot R_i}{\gamma^2 \cdot r^2} \cdot \frac{Q}{a \cdot F_i} \cdot \ln \frac{R_y}{R_i}, \quad (8)$$

hvor \ln betegner den naturlige Logaritme.

Q er altsaa ogsaa proportional med h , naar Væggen er cylindrisk.

Hastigheden i et Punkt af Rørvæggen bestemmes af:

$$v_x = \frac{Q}{\gamma \cdot a \cdot F_x} = \frac{Q \cdot R_i}{\gamma \cdot a \cdot F_i} \cdot \frac{1}{x}$$

og varierer som vist paa Fig. 7.

Trykket y i et Punkt af Rørvæggen liggende i Afstanden x fra Røraksen kan findes af (8) ved at ombytte h med $h - y$ og R_y med x . Variation af y er ligeledes vist paa Fig. 7.

Er Rørvæggens Rumfang $F \cdot t$, bliver Porerens Rumfang $a \cdot F \cdot c \cdot t$ og Porøsiteten:

$$p = \frac{a \cdot F \cdot c \cdot t}{F \cdot t} = a \cdot c, \text{ altsaa } a = \frac{p}{c},$$

der indsat i (8) giver:

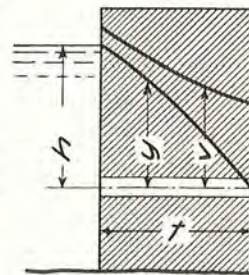


Fig. 7. Hastighed og Tryk i en cylindrisk Væg.

$$h = \frac{8 \cdot \eta \cdot c^2 \cdot R_i}{\gamma^2 \cdot r^2 \cdot p} \cdot \frac{Q}{F_i} \cdot \ln \frac{R_y}{R_i}$$

Sættes $\beta = \left(\frac{r}{c}\right)^2$, faas:

$$Q = \frac{\gamma^2}{8 \cdot \eta} \cdot \beta \cdot p \cdot F_i \cdot \frac{h}{R_i \cdot \ln \frac{R_y}{R_i}} \quad (9)$$

Indføres Middelradius $R_m = \frac{1}{2} \cdot (R_i + R_y)$, altsaa:

$$\frac{R_y}{R_i} = \frac{R_m + \frac{1}{2}t}{R_m - \frac{1}{2}t} = \frac{1 + \frac{t}{2R_m}}{1 - \frac{t}{2R_m}}$$

faas ved Rækkeudvikling:

$$\ln \frac{R_y}{R_i} = \frac{t}{R_m} + \frac{1}{12} \cdot \left(\frac{t}{R_m}\right)^3 + \frac{1}{80} \cdot \left(\frac{t}{R_m}\right)^5 + \dots$$

Ved de foreliggende Forsøg er $\frac{t}{R_m} = \frac{1}{2}$, hvilket giver $\ln \frac{R_y}{R_i} = 0,511$. Indføres desuden $\frac{F_i}{R_i} = \frac{F_m}{R_m} = \frac{F_m}{2}$, faas:

$$Q = \frac{\gamma^2}{8 \cdot \eta} \cdot \beta \cdot p \cdot F_m \cdot \frac{h}{1,022} \quad (10)$$

For en plan Væg af Tykkelse t cm findes den tilsvarende Formel at være:

$$Q = \frac{\gamma^2}{8 \cdot \eta} \cdot \beta \cdot p \cdot F \cdot \frac{h}{t} \quad (11)$$

Forsøgsrøret forholder sig altsaa som en plan Væg med $F = F_m$, og hvis Tykkelse er 2,2 % større end Rørvæggens.

Ligningerne (10) og (11) viser, at et Materiales Forhold overfor Vædskegennemgang er karakteriseret ved to Materialkonstanter β og p . Er p kendt, skulde man altsaa ved at presse Vædske gennem Materialet kunne bestemme β , og da $r = c \cdot \sqrt{\beta}$, og c mindst er lig 1 og for Mørtel, Lervarer og lignende Stoffer næppe overstiger 2, kan man ved at sætte $c = 1$ finde en lavere Grænseværdi for Porerens Middelradius, og for de nævnte Stoffer tør man forudsætte, at den sande Middelværdi højst er dobbelt saa stor. Ved de foreliggende Forsøg blev r dog ikke bestemt, da det viste sig, at β stadig ændrede sig under Forsøget. Den første Opgave maatte derfor blive at finde Aarsagerne til disse Ændringer.

Den Vædskemængde Q , der indgaar i (10), er lig den opsamlede og vejede Vædskemængde + Fordampningstabet. Dette var ved de foreliggende Forsøg saa lille, at der ikke er taget Hensyn til det.

5. Strømstyrkens Variation ved Forsøgets Begyndelse.

Efter Q -Kurvernes Form ved Forsøgets Begyndelse kan Rørene inddeles i 3 Grupper:

- (1) Rør med først voksende, derpaa aftagende Strømstyrke (Fig. 13).
- (2) Rør med stadigt aftagende Strømstyrke (Fig. 27).
- (3) Rør med først aftagende, derpaa voksende og sluttelig aftagende Strømstyrke (Fig. 31).

Kurveformen (1) er den naturlige for Rør, der ikke paavirkes kemisk af Vædsken. Ved Forsøgets Begyndelse er Væggenes Porer luftfyldte; denne Luft uddrives mer eller mindre langsomt, og i Uddrivningsperioden vokser Strømstyrken. Efter nogen Tids Forløb foregaar Luftuddrivningen saa langsomt, at Vædskens tættende Virkning (hvorom senere) bliver dominerende, og Kurven begynder da at falde. Denne Form træffes hos alle Lerrør samt hos Cementrør med grove Porer.

Kurveformen (2) træffes kun hos Cementrør, ikke hos Lerrør, og skyldes Cementens Svulmning i Berøring med Vand. Denne Svulmning begynder straks, Porevæggene svulmer op, og Porediameteren d formindskes. Er d lille, vil en procentvis ringe Opsvulmning af Væggen give en procentvis stor Formindskelse af d , og da Strømstyrken er proportional med d^4 , forringes den hurtigt. Da de snævre Porer kun indeholder lidet Luft, som tilmed kun langsomt uddrives, bliver Svulmningen den dominerende Virkning, og man træffer derfor denne Kurveform hos Cementrør med snævre Porer.

Hvorvidt Luftuddrivningen dominerer over Svulmningen eller omvendt afhænger ikke blot af Porernes Snæverhed, men ogsaa af Trykhøjden. Naar to ens Cementrør udsættes for henholdsvis $h = 200$ cm og $h = 50$ cm, kan det første vise Kurveformen (1) og det andet Kurveformen (2), thi i første Fald er Q stor, og Luften uddrives da hurtigt, i andet Fald er Q lille, og Luften uddrives da langsomt. Det er altsaa i første Linie Q , der bestemmer Cementrørens Kurveform; er Q stor, findes Formen (1), er Q lille, findes Formen (2). Se desangaaende Stykke 15, Rør 78. Kun i et enkelt Tilfælde fandtes Formen (2) i Forbindelse med en stor Begyndelsessværdi af Strømstyrken, nemlig $Q = 212$ g/Min (Rør Nr. 138, Blfh. 1 : 5, luftlagret, Alder: 7 Uger, Rumvægt: $2,184$ g/cm³).

Cementrør, der prøvede med Vand giver Kurveformen (2), vil, naar de prøves med en Vædske, der ikke bringer Cementen til at svulme, give Kurveformen (1). Se desangaaende Stykke 25.

I enkelte Tilfælde fandtes Kurveformen (1) hos vandlagrede Rør med saa stor Tæthed, at de naturligt hørte hjemme i Gruppe (2), men i disse Tilfælde var Støbningen mangelfuldt udført. Naar Vandhanen under Røret aabnedes ved Forsøgets Begyndelse, blev Rørene som Regel jævnt vaade

over hele Overfladen, men paa enkelte Rør traadte Vandet først frem i eet eller flere vandrette Bælter svarende til Stampeflader i Rørvæggen. For disse Bælter med grove Porer gælder Kurveformen (1), og hvis Bælterne kun har ringe Udstrækning, og hvis den øvrige Del af Røret er meget tæt, bliver den maalte Strømstyrke, som er et Middeltal for hele Røret, lille.

Kurveformen (3) er en Kombination af Kurverne (1) og (2). Først er Porernes Indsnævring den dominerende Virkning, derefter Luftuddrivningen og sluttelig atter Porernes Indsnævring.

For samtlige Kurveformer gælder, at naar først Luften er uddrevet af Rørvæggen, skrider Rørets Selvtætning nogenlunde jævnt fremad. Dog iagttoges i enkelte Tilfælde Opgange i Strømstyrken, f. Eks. for de i Stykke 9 omtalte Rør Nr. 97 og 105 (1 : 4, vandlagrede), hvis Kurver er tegnede paa Fig. 20; Aarsagen til disse Opgange er formentlig en forsinket Luftuddrivning.

6. Rørvæggens Luftindhold.

Naar Strømstyrken er stigende ved Forsøgets Begyndelse, skyldes det som nævnt, at Vandet bruger en vis Tid om at uddrive Luften af Rørvæggens Porer. Selv om Rørets Yderflade er drivende vaadt, kan der inde i Rørvæggen være luftfyldte Porer, som Vandet løber udenom, og som altsaa formindsker Gennemstrømningsarealet. Efterhaanden som Vandet uddriver denne Luft, vokser Strømstyrken.

Luftuddrivningen viser sig tydeligere ved Lerrør end ved Cementrør, fordi Cementens Svulmning tilslører Virkningen, og tydeligere ved en stor Vægtykkelse end ved en ringe, naar Trykket er det samme. Luftuddrivningens Hastighed vokser med Porernes Grovhed og med Trykfaldet pr. Længdeenhed; af et finporet Materiale som brændt Moler uddrives Luften meget langsomt, som følgende Forsøg viser.

Af en brændt Moler-Mursten af Normalformat udarbejdedes en cirkulær Skive, 5,04 cm tyk og 9,65 cm i Diameter. Vægt og Rumvægt før og efter Tørring findes i Tabel 2, Linie a og b.

Tabel 2.

	Vægt	Rumfang	Rumvægt
a. Oprindelig.....	286,2 g	369,8 cm ³	0,774 g/cm ³
b. Tørret.....	277,9 -	368,8 -	0,754 -
c. Vandmættet.....	528,5 -	369,7 -	1,430 -
d. Tørret.....	272,6 -	368,0 -	0,741 -

Resterne af Molerstenen pulveriseredes, og det tørrede Pulvers Vægtfylde fandtes at være 2,15. Hertil svarer Porerumfanget 64,9 %.

Skiven blev i vandret Stilling udsat for Vandtryk paa hele den opadvendende Flade, medens Cylinderfladen ikke var tilgængelig for Vandet. Q bestemtes under Brug af destilleret Vand og $h = 50$ cm regnet fra Skivens Midte.

- Kl. 0 aabnedes for Vandet,
 - 2³⁷ kom den første vaade Plet paa Undersiden,
 - 3²⁷ var hele Undersiden vaad,
 - 3³⁷ var der hængende Draaber,
 - 3⁴⁷ begyndte Drypningen.

I de paafølgende 30 Minuter fandtes $Q = 0,19$ g/Min og efter 21 Timers Henstand fandtes $Q = 0,21$ g/Min. Den ringe Tilvækst viser, at Luften uddrives meget langsomt ved det lave Tryk. Derefter forøgedes h til 100 cm, og i den paafølgende Time fandtes $Q = 0,46$ g/Min. Derefter forøgedes h til 150 cm, og i den paafølgende Time fandtes $Q = 0,77$ g/Min. Ved begge Trykhøjder bestemtes Q for hver 10 Minuter, og der var ingen Tilvækst at spore, saa ogsaa paa disse Trykhøjder sker Luftens Uddrivning langsomt. Ved $h = 200$ cm fandtes derimod i de første 10 Minuter $Q = 1,23$ g/Min, i den første Time 1,25 g/Min, og Stigningen fortsatte sig fra Time til Time, som Fig. 8 viser. Efter 67 Timers Forløb fandtes $Q = 4,5$ g/Min, derefter aftog Q atter.

Fortsættelsen af dette Forsøg omtales i Stykke 21.

7. Blandingsforholdets, Stampningens, Lagringsmaadens og Alderens Indflydelse paa Vandtætheden.

4 Cementrør udsattes i 10 Minuter for 100 cm Vandtryk med det i Tabel 3 indførte Resultat.

Tabel 3.

Rørets Nr.	1	2	12	8
Blandingsforhold	1 : 2	1 : 2	1 : 3	1 : 3
Lagret i	Vand	Luft	Vand	Luft
Alder i Døgn	43	39	34	37
Rumvægt g/cm ³	2,133	2,229	2,167	2,188
Strømstyrke g/Min	1,8	18,3	25,3	179

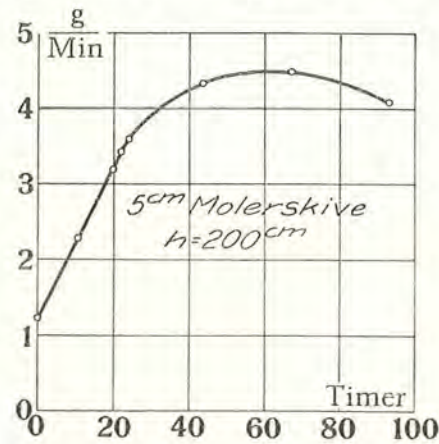


Fig. 8. Strømstyrkens Vækst som Følge af Luftuddrivning.

4 andre Cementrør, der var stampet kraftigere, udsattes i 60 Minuter for 100 cm Vandtryk med det i Tabel 4 indførte Resultat.

Tabel 4.

Rørets Nr.	23	22	25	24
Blandingsforhold	1 : 2	1 : 2	1 : 3	1 : 3
Lagret i	Vand	Luft	Vand	Luft
Alder i Døgn	58	58	58	58
Rumvægt g/cm ³	2,296	2,279	2,184	2,238
Strømstyrke g/Min	0,00	0,02	0,60	8,18

Vandlagring ses at give tættere Rør end Luftlagring, og Mørtlerne 1 : 2 at være tættere end 1 : 3. Tilsvarende Resultater fandtes ved samtlige undersøgte Rør; naar Forholdene i enkelte Tilfælde var afvigende, viste Rumvægten, at Stampningen havde været uensartet. Lagringsmaadens Indflydelse var undertiden saa stor, at vandlagrede Rør 1 : 3 viste sig tættere end luftlagrede 1 : 2.

Stampningens Intensitet paavirker i høj Grad Vandtætheden, som en Sammenligning af de to Tabeller viser.

Alderens Indflydelse paa unge, magre Rørs Vandtæthed fremgaar af Tabel 5. Mørtelens Blandingsforhold var 1 : 5, Trykhøjden 2 m, Forsøgsvarigheden 2 Timer.

Tabel 5.

Rør Nr.	Antal Døgn i			Prøvealder Døgn	Rumvægt g/cm ³	Gennemstrømmet Vand
	fugtig Luft	Vand	Lab. Luft			
160, 162....	7			7	2,208	28,1 kg
168, 170....	7		7	14	2,159	44,0 -
164, 166....	7		20	27	2,160	60,1 -
159, 161....	1	6		7	2,232	14,6 -
167, 169....	1	6	7	14	2,148	9,1 -
163, 165....	1	6	20	27	2,150	18,2 -

De vaade Rør i 1. og 4. Linie har en stor Rumvægt. Under Rørenes Henstand i Laboratoriet formindskes Rumvægten som Følge af Vandets Fordampning (2. og 5. Linie), derefter stiger den ved Mørtelens Svind (3. og 6. Linie).

De luftlagrede Rør er paa alle Tidspunkter utættere end de vandlagrede, og Utætheden vokser med Alderen, idet Porerne bliver større, naar

Cementen svinder. Denne Forklaring kunde synes ulogisk, thi naar en ensartet Masse undergaar et ensartet Svind, maa Massens Porer svinde i samme Forhold. Massen er imidlertid ikke ensartet, og alene den Omstændighed, at Sandskornene ikke svinder, er tilstrækkelig til at forklare Forholdet. Naar Mørtelen bestaar af ikke svindende Korn i en svindende Grundmasse (Fig. 9), maa der i denne opstaa Porer (Fig. 10).

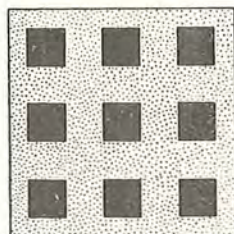


Fig. 9.
Poredannelse ved Svind.



Fig. 10.

De vandlagrede Rør er vandmættede, naar de tages op af Vandet, og Cementens Svulmning fortsætter sig derfor et Stykke ind i Luftlagringsperioden og gør Rørene tættere; først paa et senere Tidspunkt indtræder Svindet og dermed Nedgangen i Tæthed.

Strømstyrkens Variation i de 2 Timer er vist paa Fig. 11. Samtlige

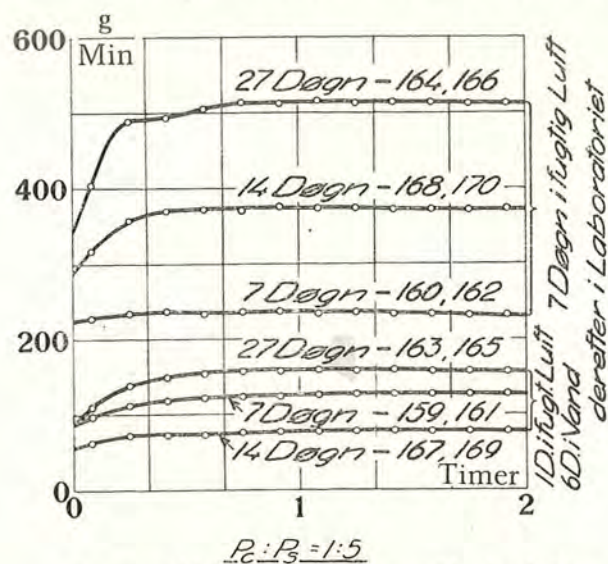


Fig. 11. Alderens Indflydelse paa Vandtætheden.

Fig. 12 viser Rør Nr. 160 efter Forsøget. Baade dette Rør og Nr. 162, altsaa de to, der var lagrede i fugtig Luft og kun 7 Døgn gamle ved Forsøgets Begyndelse, fik stærke Kalkaflejninger paa Ydersiden, medens der paa de øvrige 10 Rør kun udskiltes Kalk i ringe Grad. At de i Laboratorieluft lagrede Rør kun i ringe Grad har udskilt Kalk, skyldes formentlig at Luftens Kulsyre har omdannet $\text{Ca}(\text{OH})_2$ til det tungt opløselige CaCO_3 . At de 7 Døgn gamle vandlagrede Rør i ringere Grad

end de luftlagrede har udskilt Kalk skyldes formentlig, at en Del $\text{Ca}(\text{OH})_2$ er gaaet i Opløsning under Vandlagringen.

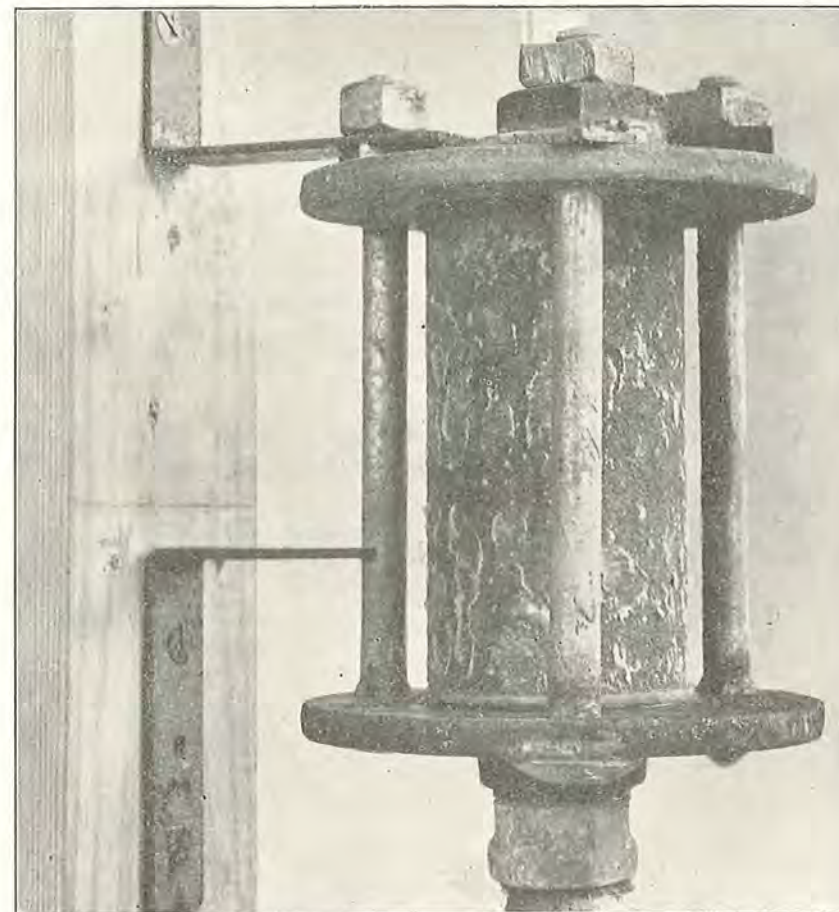


Fig. 12. Kalkaflejninger paa Cementrør Nr. 160.

8. Støbevandsprocentens Indflydelse paa Vandtætheden.

Som meddelt i Stykke 1 fremstilledes de Rør, hvis Blandingsforhold var $P_c : P_s = 1 : 3$, med 8,8 % Vand, altsaa med $P_c : P_s : P_v = 1 : 3 : 0,352$. Til Undersøgelse af Vandmængdens Indflydelse fremstilledes desuden Rør med $P_c : P_s = 1 : 3$ og med 8, 9 og 10 % Vand. Med 8 % Vand var Mørtelen saa tør, at der ikke kunde presses Vand frem, hverken ved Stampningen eller ved Endefladens Afretning; med 9 % Vand kunde der heller ikke stampe Vand frem, men Endefladen blev fugtig ved Afretningen; med 10 % Vand kom dette frem allerede under Stampningen. Formens Kærne og Bund fjernedes i alle Tilfælde umiddelbart efter

Rørets Fremstilling, den ydre Form efter 1 Døgns Henstand i fugtig Luft.

Da Rørene var $2\frac{3}{12}$ Aar gamle, blev Rumvægten bestemt og Rørene udsat for 2 m Vandtryk i 2 Timer. Resultaterne findes i Tabel 6.

Tabel 6. $P_c : P_s = 1 : 3$.

Rør Nr.	56 og 58	60 og 62	64 og 66	55 og 57	59 og 61	63 og 65
Vandtilsætning %.....	8	9	10	8	9	10
Lagret i	Luft	Luft	Luft	Vand	Vand	Vand
Rumvægt g/cm ³	2,186	2,263	2,242	2,193	2,221	2,213
Gennemstrømmet Vand, kg...	35,29	0,012	0,007	0,270	0	0

Tabellen viser klart Fordelen ved at støbe vaadt.

Strømstyrkens Variation i de to Timer er vist paa Fig. 13 for Rør Nr. 56

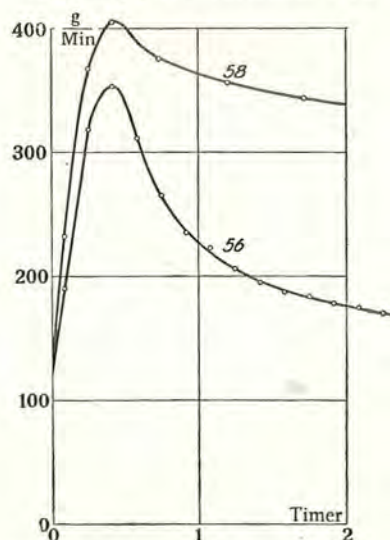


Fig. 13. Strømstyrkens Variation for luftlagrede Cementrør 1:3. Alder: $2\frac{3}{12}$ Aar. $h = 200$ cm.

Da Rør Nr. 59 havde staaet under 2 m Tryk i 4 Døgn, og der kun havde vist sig to fugtige Pletter, der efterhaanden tørrede, blev Vandhanen paa Tilførselsledningen lukket. Mængden af det fra Røroverfladen fordampende Vand kunde da maales ved Vandspejls-sænkningen i Stigrøret, og den viste sig at udgøre $0,25$ cm³ pr. Time.

Efter de to Timers Henstand under $h = 200$ cm fortsattes Forsøget med de 4 utætte Rør Nr. 55—58 i ca. 14 Døgn, idet Trykket varieredes paa talrige Maader. Derefter bestemtes de vaade Rørs Rumvægt.

For Rør Nr. 56 fandtes:

Oprindeligt Rumfang 113,0 cm³ Oprindelig Rumvægt 2,195 g/cm³
 Nyt — 113,3 — Ny — 2,358 —

Røret var ved Udtagelsen stærkt slimet udvendig og lidt slimet indvendig. Paa Indersiden sad talrige smaa rødbrune Pletter jævnt fordelt over hele Fladen. De forsvandt ikke ved Skrabning og maa derfor skyldes Partikler aflejret i Rørvæggens Porer. Rørets Inderside lugtede raadent.

Da Røret atter indbyggedes og sattes under Tryk, viste Vandgennemgangen sig større end før Rumvægtsbestemmelsen, utvivlsomt forårsaget ved Slimhindernes Aftørring.

Der blev senere fremstillet Rør med $P_c : P_s = 1 : 4$ og med forskellige Vandtilsætninger, og da de var $6\frac{1}{2}$ Maaned gamle, blev Rumvægten bestemt, hvorefter de udsattes for 2 m Vandtryk i 2 Timer med det i Tabel 7 indførte Resultat.

Tabel 7. $P_c : P_s = 1 : 4$.

Rør Nr.	80, 82	84, 86	88, 90	92, 94	81	83, 85	87, 89	91, 93
Vandtilsætning %.....	7	8	9	10	7	8	9	10
Lagret i	Luft	Luft	Luft	Luft	Vand	Vand	Vand	Vand
Rumvægt g/cm ³	2,130	2,161	2,173	2,196	2,143	2,155	2,162	2,185
Gennemstrømmet Vand, kg..	135,9	93,38	55,25	0,173	0,062	0,136	0,530	0

Rumvægten vokser med Støbevandsprocenten.

De luftlagrede Rørs Tæthed vokser ogsaa med Vandprocenten. Strømstyrkens Variation i de første 2 Timer fremgaar af Fig. 14. Man ser, at Luftudrivningens Styrke vokser med aftagende Vandprocent.

De vandlagrede Rørs Tæthed aftager med voksende Vandprocent; en Undtagelse danner de to Rør med 10 % Vand. Da det kunde tænkes, at disse Rørs Tæthed skyldtes et Overfladeslag, blev Rør Nr. 93 efter Forsøget afslebet ind- og udvendig og atter prøvet. Der fremkom da vaade Pletter af en lidt større Udstrækning end ved det første Forsøg, men Vandet fordampede fra Overfladen uden at dryppe i Glasset. Strømstyrkens Variation i de første 2 Timer fremgaar af Fig. 15.

Aarsagen til de vandlagrede Rørs Forhold er utvivlsomt følgende. Da saavel de luft- som de vandlagrede Rørs Rumvægt vokser med Vandprocenten, maa det samme have været Tilfældet med de nystørknede Rørs. Da disse lagdes i Vand, har deres Porerumfang altsaa været aftagende med voksende Vandprocent, og det samme gælder Forholdet mellem Porerens Indhold af Luft og Vand. Ved Rørenes Nedlægning i Vand er Luften blevet uddrevet des fuldstændigere, jo porøsere Rørene var; de porøseste Rør har derfor haft de gunstigste Hærdningsforhold og er

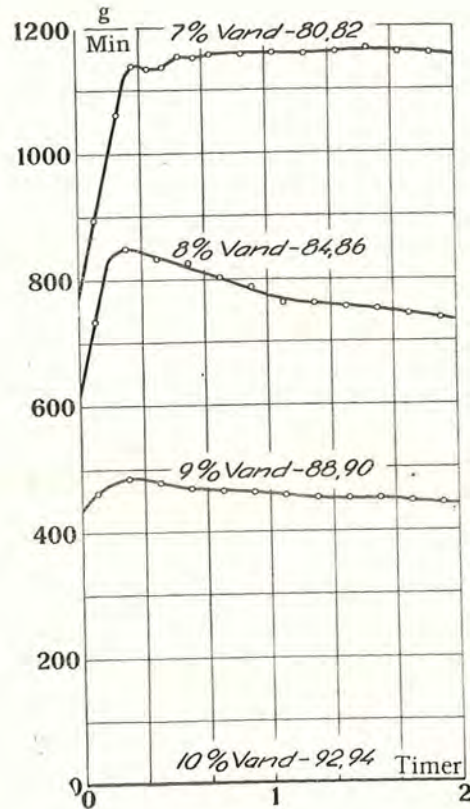


Fig. 14. Luftlagrede Rør 1:4. Alder: 6 1/2 Maaned. $h = 200$ cm.

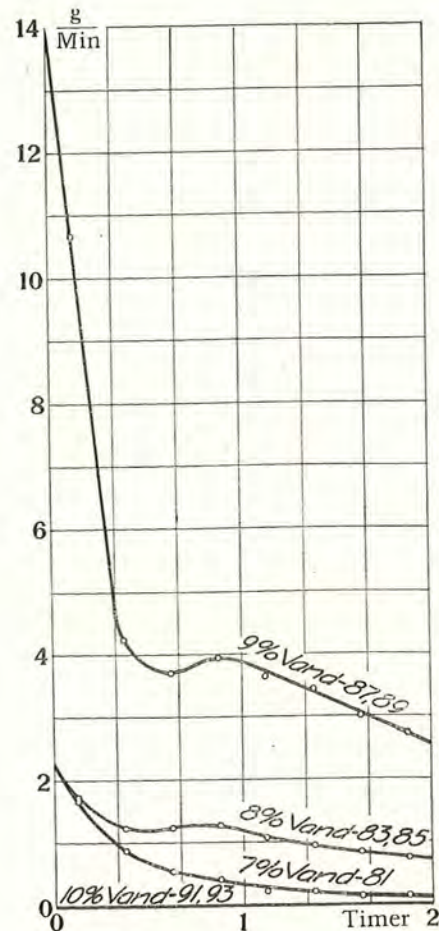


Fig. 15. Vandlagrede Rør 1:4. Alder: 6 1/2 Maaned. $h = 200$ cm.

blevne tættest. Med stigende Støbevandsprocent stiger Mængden af luftfyldte Porer, der har været afspærrede fra Vandtilførsel, og hvis Cementvægge derfor er hærdnede under ugunstige Forhold. Dette gælder indtil 9 0/0 Vand; med 10 0/0 Vand er der allerede ved Størkningen Vand nok til at sikre en god Hærdning; selv de luftlagrede Rør af denne Art er næsten tætte, og de vandlagrede er det naturligvis i endnu højere Grad. Denne Forklaringes Rigtighed bekræftes af Kurveformerne paa Fig. 15; den hurtige Tætning, som Rørene med 9 0/0 Vand viser, tyder paa, at et forholdsvis stort Antal Porevægge ikke tidligere har været i stærk Berøring med Vand.

Forsøgene viser følgende:

Naar Støbevandsprocenten er rigelig, er Lagringsmaaden af underordnet Betydning.

Naar Rørene vandlagres, er Støbevandsprocenten af underordnet Betydning.

Tilsvarende Forsøg med 8 Maaneder gamle Rør 1:5 gav de i Tabel 8

Tabel 8. $P_c : P_s = 1 : 5$.

Rør Nr.	122	124 og 126	119 og 121	123 og 125
Vandtilsætning 0/0.....	7	8	7	8
Lagret i.....	Luft	Luft	Vand	Vand
Rumvægt g/cm ³	2,154	2,190	2,140	2,166
Gennemstrømmet Vand, kg...	136,2	50,19	2,133	7,842

og i Fig. 16-17 indførte Resultater, der er i Overensstemmelse med de foregaaende:

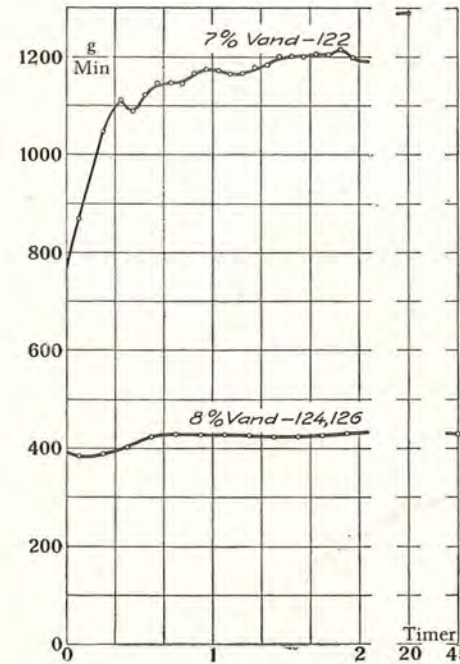


Fig. 16. Luftlagrede Rør 1:5. Alder: 8 Maaneder. $h = 200$ cm.

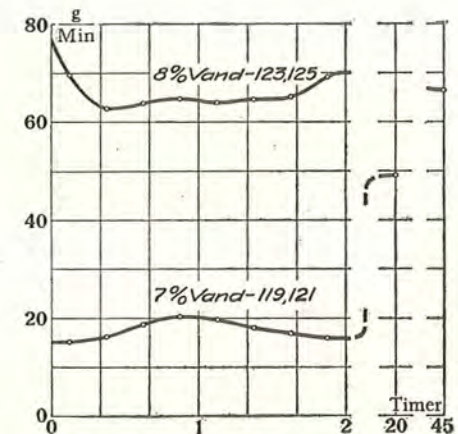


Fig. 17. Vandlagrede Rør 1:5. Alder: 8 Maaneder. $h = 200$ cm.

Naar Støbevandsprocenten vokser, vokser Rumvægten og de luftlagrede Rørs Tæthed, hvorimod de vandlagrede Rørs Tæthed aftager. Luftuddrivningen viser sig tydeligst ved de luftlagrede Rør med lav Vandprocent.

At de luftlagrede Rør 1:5 er lige saa tætte eller tættere end Rørene 1:4 med samme Vandprocent, skyldes deres større Vand-Cement-Forhold.

For de vandlagrede Rør med 7% Vand (Fig. 17) fandtes den følgende Dag en unormal stor Værdi af Q tydende paa fortsat Luftuddriving i Løbet af Natten.

9. Imprægnering med Vandglas.

Der fremstilledes 16 Rør 1:4, af hvilke 8 lagredes i Vand, 8 i fugtig Luft. Da Rørene var 28 Døgn gamle, lagredes hvert andet Rør frit paa en Hylde i Laboratoriet i 49 Døgn, medens Resten efter 1 Times Henstand paa Hyliden lagredes 1 Døgn i en Vandglasopløsning og derefter henstilledes paa Hyliden i 48 Døgn.

Opløsningen bestod af 1 Vægtdele Natronvandglas (alm. Handelsvare) og 4 Vægtdele Vand; Opløsningens Vægtfylde var 1,07.

Da samtlige Rør var 77 Døgn gamle, bestemtes Strømstyrken i Løbet af 2 Timer ved 2 m Trykhøjde. Resultaterne er indført i Tabel 9 som Middeltal for 4 Rør.

Tabel 9.

Rør Nr.	Lagringsmaade	Optaget Vandglasopløsning	Rumvægt g/cm ³	Strømstyrke	Vægtstigning g
97, 101 } 105, 109 }	Vand		2,160	1,090 kg	11,3
95, 99 } 103, 107 }	—	1,03 g	2,177	0,179 -	10,2
98, 102 } 106, 110 }	Luft		2,177	108,4 -	16,5
96, 100 } 104, 108 }	—	6,35 -	2,193	47,6 -	15,6

Mængden af optaget Vandglasopløsning er bestemt som Differensen mellem Rørets Vægt umiddelbart før og efter Imprægneringen, medens Rumvægtene er bestemte umiddelbart før Vandtryksforsøget.

Da de vandlagrede Rør var omtrent vandmættede forud for Imprægneringen, har de optaget langt mindre af Opløsningen end de luftlagrede, men i de 1,03 g, som de har optaget, er der muligvis mere Vandglas, end i de andres 6,35 g; i alt Fald har Imprægneringen virket stærkere paa de vandlagrede Rør end paa de luftlagrede.

Strømstyrken i Tabel 9 gælder for de første 2 Timer, men Rørene

holdtes under Tryk i et Døgn, hvorefter de toges ud og vejedes. Vægtstigningen er opført i Tabellens sidste Spalte og skyldes $a + b - c$, hvor:

a = det i Porerne optagne Vand

b = det kemisk — —

c = bortskyllede Stoffer.

Da c utvivlsomt er meget lille, viser Tallene, at luftlagret Mørtel optager mere Vand end vandlagret, og at Vandglasimprægnering hæmmer

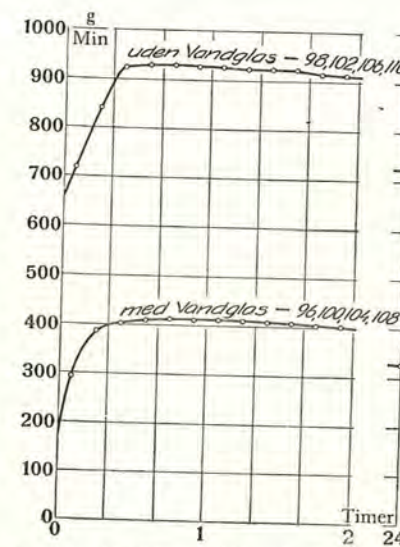


Fig. 18. Luftlagrede Rør 1:4. Alder: 77 Døgn. $h = 200$ m.

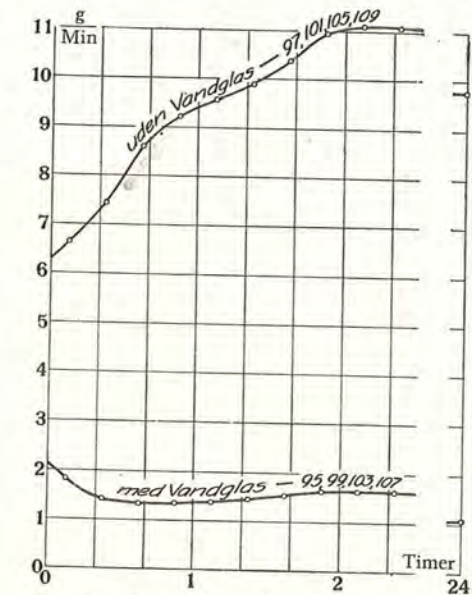


Fig. 19. Vandlagrede Rør 1:4. Alder: 77 Døgn. $h = 200$ cm.

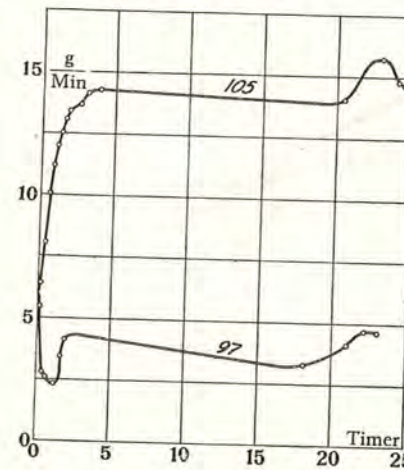


Fig. 20. Sekundær Luftuddriving.

Vandoptagelsen noget. Vandglasset stopper formentlig en Del af Overfladens Porer og forringer derved Strømstyrken, men hindrer ikke Vandets Adgang til Porerne i Rørvæggens Indre.

Strømstyrkens Variation i de første 2 Timer fremgaar af Fig. 18 og 19, hvor ogsaa Værdien efter 24 Timer er indtegnet. Hos de vandlagrede Rør med Vandglas dominerer Svulmningen i Begyndelsen over Luftuddrivingen, hos alle de øvrige er Forholdet omvendt. Kurven for de vandlagrede Rør Nr. 97 og 105 uden Vandglas er særskilt ud-

tegnede paa Fig. 20, fordi de viser en sekundær Luftuddrivning efter ca. 20 Timers Forløb.

Rør 105 viser, at stor Tæthed kan forenes med en stigende Kurve. Det kan, som nævnt i Stykke 5, forklares ved, at Rørvæggen har enkelte grove Porer (Støbeskel), men ellers er meget tæt.

Som det fremgaar af Forsøgene, har Vandglas en gavnlig Virkning, men vandlagrede, uimprægnerede Rør er mange Gange tættere end luftlagrede imprægnerede.

10. Støbning med Sæbevand.

Af 12 Rør 1:4 blev de 6 fremstillede med almindeligt Vand, de 6 med Sæbevand; i begge Tilfælde udgjorde Vædskemængden 8 % af $P_c + P_s$. 3 Rør af hver Slags lagredes 28 Døgn i fugtig Luft og 135 Døgn i Laboratorieluft; de andre 3 lagredes 1 Døgn i fugtig Luft, 27 Døgn i Vand og 135 Døgn i Laboratorieluft. De sæbeholdige Mørtler var, da de afformedes efter 1 Døgns Henstand i fugtig Luft, mindre hærtnede end de sæbefri.

Sæbevandet var en Opløsning af 1 Vægtdele brun, blød Sæbe i 9 Vægtdele Vand og filtreredes gennem et Klæde inden Brugen.

8 Rør 1:5 med 8 % Vand behandledes paa ganske samme Maade.

Da Rørene var 163 Døgn gamle, bestemtes Strømstyrken i Løbet af 2 Timer ved 2 m Trykhøjde. Resultaterne er indført i Tabel 10 som Middeltal for hver Gruppe af ens Rør.

Tabel 10.

Rør Nr.	Blfh.	Lagringsmaade	Støbe- vandets Art	Rumvægt g/cm ³	Strømstyrke
140, 144, 148	1:4	Luft	rent	2,192	42,8 kg
142, 146, 150	—	—	Sæbe	2,176	5,9 -
152, 156	1:5	—	rent	2,163	76,8 -
154, 158	—	—	Sæbe	2,147	24,1 -
139, 143, 147	1:4	Vand	rent	2,169	0,119 -
141, 145, 149	—	—	Sæbe	2,166	0,053 -
151, 155	1:5	—	rent	2,132	0,247 -
153, 157	—	—	Sæbe	2,131	0,321 -

Paa de luftlagrede Rør har Sæben virket stærkt tættende, navnlig paa Rørene 1:4. Sættes Strømstyrken for disse lig 100, findes:

Blfh.	Strømstyrke
1:4 med Sæbe	100
— 1:5 - -	410
— 1:4 uden -	732
— 1:5 - -	1310

De sæbeholdige Rør 1:5 er altsaa væsentlig tættere end de sæbefri 1:4. Paa de vandlagrede Rør 1:4 har Sæben haft en ringere Virkning, og de vandlagrede Rør 1:5 har den gjort utættere.

Paa alle de luftlagrede, sæbeholdige Rør 1:4 — og kun paa disse — var der efter Forsøget svage, hvide Skjolder paa Ydersiden.

Rumvægten af de 163 Døgn gamle Rør er i alle Tilfælde blevet forringet ved Sæbetilsætningen, men i langt højere Grad for de luftlagrede end for de vandlagrede Rør.

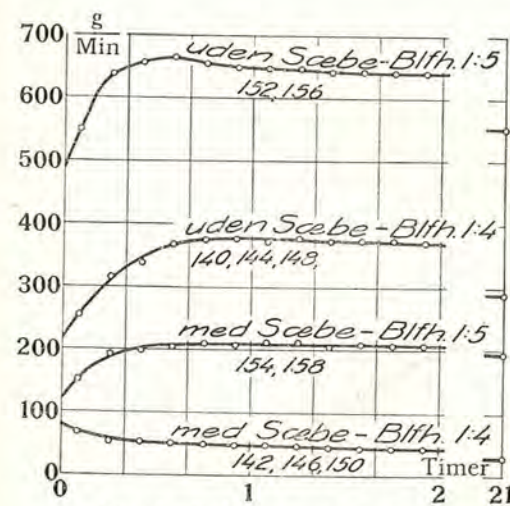


Fig. 21. Luftlagrede Rør. Alder: 5 1/2 Maaned. $h = 200$ cm.

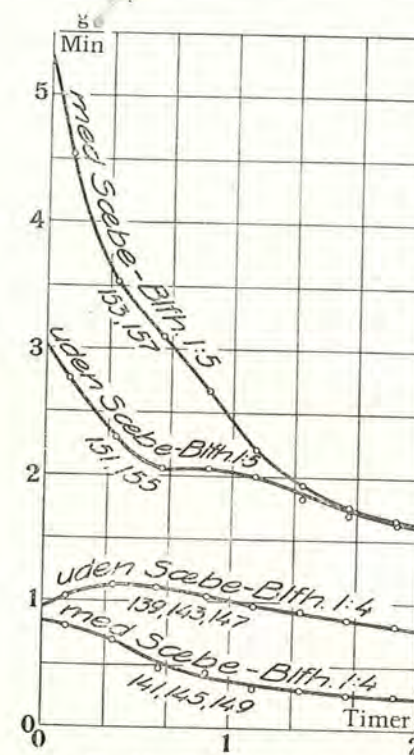


Fig. 22. Vandlagrede Rør. Alder: 5 1/2 Maaned. $h = 200$ cm.

Strømstyrkens Variation i de to Timer er vist paa Fig. 21 og 22. For de luftlagrede, sæbeholdige Rør 1:4 er Kurven straks nedadgaende, og Tæthedstilvæksten ved Forsøgets Begyndelse var i Virkeligheden større end Kurven viser, thi i Løbet af de første Sekunder aftog Strømstyrken

meget stærkt. Dette kunde tyde paa, at den sæbeholdige, luftlagrede Mørtel har en Evne til hurtig at svulme i Berøring med Vand.

Rørene holdtes under Tryk udover de to Timer, og paa Fig. 21 er Strømstyrken efter 21 Timers Forløb indtegnet. For de vandlagrede Rør 1 : 5 paa Fig. 22 fandtes paa samme Tid ca. 0,6 g/Min. De vandlagrede Rør 1 : 4 var efter nogle Døgn Forløb saa tætte, at de ikke mere dryppede.

Paa et tidligere Tidspunkt var der udført Forsøg med sæbeholdige Mørtler 1 : 2 og 1 : 3, men uden Parallelforsøg med sæbefri. Disse Rør er indført i Tabel 11. Til det halve Antal brugtes den tidligere angivne

Tabel 11.

Rør Nr.	Blfh.	Lagringsmaade	Rumvægt g/cm ³
35, 39, 43, 47	1 : 2	Vand	2,226
34, 38, 42, 46	—	Luft	2,247
37, 41, 45, 49	1 : 3	Vand	2,212
36, 40, 44, 48	—	Luft	2,235

Sæbeopløsning, til Resten en halv saa stærk, men da Vandtætheden viste sig uafhængig af Opløsningens Styrke, er de to Grupper behandlede under eet. Sæbevandstilsætningen var for Mørtlerne 1 : 2 og 1 : 3 henholdsvis 9,0 og 8,7 %. Rørene var 58 Døgn gamle ved Prøvningen; de sidste 30 Døgn var de lagrede i Laboratoriets Luft.

Ved Prøvningen udsattes de først for 240 cm Vandtryk i 15—50 Minuter, eftersom de var mer eller mindre utætte; Formaålet hermed var at faa Rørvæggene mættede med Vand. Derefter begyndte det egentlige Forsøg, ved hvilket Trykhøjden først var 240 cm og efterhaanden formindskedes til 25 cm. Dette lave Tryk, der kun medførte en ringe Vandgennemgang, holdtes i ca. 17 Timer, ved de større Trykhøjder varierede Forsøgstiden fra 35 til 87 Minuter efter Rørenes Utæthedsgrad.

De vandlagrede Rør havde før Forsøgets Begyndelse en lysegraa Farve. Da der aabnedes for Vandet, fremkom mørke Pletter, utvivlsomt paa de Steder hvor Vandgennemgangen var stærkest. Efterhaanden som Forsøget skred frem, voksede de mørke Arealer, skønt Trykhøjden mindskedes, men endnu ved 25 cm Trykhøjde kunde der være lyse Partier. Om der gik Vand gennem disse kunde ikke afgøres. Ogsaa nogle af de luftlagrede Rør havde lyse Pletter ved Forsøgets Slutning.

I Fig. 23 er Forholdet mellem Trykhøjde og Strømstyrke vist. Man ser, at Rørenes Tæthed i højere Grad afhænger af Lagringsmaaden end af Cementindholdet, ganske som ved Rør uden Sæbe.

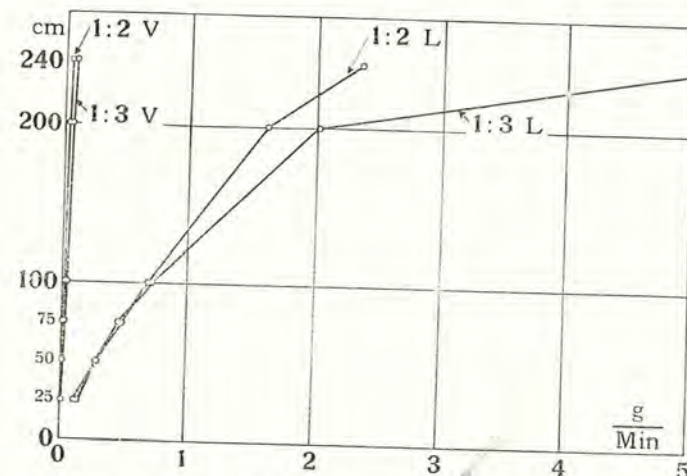


Fig. 23. Sæbeholdig Mørtel. Alder: 58 Døgn.

De luftlagrede Rør har som sædvanligt en større Rumvægt end de vandlagrede, men indenfor hver af de 4 Grupper var der en nøje Forbindelse mellem Rumvægt og Tæthed; jo større Rumvægt, des større Tæthed, naar Lagringsmaaden er ens.

Alle de luftlagrede Rør viste ligesom de luftlagrede, sæbeholdige Rør 1 : 4 fra den første Forsøgsrække, en hurtigt voksende Tæthed i de første Sekunder eller Minuter.

Af den 1ste Forsøgsrække fremgaar, at Støbning med Sæbevand virker langt kraftigere end Imprægnering med Vandglas, men vandlagrede Rør uden Sæbe er mange Gange tættere end luftlagrede Rør med Sæbe.

Senere udførte Styrkeforsøg med sæbeholdig Mørtel viser, at Sæben forringer Styrken. Naar Sæbeopløsningens Styrke er givet (1 : 9), svækkes en plastisk Mørtel meget stærkt, en til Rørstøbning egnet, vandfattig Mørtel kun lidet.

11. Rørenes Filtervirkning.

Cementrør Nr. 98 (se Tabel 9) tættede sig efter nogen Tids Henstand under $h = 200$ cm pludseligt paafaldende hurtigt (Fig. 24), og det samme var Tilfældet med endnu et Rør (Nr. 120). Da der til disse to Rør var brugt nogle særlige Tilførselsslanger, hvis Kautsjuk senere viste sig at være af daarlig Kvalitet, maa det antages, at Partikler fra Slangen har samlet sig i en nedadvendende Bugt paa denne og pludseligt er blevet ført ind i Forsøgsrøret, ved at Slangen er blevet løftet. Til Bekræftelse af denne Hypotese prøvedes det i Tabel 5 omtalte Rør Nr. 170 først med Ledningsvand og derefter med Vand, hvori der var opslæmmet Talkum; Trykhøjden var i begge Tilfælde 2 m. Med Ledningsvand fandtes

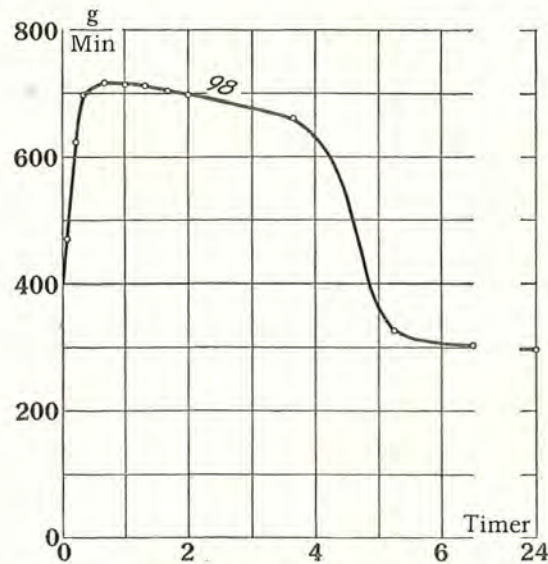


Fig. 24. Pludselig Tætning.

i den dybest liggende Del af Slangen at være urent, og dette Vand blev derfor opsamlet og brugt paa følgende Maade. Et nyt Cementrør (Nr. 118) blev prøvet med rent Ledningsvand og $h = 200$ cm i 100 Minuter, hvorefter det urene Vand fra Rør Nr. 82 hældtes ned i Stigrøret. Som Fig. 25 viser, var Virkningen meget voldsom, idet Strømstyrken i Løbet af 20 Minuter sank fra 400 til 20 g/Min.

At en saadan Filtervirkning har været tilstede ved samtlige Forsøg, blot i svagere Grad, er utvivlsomt. Ledningsvandet er ikke absolut rent, og i Mariotteflasken havde det Lejlighed til at optage Støv fra den indsugede Luft; i alt Fald gælder dette de første Forsøg ved hvilke der ikke, som ved de senere Forsøg, var anbragt en Vatprop i Mariotteflaskens Indsugningsrør. Den Rolle, uorganiske Partikler har spillet ved Rørens Tætning, er dog formentlig af underordnet Betydning, undtagen i de Tilfælde, hvor Rørene stod under Tryk i meget lange Perioder. Derimod blev det, efterhaanden som Forsøgene skred frem, mere og mere aabensbart, at Vandbakterier og deres Slimdannelser spillede en ikke uvæsentlig Rolle ved Rørens Tætning, hvorom nærmere senere.

Ogsaa andre Organismer var medvirkende. I en Draabe af det urene Vand, der brugtes til det nys beskrevne Forsøg (Fig. 25), saas under

$Q = 300$ g/Min, og med Talkumvand fandtes umiddelbart efter $Q = 22$ g/Min. Da Røret toges ud, var dets Inderside besat med større og mindre Talkumpletter formentlig ud for de største Porer, og Pletterne var til dels samlede i vandrette Bælter, utvivlsomt svarende til Stampeflader.

Forsøget gentoges under en noget anden Form. Ved Udtagelse af et Rør (Nr. 82), der havde staaet under Tryk i 6 Uger og langsomt havde tættet sig næsten helt, fandtes Vandet i Rørets Bund og

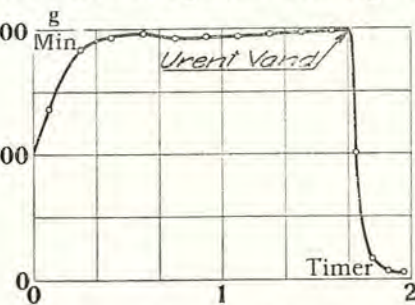


Fig. 25. Urent Vands Tætteevne.

Mikroskopet 6 meget livlige Orme, mere langstrakte end Aal, men glasklare og kun ca. $\frac{1}{20}$ mm lange. De blev undersøgt paa zoologisk Museum, der oplyste, at det var nogle ret smaa Eksemplarer af Nematoder (Rundorme), der ofte findes i Ferskvand og Jord og i Vandværkernes Filtre; hvorvidt de kommer ud i Ledningerne som Orme eller Æg vides ikke.

Det urene Vands store Tætteevne kan der drages Nytte af i Praksis, idet man kan tætte lækkende Vandbeholdere ved at drysse Kalkpulver eller andre Pulvere i Vandet.

12. Langvarige Forsøg.

Hvorvidt utætte Rør, naar de vedvarende holdes under et lavt Tryk, efterhaanden tætter sig, undersøgtes ved Hjælp af 4 Rør, der i Løbet af $2\frac{1}{4}$ Aar holdtes under et konstant Vandtryk af 25 cm Højde regnet fra Rørets Midtpunkt. Forsøgsanordningen var i dette Tilfælde noget afvigende fra den tidligere beskrevne, idet Ledningen fra Mariotteflasken endte i et vandret Jærnrør, fra hvis Underside der udgik 4 Stutse med Flanger, paa hvilke Forsøgsrørene fastspændtes. Rørenes Alder m. m. fremgaar af Tabel 12.

Tabel 12.

Rør Nr.	Blfh.	Alder	De første 28 Døgn i	Rumvægt
4.....	1:2	164 Døgn	Luft	2,232
7.....	—	162 —	Vand	2,166
11.....	1:3	160 —	Luft	2,172
16.....	—	123 —	Vand	2,216

Fig. 26 viser den samlede Mængde gennemsvivet Vand med Tiden som Abscisse. Fig. 27 viser Strømstyrkens Aftagen for Rør Nr. 11 ved Forsøgets Begyndelse; man ser, at Strømstyrken for dette Rør i Løbet af 12 Timer er sunket til $\frac{1}{10}$ af Begyndelsesværdien, og tilsvarende Kurver fandtes for de øvrige Rør. Rør Nr. 16 (1:3, Vandlagring) var straks meget tæt og blev fuldkommen tæt i Løbet af 3—4 Uger; dette Rørs unormale Forhold maa skyldes en særlig kraftig Stampning, thi dets Rumvægt er væsentlig større end det tilsvarende luftlagrede Rørs, mens den burde have været mindre.

Strømstyrken for de tre utætte Rør var i de første 15 Minuter ved Forsøgets Begyndelse (Aug. 1925) og i de sidste to Maaneder ved Forsøgets Afslutning (Nov. 1927):

Rør Nr.	Begyndelsesværdi	Slutværdi
4	2,9	0,00056 g/Min
7	3,8	0,00070 —
11	18,3	0,00089 —

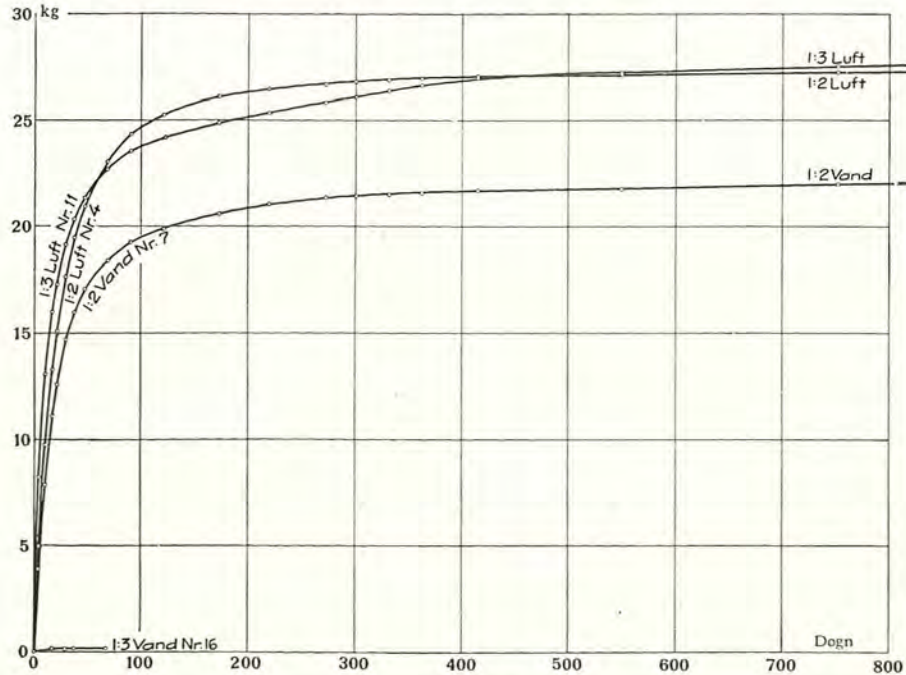


Fig. 26. Cementrørs Selvtætning i Løbet af $2\frac{1}{4}$ Aar. $h = 25$ cm.

Man ser, at det utætteste Rør har tættet sig forholdsvis mest.

Vandets Temperatur viste sig at have en betydelig Indflydelse paa Strømstyrken, der derfor var større om Dagen end om Natten. F. Eks. fandtes for Rør Nr. 7:

19. Aug. Kl. 8 til 19. Aug. Kl. 17.....	0,65 g/Min
- - - 17 - 20. - - 8.....	0,53 —
20. - - 8 - - - 17.....	0,63 —
- - - 17 - 21. - - 8.....	0,54 —
21. - - 8 - - - 17.....	0,64 —

Da de 4 Rør allerede ved Forsøgets Begyndelse var mer eller mindre tætte, og da det kunde tænkes, at kun saadanne Rør var i Besiddelse af Selvtætningsevne, undersøgte ogsaa stærkt porøse Rørs Forhold.

De luftlagrede Rør 1 : 4 i Stykke 8, Fig. 14 holdtes under 200 cm Vandtryk i 30—40 Døgn, hvorved de tættede sig meget stærkt. Strømstyrken var til Slut kun nogle faa Gram eller Brøkdele af Gram pr. Minut. Fig. 28 viser Middelkurven for de to Rør med 7 % Vand (Nr. 80 og 82).

Ogsaa de unge Rør 1 : 5 paa Fig. 11 blev holdt under Tryk længe og viste stadig fremadskridende Tætning. F. Eks. fandtes:

Rør Nr. 167 og 169 efter 13 Døgn:	$Q = 0,055 \cdot Q_{maks}$
- - 168 og 170 - - - :	$Q = 0,330 \cdot Q_{maks}$
- - 163 og 165 - - - :	$Q = 0,120 \cdot Q_{maks}$
- - 164 og 166 - - - :	$Q = 0,300 \cdot Q_{maks}$
- - 164 - 29 - - - :	$Q = 0,004 \cdot Q_{maks}$
- - 166 - 76 - - - :	$Q = 0,00004 \cdot Q_{maks}$
- - 162 - 45 - - - :	$Q = 0,005 \cdot Q_{maks}$

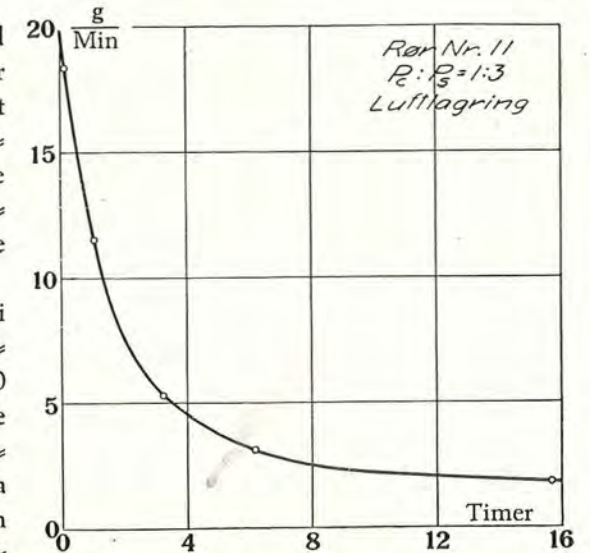


Fig. 27. Strømstyrkens Aftagen ved Forsøgets Begyndelse. $h = 25$ cm.

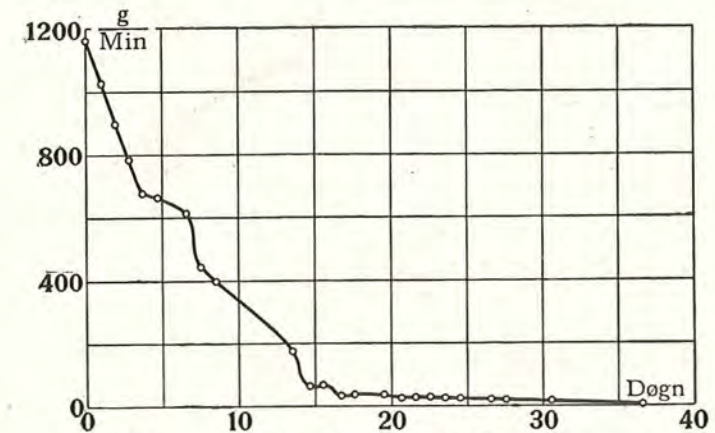


Fig. 28. Luftlagrede Rør 1 : 4. $h = 200$ cm.

Mange andre Rør har været holdt under Tryk i Uger og Maaneder, og de er alle uden Undtagelse blevne tættere, selv Rør af Blfh. 1:10.

13. Selvtætningens Aarsager.

Cementrørens Selvtætning skyldes to Aarsager:

(1) Svulmning af Cementen, der gør sig meget stærkt gældende ved Forsøgets Begyndelse, senere i ringere Grad (Fig. 27).

(2) En Filteffekt, hvorved Rørvæggens Porer tilstoppes af Stoffer, der ikke stammer fra Røret, men fra Vandet. Denne Virkning bliver efter alt at dømme hurtigt mere dominerende end (1). Der maa skelnes mellem:

(2a) Vandets uorganiske Stoffer, der næppe har spillet nogen væsentlig Rolle undtagen maaske ved de meget langvarige Forsøg.

(2b) Vandets Organismer og deres Afsondringer, der i høj Grad har bidraget til Tætningen. Naar ogsaa disse Stoffers Virkning betegnes som en Filteffekt, er det muligvis mindre korrekt, thi forskellige Iagttagelser tyder paa, at Organismerne i mindre Grad tilbageholdes paa Rørets Inderside og i dets Porer; snarere vokser de i Porerne og paa Rørets Yderside, hvor Lufttilgangen er rigelig.

I hvor høj en Grad Selvtætningen skyldes (1) og i hvor høj en Grad den skyldes (2b) er det ikke lykkedes at afgøre. Nogle Forsøg skal omtales.

Det i Stykke 8, Tabel 7 nævnte Rør Nr. 84 viste efter 1 Døgns Henstand under $h = 200$ cm Værdien $Q = 818$ g/Min. Det blev taget ud og lagret 22 Døgn i Vand, der jævnlig fornyedes, hvorefter en ny Prøve med $h = 200$ gav $Q = 10,8$ g/Min. Denne Tæthedsforøgelse er lige saa stor som hos tilsvarende Rør, der stod under Tryk i de 22 Døgn.

Det tilsvarende Rør Nr. 86 viste efter 1 Døgns Henstand under $h = 200$ cm Værdien $Q = 500$ g/Min. Efter 5 Døgns Vandlagring fandtes $Q = 323$ g/Min.

Paa Rør Nr. 90 havde 4 Døgns Vandlagring derimod ingen Virkning.

Rør Nr. 122 (1:5) viste efter 20 Timers Henstand under $h = 200$ Værdien $Q = 1289$ g/Min. Efter 6 Ugers Vandlagring fandtes $Q = 50$ g/Min.

Rørene Nr. 119 og 121 (1:5) viste efter 20 Timers Henstand under $h = 200$ cm Middelværdien $Q = 49,2$ g/Min. Efter 5 Ugers Vandlagring fandtes $Q = 2,5$ g/Min.

Disse Forsøg tyder paa, at Tætningen skyldes (1), men Muligheden for at den skyldes Organismer er ikke udelukket, og andre Forsøg, der omtales senere, tyder bestemt paa Organismernes Medvirken.

At Cementens Svulmning fortsætter sig længe kan næppe betvivles, i alt Fald fortsætter Rørens Vandoptagelse sig længe, som bl. a. følgende

Forsøg med Cementrør Nr. 75 (1:4, vandlagret, Alder: $2\frac{2}{12}$ Aar) viser. Røret blev tørret ved 50° , hvorved det tabte 1,45 g i Vægt. Derefter holdtes det under et variabelt Vandtryk fra $\frac{9}{7}$ til $\frac{11}{9}$, og i denne Tid foretoges 25 Rumvægtsbestemmelser, der viste, at baade Vægt, Rumfang og Rumvægt voksede fra Dag til Dag. Nogle af Værdierne er opført nedenfor:

	Vægt	Rumfang	Rumvægt
$\frac{9}{7}$ tørret.....	243,17 g	111,99 cm ³	2,171 g/cm ³
— vandholdigt.....	255,05 -	112,29 -	2,271 -
$\frac{10}{7}$ —	256,05 -	112,39 -	2,278 -
$\frac{11}{7}$ —	256,90 -	112,41 -	2,285 -
$\frac{25}{7}$ —	260,85 -	112,43 -	2,320 -
$\frac{9}{8}$ —	262,30 -	112,59 -	2,330 -
$\frac{11}{9}$ —	263,40 -	112,61 -	2,339 -
— tørret.....	244,20 -	112,00 -	2,180 -

Den gængse Forklaring af Cementmørtels Selvtætning, nemlig at Vandet opløser Kalk, og afsætter den paa Steder, hvor den virker mere stoppende, er ikke blevet bekræftet ved de foreliggende Forsøg, thi som det vil fremgaa af det følgende, viser ogsaa Lerrør Selvtætning.

14. Trykvariationsforsøg.

Den teoretiske Udviklings Resultat, at Q og h er proportionale, har et konstant Poretværsnit til Forudsætning. Hvis Røret tætter sig, medens Forsøget foregaar, er denne Forudsætning ikke opfyldt. Lader man Trykket i et saadant Rør stige fra Nul til h , og maaler man Q for forskellige

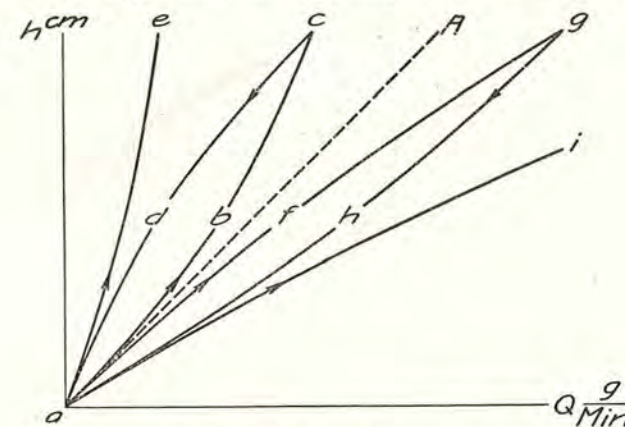


Fig. 29. Trykvariationskurver.

Trykhøjder, finder man i Stedet for den rette Linie aA en Kurve som abc paa Fig. 29, og lader man derefter Trykket aftage, fremkommer en Kurve som cda . Lader man atter Trykket stige, faas en Kurve som ac .

Ved Forsøgets Begyndelse er Forholdet omvendt for de Rør, der viser Luftuddrivning og altsaa aftagende Tæthed. Lader man Trykket i et saadant Rør variere i Ordenen $0-h-0-h$, findes Kurver som $afg-gha-ai$.

Under disse Forhold volder et eksperimentelt Studium af Q 's Variation med h store Vanskeligheder, thi i Begyndelsen forvanskes Resultatet ganske af Luftuddrivningen og Cementens Udbulning, og senere gør denne og andre tættende Indflydelser sig gældende.

15. Forsøg med Cementrør Nr. 10 og 78.

Som Eksempel paa Forsøgsfremgangsmaaden og de Foreteelser, der viste sig under Forsøgene, skal omtales Forsøgene med Rør Nr. 10. Dette Rørs Dimensioner var:

Ydre Diameter: 4,99 cm, Vægtykkelse: 0,99 cm, Længde: 8,79 cm.

Vægt, Rumfang og Rumvægt var som angivet i Tabel 13, Linie a. Blandingsforholdet var 1 : 3. Røret var luftlagret. Dets Alder var 309 Døgn.

Tabel 13.

Tørhedsgrad	Vægt	Rumfang	Rumvægt
a. Lufttørt.....	235,3 g	108,9 cm ³	2,161 g/cm ³
b. Vandmættet.....	251,4 -	109,7 -	2,291 -
c. Tørret ved 120°.	230,2 -	108,8 -	2,116 -

Strømstyrken bestemtes ved Trykhøjderne: 50, 100, 150, 100 og 50 cm regnet fra Rørets Midte og en Forsøgstid paa 20 Minuter for de to første og 10 Minuter for de tre sidste. Vandgennemgangen var:

Trykhøjde h cm	50	100	150	100	50
Strømstyrke g/Min	17,4	79,7	451,0	316,6	157,5.

Resultatet er fremstillet grafisk paa Fig. 30, hvor denne Kurve er mærket $14/1$. Opgangskurven er trukket op, Nedgangskurven punkteret. Strømstyrken er stærkt voksende under Opgangen som Følge af Poreluftens Uddrivning. Nedgangskurven er næsten retliniet, fordi Luftuddrivningen er standset.

Fra $14/1$ til $18/1$ henstod Røret under $h = 10$ cm. Derefter fandtes Opgangskurven mærket $18/1$ I, der viser, at Røret er tættere end $14/1$, og at det tætter sig under Forsøget, idet Kurvens Konkavitet vender opad.

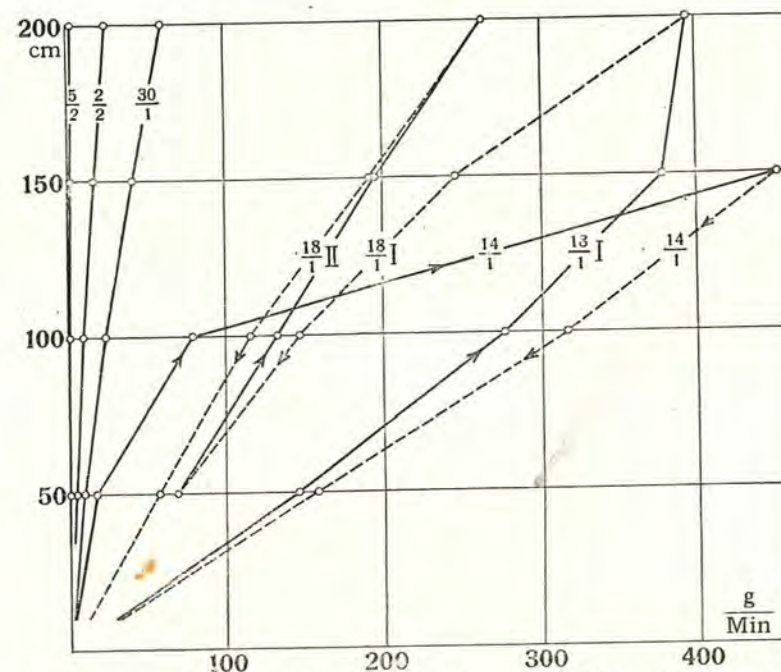


Fig. 30. Cementrør Nr. 10. Blfh. 1:3, luftlagret. Alder: 10 Maaneder.

Den unormalt stærke Tætning ved Overgangen fra $h = 150$ til $h = 200$ cm skyldes muligvis, at der i de foregaaende Dage med ringe Strømstyrke har samlet sig Urenheder i Gummislangens Bugt, og da Mariotteflasken blev hævet til $h = 200$, er Slangen blevet rettet ud, hvorved disse Urenheder er blevet ført ind i Røret. Nedgangskurven $18/1$ I (den punkterede) viser fortsat Tætning. Forsøget blev umiddelbart efter gentaget, og Kurverne ($18/1$ II) viser yderligere Tætning.

Røret henstod derefter under $h = 10$ cm afbrudt af Forsøg $30/1$, $2/2$ og $5/2$. Ved disse faldt Op- og Nedgangskurverne meget nær sammen, og kun Middelkurverne er tegnede.

Efter yderligere Henstand under $h = 50$ cm indtil $24/2$ fandtes for denne Trykhøjde $Q = 0,055$ g/Min, hvilket er ca. $1/3000$ af den tilsvarende Værdi $14/1$.

Røret blev derefter taget ud; der var ingen Belægning paa Indersiden. Rumvægten bestemtes for det vandmættede og derefter for det tørrede Rør (Tabel 13, Linie b og c). Vægttabet fra Linie a til Linie c skyldes utvivlsomt kun den stærke Tørring.

Rørvæggens Porerumfang kan ikke bestemmes nøjagtigt af Vandoptagelsen, da nogle Porer kan være forblevne luftfyldte, og da der utvivlsomt er sket en kemisk Vandoptagelse under Forsøget og en Dekomposition under Tørringen. En Maksimalværdi for det vandfyldte Porerumfang faar

man ved at forudsætte, at Forskellen i Vægt mellem Linie b og c i Tabel 13 udelukkende skyldes hygroskopisk Vand. 1 cm^3 af den tørrede Rørvæg har da i vandmættet Tilstand indeholdt $\frac{251,4 - 230,2}{108,8} = 0,195 \text{ cm}^3$ Vand, svarende til 19,5 % vandfyldte Porer. Under samme Forudsætning har det lufttørre Rør indeholdt $\frac{235,3 - 230,2}{108,8} = 0,046 \text{ cm}^3$ hygroskopisk Vand pr. cm^3 eller 2,2 Vægtprocent.

Paa et senere Tidspunkt udførtes et lignende Forsøg med Cementrør Nr. 78. Dette Rørs Dimensioner var:

Ydre Diameter: 5,02 cm, Vægttykkelse: 0,98 cm, Længde: 8,98 cm.

Blandingsforholdet var 1 : 4 med 8 % Vand. Røret var luftlagret og $2\frac{2}{12}$ Aar gammelt. Efter Tørring ved 50° til konstant Vægt og Afkøling i Ekssikator fandtes de i Tabel 14, Linie a indførte Værdier.

Tabel 14.

	Vægt	Rumfang	Rumvægt
a. Tørret ved 50° ..	242,7 g	111,4 cm^3	2,179 g/cm^3
b. Vandholdigt	260,7 -	112,0 -	2,327 -
c. Tørret ved 50° ..	243,1 -	111,3 -	2,183 -
d. Vandholdigt	258,3 -		

Røret blev først prøvet med $h = 50 \text{ cm}$, hvorved fandtes den paa Fig. 31 viste Kurve, mærket $13/7$. I den 1ste Time tætter Røret sig, fordi Virk-

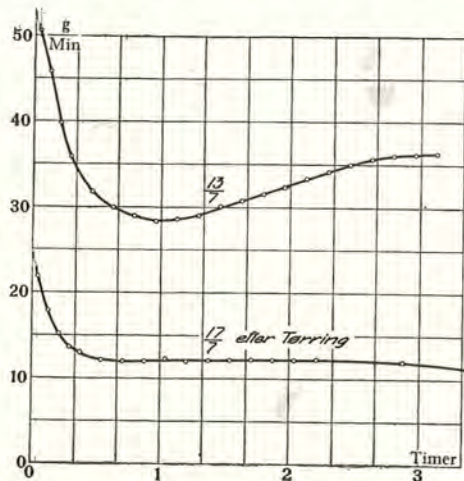


Fig. 31. Cementrør Nr. 78. Blfh. 1 : 4, luftlagret. Alder: $2\frac{2}{12}$ Aar.

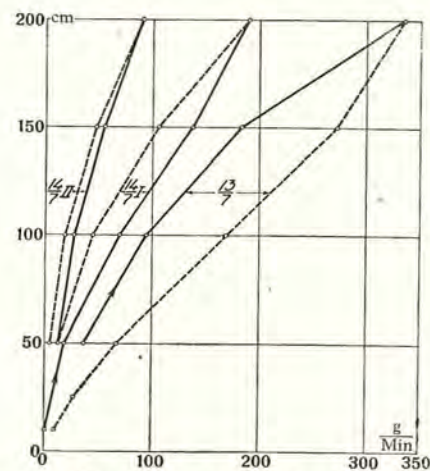


Fig. 32. Cementrør Nr. 78. Blfh. 1 : 4, luftlagret. Alder: $2\frac{2}{12}$ Aar.

ningen af Cementens Svulmning overvejer Virkningen af Luftens Uddrivning, derefter er Forholdet det omvendte. Efter 3 Timers Forløb blev Forsøget afbrudt, en Fortsættelse vilde utvivlsomt have givet en synkende Kurve.

Andre Rør af lignende Art (1 : 4, luftlagrede) blot yngre og ikke ovntørrede, er omtalt i Stykke 8, 9 og 10. Sammenlignes deres Kurver paa Fig. 14, 18 og 21, der gælder for $h = 200$, med Kurven paa Fig. 31, der gælder for $h = 50$, er der en ejendommelig Forskel; naar der begyndes med det store Tryk, dominerer Luftuddrivningen over Cementens Svulmning; naar der begyndes med det lille Tryk, er Forholdet omvendt.

Umiddelbart efter foretoges et Trykvariationsforsøg, ved hvilket Strømsstyrken maales i to paa hinanden følgende 5 Minutters Perioder:

h i cm	50	100	150	200	150	100	50
Q i første 5 Min. g/Min .	36,4	94,2	176,4	317,0	276,0	171,6	68,6
Q i næste 5 -	-	-	36,4	95,6	189,6	352,2	268,4
Tilvækst	0,0	1,4	13,2	35,2	-7,6	-5,2	-1,8

De positive Tilvækster under Opgangen viser, at Luftuddrivningen, der var standset ved $h = 50$, fortsættes, naar Trykket vokser. Under Nedgangen tætter Røret sig. Middelværdierne for de to Perioder under eet giver de paa Fig. 32 med $13/7$ mærkede Kurver, af hvilke Opgangskurven viser stærk Luftuddrivning, og denne ses at have fortsat sig i de Minuter, Omskiftningen fra 200 til 150 cm foregik.

Røret henstod under 10 cm Tryk om Natten, og næste Dag foretoges et nyt Forsøg, ved hvilket Q maales i to paa hinanden følgende 10 Minutters Perioder:

h i cm	50	100	150	200	150	100	50
Q i første 10 Min. g/Min .	18,3	71,0	140,3	193,3	113,5	48,7	13,7
Q i næste 10 -	-	-	18,0	68,7	134,7	185,6	98,6
Tilvækst	-0,3	-2,3	-5,6	-7,7	-14,9	-8,4	-2,4

Paa hvert enkelt Trin tætter Røret sig og mest under Nedgangen. Middeltallene giver de paa Fig. 32 med $14/7$ I mærkede Kurver, og et umiddelbart derefter foretaget Forsøg Kurverne $14/7$ II, der meget nær svarer til Kurverne for Rør Nr. 10 og viser to Virkninger:

- 1) Rørets Porøsitet er aftagende under hele Forsøget.
- 2) Rørets Porøsitet vokser og aftager med Trykket.

Rumvægtsbestemmelser efter Forsøget gav Værdierne i Tabel 14, Linie b og c. Den lille Vægtforøgelse skyldes kemisk bundet Vand.

Røret blev nu atter prøvet med 50 cm Tryk, og Kurven $17/7$ paa Fig. 31 viser Resultatet. Tørringen har forøget Porøsiteten til det 6-7 dobbelte af Slutporøsiteten $14/7$, men ikke bragt den op til Begyndelsesværdien $13/7$.

Vandpaavirkningen fra $13/7$ til $14/7$ har altsaa givet Røret en blivende Tæthed, der ikke forsvinder naar Røret tørres ved 50° . Iøvrigt viser Kurven Cementens Svulmning, men kun i ringe Grad Luftuddrivning. Efter i alt 10 Timers Henstand fandtes $Q = 0,87$ g/Min og den i Tabel 14, Linie d indførte Vægt, der viser, at Røret er mindre vandholdigt end i Linie b. Det lave Tryk har ikke kunnet uddrive saa megen Luft som det høje.

Den fortsatte Tilstopning af Porerne, som begge Cementrørene viser, kan have 3 Aarsager:

(1) En fortsat Svulmning af Cementen, idet Forsøget er at betragte som en Vandlagring, under hvilken Tætheden stadig vokser.

(2) En Opløsning af Cementens Kalk med paafølgende Udfældning paa Steder, hvor den virker mere stoppende.

(3) En Tilførsel af fremmede Stoffer, der ikke stammer fra Rørvæggen, men fra Vandet eller Luften.

Hvis Tilstopningen alene skyldes (1) eller (2), skulde et Lerrør ikke tætte sig. Derfor foretoges Forsøg med et saadant.

16. Forsøg med Rør af Moler og med Ledningsvand.

Dette Rør (Nr. 50) blev udarbejdet af en almindelig brændt Moler-mursten. Dets Dimensioner var:

Ydre Diameter: 5,29 cm, Vægtykkelse: 1,00 cm, Længde: 9,025 cm.

Vægt, Rumfang og Rumvægt var som angivet i Tabel 15, Linie a.

Tabel 15.

	Vægt	Rumfang	Rumvægt
a. Oprindelig ($25/11$) ...	96,0 g	121,6 cm ³	0,789 g/cm ³
b. Vandmættet ($27/11$) ..	175,5 -	121,7 -	1,442 -
c. Tørret (do.)....	94,5 -	(0,777 à 0,779) -	-
d. Vandholdigt ($28/11$)..	166,0 -	121,4 -	1,367 -
e. Vandmættet ($27/11$)...	175,6 -	121,7 -	1,443 -
f. Tørret	93,7 -	120,3 -	0,779 -
g. —	86,8 -	111,7 -	0,778 -
h. Vandmættet	163,3 -	113,5 -	1,439 -
i. Tørret	86,9 -	111,6 -	0,779 -

Røret udsattes for 25 cm Vandtryk, der i Spring paa 25 cm forøgedes til 200 cm. Paa hvert Trin var Forsøgstiden 20 Minuter.

I Fig. 33 angiver Kurven mærket $25/11$ Resultatet. Røret henstod under $h = 25$ cm til næste Dag, da et nyt Forsøg gav Kurven $26/11$. Kurven $25/11$ er ligesom de ved Cementrørene fundne Kurver krum paa Grund af Luf-

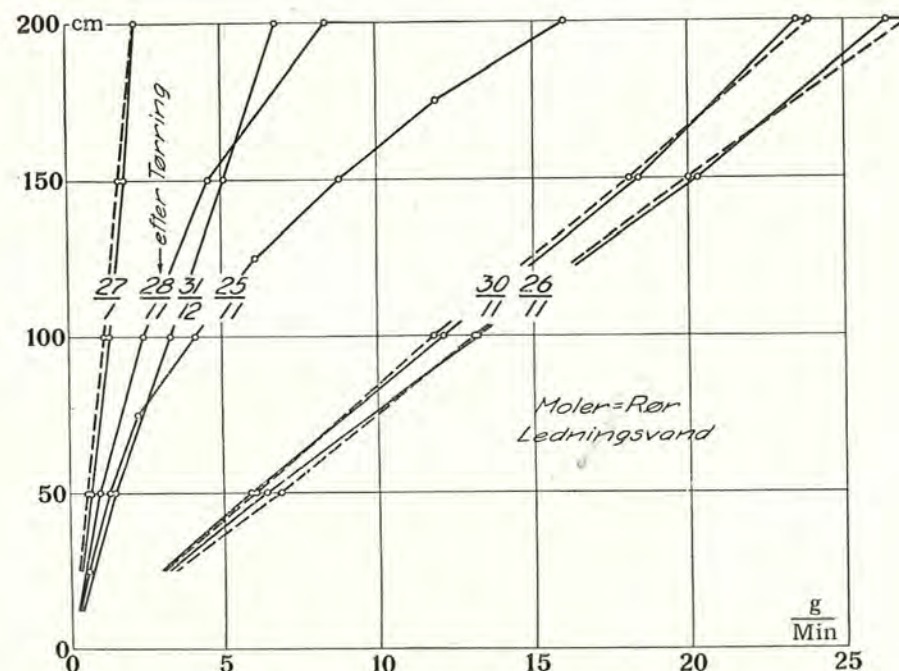


Fig. 33. Molerrør Nr. 50. Ledningsvand.

tens Uddrivning. Denne er formentlig standset i Løbet af det følgende Døgn under de 25 cm Tryk, thi Forsøget $26/11$ giver en retliniet Kurve, saaledes at Strømstyrken nu er proportional med Trykket.

Næste Dag bestemtes Rumvægten af Røret, som altsaa nu var vandmættet, og bagefter Vægten i tørret Tilstand (Tabel 15, Linie b og c). Det ses, at 1 cm³ Materiale har optaget $1,442 - 0,789 = 0,653$ cm³ Vand. Det vandfyldte Porerumfang er følgelig 65,3 %. At det tørrede Rør er lidt lettere end oprindelig skyldes, at det oprindelig har indeholdt lidt Fugtighed. Det tørrede Rørs Rumfang blev ikke maalt, men det kan med Sikkerhed siges at have ligget mellem Grænserne 121,6 og 121,2 cm³, hvortil svarer Rumvægtene henholdsvis 0,777 og 0,779. Da Materialets Vægtfylde var 2,21 (bestemt ved at pulverisere Resten af Molerstenen og bestemme Vægtfylden af det tørrede Pulver), svarer til disse Rumvægte et Porerumfang paa 64,8 %, altsaa omtrent det samme som bestemt af Vandoptagelsen.

Ved et Forsøg med det tørrede Rør $28/11$ (se Fig. 33) blev Kurvens Form ganske som $25/11$, men Vandgennemgangen var mindre. Det skyldes til Dels, at Forsøgets Varighed var mindre (80 Min. mod 160 Min. ved første Forsøg), men ogsaa en begyndende Selvtætning. En efter For-

søgets Slutning foretagen Rumvægtsbestemmelse (Tabel 15, Linie d) viser, at Rørvæggen ikke har været vandmættet.

Røret henstilledes saa under $h = 25$ cm til $^{30}/_{11}$, da der udførtes et nyt Forsøg. Kurven er atter omtrent retliniet, men stejlere end $^{26}/_{11}$, hidrørende fra Tætningen.

Røret blev atter stillet under $h = 25$ cm kun afbrudt af Forsøg $^{1}/_{12}$, $^{8}/_{12}$, $^{29}/_{12}$ og $^{31}/_{12}$, der alle gav en retliniet Kurve, hvis Stejlhed voksede for hvert Forsøg. Kurven $^{31}/_{12}$ er indtegnet paa Fig. 33; Op- og Nedgangsværdierne var næsten ens, kun Middelværdierne er indtegnede.

I Løbet af den følgende Maaned forøgedes Trykket efterhaanden til 175 cm for at fremskynde Tætningen. $^{27}/_{1}$ udførtes atter et Forsøg (Fig. 33), hvorefter Røret blev taget ud. Indersiden var belagt med et graabrunt Slamlag, som fjernedes, hvorefter en Rumvægtsbestemmelse gav de i Tabel 15, Linie e indførte Værdier, altsaa omtrent de samme som i Linie b. Tæthedsforøgelsen siden $^{30}/_{11}$ kan da ikke skyldes Luftudskillelse i Porerne. Efter fuldstændig Rensning og Tørring fandtes Værdierne i Linie f. En Sammenligning med Linie c viser, at Vægten er blevet lidt mindre som Følge af Rensning og mulig tilfældig Beskadigelse. Rumvægten er derimod omtrent uforandret, hvilket viser, at der kun i meget ringe Omfang kan være vandret tunge Stoffer ind i Rørvæggen med Vandet.

Røret stillede atter under 25 cm Vandtryk 1 Døgn, hvorefter Kurven $^{6}/_{2}$ paa Fig. 34 fandtes. Den viser, at Slamlagets Fjernelse og Tørringen har forøget Strømstyrken stærkt i Forhold til $^{27}/_{1}$, men den naar dog ikke nær op til Begyndelsesværdien $^{26}/_{11}$. Tæthedsforøgelsen skyldes altsaa kun til Dels Overfladebelægningen.

Da det kunde tænkes, at de tættende Stoffer var trængt et Stykke ind i Rørvæggen, blev Røret taget ud $^{10}/_{2}$, tørret og slebet paa begge Cylinderfladerne, saaledes at de fik samme Beskaffenhed som oprindeligt. Dimensionerne var saa:

Ydre Diameter: 5,21 cm,
Vægtykkelse: 0,91 cm,
Længde: 9,025 cm.

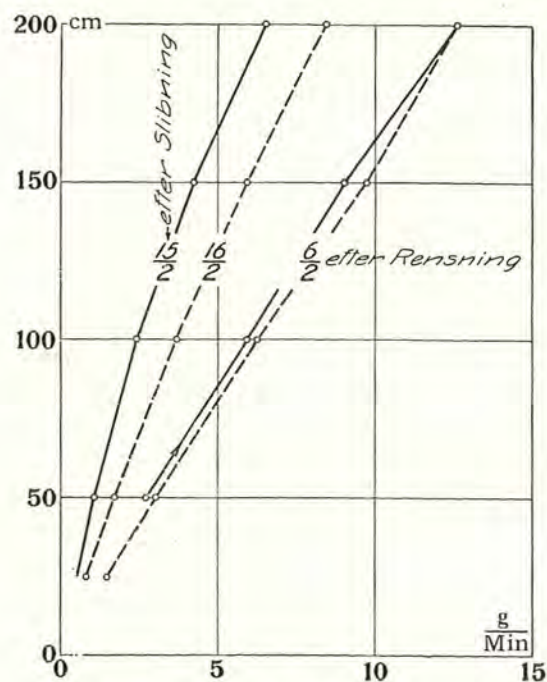


Fig. 34. Molerrør Nr. 50. Ledningsvand.

Vægt, Rumfang og Rumvægt er angivet i Tabel 15, Linie g. Ved et nyt Forsøg fandtes Opgangskurven $^{15}/_{2}$, ved hvilken der er Luft i Rørvæggen, thi Nedgangskurven (ikke tegnet) og en umiddelbart derefter bestemt Opgangskurve viste større Vandgennemgang. Efter en Nats Hens stand under $h = 10$ cm fandtes Nedgangskurven mærket $^{16}/_{2}$, der ligger endnu mere tilhøjre, og dermed er Grænsen naaet, thi Dagen efter findes en stejlere Kurve, idet Selvtætningen atter dominerer.

Rørets Tæthedsforøgelse siden $^{26}/_{11}$ maa altsaa enten skyldes Stoffer, der er trængt dybt ind i Rørvæggen eller en blivende Udbulning af selve Materialet. Det første er det sandsynligste.

Røret henstod under $h = 25$ cm indtil $^{4}/_{3}$; da fandtes:

$$h = 25 \text{ cm } Q = 0,21 \text{ g/Min.} \\ - = 200 - - = 2,09 -$$

Røret forblev under $h = 200$ cm og $^{5}/_{3}$ fandtes $Q = 1,79$ g/Min.

$$^{6}/_{3} - - = 1,57 - \\ ^{26}/_{3} - - = 0,45 - \\ ^{27}/_{3} - - = 0,46 -$$

$^{27}/_{3}$ udtoges Røret. Det var rent indvendig, men Indersiden var slimet at føle paa. Ved en Rumvægtsbestemmelse fandtes Værdierne i Tabel 15, Linie h. En Sammenligning med Linie g viser, at den slimede Hinde har forøget Rumfanget, en Sammenligning med Linie e, at den har formindsket Rumvægten. Ved Tørring skallede Hinden af, og en Rumvægtsbestemmelse gav Værdierne i Tabel 15, Linie i, som ikke afviger nævneværdigt fra Værdierne i Linie g.

Forsøget viser, at Moler tætter sig i samme Grad som Cementmørtel, og at Tætningen delvis skyldes det overfladiske Slimlag, idet dets Fjernelse gør Røret utættere.

En Sammenstilling af Vandgennemgangen for Molerrøret og Cementrør Nr. 10 straks ved Forsøgets Begyndelse findes i Tabel 16.

Tabel 16.

	Trykhøjde	Første 10 Min.	Næste 10 Min.	Tilvækst
Molerrør Nr. 50.....	25 cm	5,7 g	5,9 g	0,2 g
	50 -	12,9 -	13,1 -	0,2 -
	100 -	39,3 -	42,8 -	3,5 -
Cementrør Nr. 10.....	50 -	234,0 -	114,3 -	-119,7 -
	100 -	672,5 -	922,2 -	249,7 -

Molerrøret viser paa alle Trin en Stigning fra de første 10 Min. til de næste 10 Min. som Følge af Luftens Uddrivning, medens Cementrøret paa første Trin viser en stærk Nedgang, idet Virkningen af Cementens Svulmning langt overvejer Virkningen af Luftens Uddrivning. Man tør heraf slutte, at Molerrørets Selvtætning ikke i nogen væsentlig Grad skyldes en Svulmning af Materialet.

Tæthedstilvæksten maa da antages at skyldes Stoffer, som stammer fra Vandet.

Efter $3\frac{1}{2}$ Aars Henstand i Laboratoriet blev Røret afslebet indvendig og ovntørret ved en Temperatur, der efterhaanden bragtes op til 220° . Efter 11 Døgns Ovntørring var Vægten formindsket fra 85,2 til 84,2 g. Det udsattes da for 50 cm Vandtryk; efter 3 Minuters Forløb var hele Røroverfladen vaad, og 1 Minut senere faldt den første Draabe. Derefter fandtes:

I de første 10 Minuter:	$Q = 1,6$ g/Min.
— næste — — :	$Q = 1,4$ —
— — — — :	$Q = 1,5$ —
Efter i alt 3 Timer :	$Q = 2,0$ —
— — $3\frac{1}{2}$ — :	$Q = 2,0$ —

Det gennemsvivende Vand var i den første Time gulligt farvet af fint Molerstøv.

At Q 's Vækst skyldes Luftuddrivning kunde direkte iagttages, idet der kom Luftblærer frem paa Rørets Overflade. Da Q havde holdt sig konstant paa 2 i 40 Minuter, blev Trykket sat op til 200 cm, hvorved fandtes:

I de første 10 Minuter:	$Q = 13,6$ g/Min.
— næste — — :	$Q = 16,8$ —
— — — — :	$Q = 18,4$ —
Næste Dags Morgen :	$Q = 27,6$ —
følgende — — :	$Q = 24,3$ —

altsaa fornyet Luftuddrivning og derefter Tætning.

Maksimalværdien 27,6 svarer meget nær til Maksimalværdien paa Fig. 33; den stærke Udtørring har altsaa omtrent bragt Røret tilbage til dets oprindelige Tilstand, ikke helt, da der maa tages Hensyn til, at Afslibningerne har forringet Vægtykkelsen 10 %.

Ved Trykvariationsforsøg fandtes Nedgangskurverne svagt konkave ned efter, Opgangskurverne svagt konkave op efter som Følge af den stadige Tæthedsforøgelse, men Middelkurven var retliniet.

Da Røret havde henstaaet under det høje Tryk fra $\frac{7}{8}$ til $\frac{10}{8}$ var det slimet udvendig. Q var da sunket til 18,1 g/Min. Et Trykvariationsforsøg gav retliniet Middelkurve.

Røret blev nu udtaget; det vejede 154,8 g. Det blev derefter lagt i Vand, der i 16 Døgn holdtes kogende om Dagen og stod til Afkøling om Natten. Hver Morgen vejedes Røret, og i de første 13 Døgn steg Vægten, derefter holdt den sig konstant. Vægtforøgelsen var da 3,7 g; der er altsaa udkøgt $3,7 \text{ cm}^3$ Luft.

Røret blev derefter paany sat under 200 cm Tryk med følgende Resultat:

I de første 15 Minuter:	$Q = 32,4$ g/Min.
— næste — — :	$Q = 30,8$ —

og derefter fortsat Tætning. Kogningen har altsaa forøget Q fra 18,1 til 32,4, en Værdi, der er større end de tidligere maalte.

Et Trykvariationsforsøg gav Kurver af samme Form som tidligere.

Man kan af Forsøget drage følgende Slutninger:

- (1) Molerrørets Selvtætning skyldes ikke i væsentlig Grad Materialets Svulmning, men Stoffer, som Vandet fører med sig.
- (2) Disse Stoffer kan fjernes ved Kogning.
- (3) Selv om Røret har staaet længe under Tryk, indeholder det Luft, men ikke i saa store Mængder, at $Q \cdot h$ -Kurven bliver krum.

17. Forsøg med Rør af Moler og med destilleret Vand.

Da Ledningsvandet kunde tænkes at indeholde tættende Stoffer, blev der af samme Molersten udarbejdet et nyt Rør (Nr. 54), der prøvedes med destilleret Vand. Røret havde følgende Maal:

Ydre Diameter: 5,365 cm, Vægtykkelse: 1,032 cm, Længde: 9,115 cm.

Vægt, Rumfang og Rumvægt før og efter Tørring findes i Tabel 17, Linie a og b.

Tabel 17.

	Vægt	Rumfang	Rumvægt
a. Oprindelig	101,3 g	128,8 cm^3	0,786 g/ cm^3
b. Tørret	100,2 -	128,8 -	0,778 -
c. Vandholdigt	184,9 -	128,8 -	1,436 -
d. —	186,3 -	129,0 -	1,444 -
e. —	187,0 -	129,4 -	1,445 -
f. Tørret	100,0 -	128,1 -	0,781 -
g. —	94,6 -	121,6 -	0,780 -

Denne Gang begyndtes med $h = 200$ cm, og Forsøgsvarigheden var som tidligere 20 Minuter paa hvert Trin. Første Dag fandtes Kurverne mærket $\frac{8}{2}$ (Fig. 35). Som Følge af Luftens Uddrivning vender Nedgangskurverne Konkaviteten opad. Efter $1\frac{1}{2}$ Døgns Henstand under $h = 25$ cm

fandtes Kurven mærket $10\frac{1}{2}$; dens Op- og Nedgangsværdier var saa nær ens, at kun en Middelkurve er tegnet; dens Retliniethed tyder paa, at

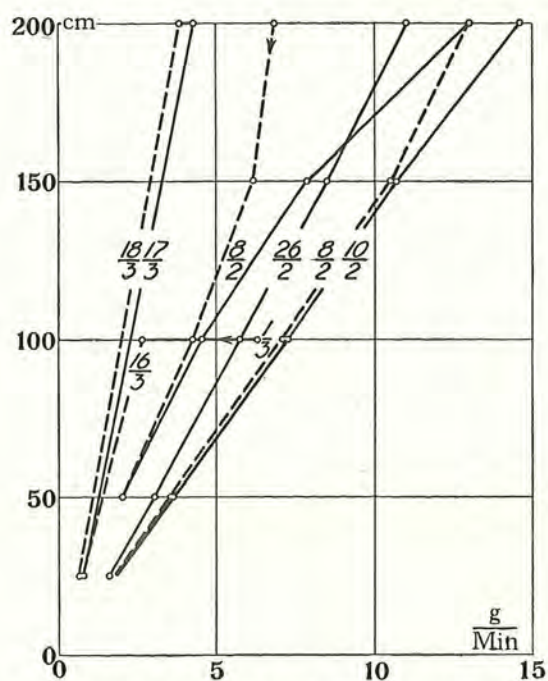


Fig. 35. Molerrør Nr. 54. Destilleret Vand.

Luftuddrivningen er standset. En Rumvægtsbestemmelse gav Værdierne i Tabel 17, Linie c. Røret stilledes atter under $h = 25$ cm indtil $\frac{1}{3}$ kun afbrudt af Prøver $19\frac{1}{2}$ og $26\frac{1}{2}$; Kurven for $19\frac{1}{2}$ er ikke tegnet, da den meget nær falder sammen med Kurven $26\frac{1}{2}$; i den mellemliggende Uge er der altsaa ikke sket nogen væsentlig Tætning. En Rumvægtsbestemmelse $\frac{1}{3}$ gav Værdierne i Tabel 17, Linie d, der viser en yderligere Vandoptagelse. Rørets Inderflade var belagt med en brunsort, slimet Hinde, som ved Berøring klæbede til Fingrene, og som var tættest i Rørets nedadvendende Ende; Hinden viste sig at indeholde Jærn, der maa stamme fra Flangerne.

Røret indspændtes paa ny og holdtes under $h = 100$ cm fra $\frac{1}{3}$ til $\frac{16}{3}$. Straks efter Indspændingen var $Q = 6,31$ g/Min altsaa noget større end tidligere formentlig hidrørende fra Hindens Beskadigelse; men Q aftog fra Dag til Dag, og $\frac{16}{3}$ fandtes 2,66 g/Min. Derefter fandtes de med $\frac{16}{3}$ til $\frac{18}{3}$ mærkede Kurver, der dog kun er bestemt ved $h = 25$ og $h = 200$.

Da Røret toges ud, genfandtes den slimede Hinde. Vægt og Rumvægt fremgaar af Tabel 17, Linie e, bægge Størrelser er kun uvæsentligt forøgede. Ved Tørring i Varmeskab skallede Hinden af. Efter at de løstsiddende Skaller var afbørstede, fandtes Værdierne i Linie f.

Efter en grundig Afslibning af Rørets Inderside, hvorved Vægtykkelsen formindskedes til 0,965 cm, og paafølgende Tørring ved 120° fandtes de i Linie g indførte Værdier. At Rumvægtene i Linie f og g er lidt større end i Linie b skyldes formentlig Kvægsølvoptagelse.

Forsøget viser, at destilleret Vand tætter paa samme Maade som Ledningsvand.

Da Røret ganske svarer til Rør Nr. 50, er det paafaldende, at den

maksimale Værdi af Q_{200} kun er ca. 15 g/Min ved Brug af destilleret Vand mod ca. 27 g/Min ved Brug af Ledningsvand, hvorom nærmere i Stykke 19.

18. Forsøg med Lerrør og destilleret Vand.

Et Rør (Nr. 53) blev fremstillet af 100 Vægtdele rødt Teglværksler og 15 Vægtdele Savsmuld og blev brændt ved $750-800^{\circ}$. Dets Dimensioner var:

Ydre Diameter: 4,722 cm, Vægtykkelse: 0,930 cm, Længde: 8,47 cm.

Efter Tørring var Vægt, Rumfang og Rumvægt som angivet i Tabel 18, Linie a.

Tabel 18.

	Vægt	Rumfang	Rumvægt
a. Tørret ($25\frac{1}{2}$)	118,2 g	93,85 cm ³	1,259 g/cm ³
b. Vandholdigt ($15\frac{1}{4}$)	168,0 -	94,22 -	1,783 -
c. Tørret	118,3 -	93,91 -	1,260 -
d. Vandholdigt	160,6 -	94,14 -	1,706 -
e. Udglødet	116,4 -	93,51 -	1,245 -
f. Vandholdigt	156,0 -	93,51 -	1,668 -
g. Udglødet	116,0 -	93,20 -	1,245 -

Røret prøvedes med destilleret Vand, og første Gang fandtes Kurverne $25\frac{1}{2}$ (Fig. 36). Derefter henstod Røret med $h = 10$ cm til $27\frac{1}{2}$, da et nyt Forsøg gav de med $27\frac{1}{2}$ mærkede Kurver, hvorefter Røret atter henstilledes med $h = 10$ cm.

Kurverne viser:

- 1) Luftens Uddrivning under Opgangen $25\frac{1}{2}$.
- 2) Voksende Tæthed under Nedgangen $25\frac{1}{2}$ og under Henstanden $25\frac{1}{2}-27\frac{1}{2}$.
- 3) Aftagende Tæthed under Opgangen $27\frac{1}{2}$.
- 4) Voksende Tæthed under Nedgangen $27\frac{1}{2}$.
- 5) Aftagende Tæthed under 2. Opgang $27\frac{1}{2}$.

Tætheden vokser altsaa fra Dag til Dag, men indenfor et enkelt Trykvariationsforsøg udvider Porerne sig under Opgangen og indsnævrer sig under Nedgangen.

Et nyt Forsøg $12\frac{1}{3}$ viser, at Røret er blevet tættere, men iøvrigt samme Fænomen: Tæthedens Aftagen under Opgangen og Vækst under Nedgangen. Trykket holdtes 20 Minutter paa hvert Trin, og Q er Middel-

værdien for denne Periode; ved at gøre Perioden noget længere kunde man i højere Grad eliminere Eftervirkningen, og baade Op- og Nedgangskurven fandtes da krummere.

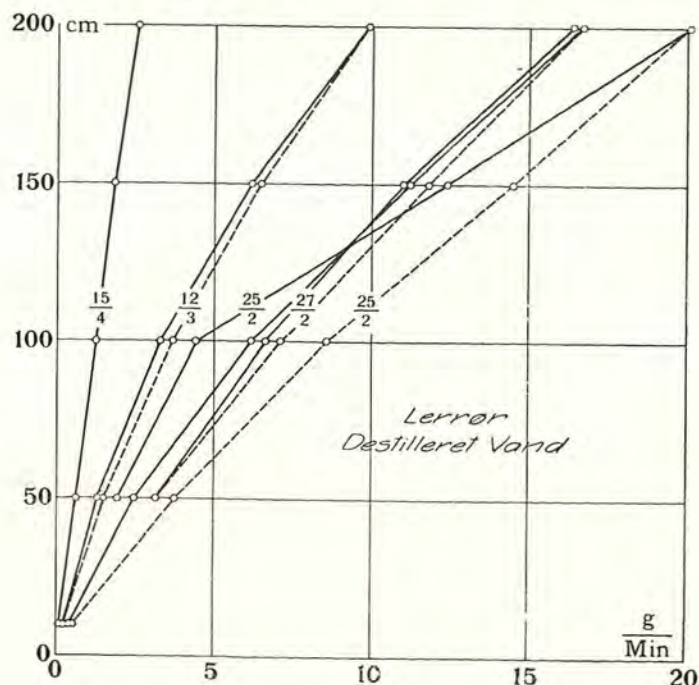


Fig. 36. Lerrør Nr. 53. Destilleret Vand.

Ved et sidste Forsøg $15/4$ er Kurven omtrent retliniet.

Det gennemsvivende Vand var i hele Forsøgsperioden gyldent farvet, dog var Farvens Intensitet noget aftagende.

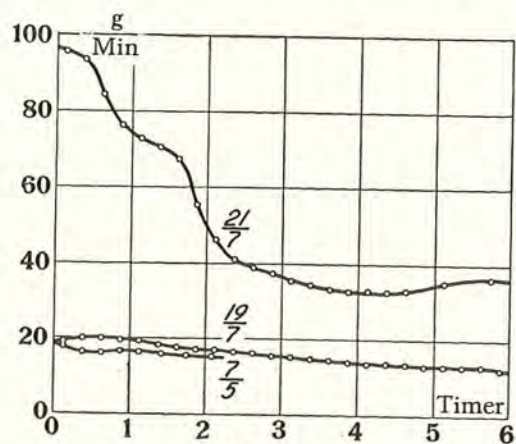


Fig. 37.

Lerrør Nr. 53. Destilleret Vand. $h = 200$ cm.

Efter Forsøget $15/4$ blev Røret taget ud. Det var indvendig belagt med et løstsiddende, let slimet Lag, hvis Farve var mørkebrun med et svagt violet Anstrøg. Efter Afskyllning foretoges en Rumvægtsbestemmelse (Tabel 18, Linie b) og efter Tørring en ny (Linie c). En Sammenligning mellem Linie a og Linie c viser ingen nævneværdig Forskel.

Efter Tørringen $15/4$ henstod

Røret i Luften til $7/5$, hvorved Vægten steg 0,7 g. Derefter udsattes det i 3 Timer for 200 cm Vandtryk, og Strømstyrken varierede da, som Kurven mærket $7/5$ paa Fig. 37 viser. Begyndelsværdien 18,6 g/Min er paa det nærmeste den samme som $25/2$. Kurven er, i Modsætning til Kurven $25/2$ paa Fig. 36, lidet præget af Luftuddrivning, formentlig fordi Størstedelen af Luften straks uddrives ved det store Tryk. Efter yderligere 3 Døgns Henstand under $h = 25$ cm fandtes de i Tabel 18, Linie d indførte Værdier, der viser, at Luften ikke har været helt uddrevet.

Efter godt 2 Aars Henstand i Luften vejede Røret 121,4 g. Det blev da udglødet ved $5-600^\circ$, hvorefter Tallene i Tabel 18, Linie e fandtes. Forsøget $7/5$ blev nu gentaget med omtrent samme Resultat (Kurven mærket $19/7$), hvorefter Værdierne i Linie f fandtes. Efter en fornyet Udglødning fandtes Tallene i Linie g og Kurven mærket $21/7$, men samtidig opågedes en Revne i Rørvæggen. Kurven viser, at en saadan Revne tætter sig paa samme Maade som de almindelige Porer.

19. Forsøg med Berkefeld Filter.

Berkefeld Filtret er et rørformet, groft porøst Bakteriefilter fremstillet af Kiselgur. Da et saadant Filter i højere Grad end de tidligere prøvede Rør maatte antages frit for løse Partikler og kemisk uforanderligt, blev dets Selvtætning undersøgt under Anvendelse af destilleret Vand. For om muligt at undgaa Bakteriez og Algevækst blev der til hver Liter Vand sat 5 cm³ Kloroform.

Filteret bestaar af Kiselgurrøret K (Fig. 38), endende i et Mundstykke M af Porcelæn og fastholdt i Glasrøret G af en Kautsjukprop P. Forsøgsvædsken tilførtes foroven gennem en Gren A paa det normale Stigrør R, gik igennem Kiselgurrørets Væg og opsamledes under Mundstykket M.

Der anvendtes 200 cm Trykhøjde regnet fra Rørets Midte, og Vandet begyndte straks at dryppe fra Filtret. Fig. 39 viser Resultaterne fra den første Forsøgsdag. I den første Time uddrives Luften hurtigt, derefter langsomt. Efter 7 Timers Forløb begynder Q at aftage. Om Natten sattes Trykket ned til 30 cm, og næste Morgen atter op til 200 cm; Q var da ca. 2 g/Min mindre end den foregaaende Dag og af tog jævnt i Løbet af Dagen, men meget lidt, Aftenværdien var kun 1,5 g/Min lavere end Morgenværdien. Den følgende Nat under $h = 30$ havde samme Virkning som den første, altsaa en Reduktion af Q_{200} med ca. 2 g/Min.

Den 3. Dag fandtes den i Fig. 40 viste Ned- og Opgangs-

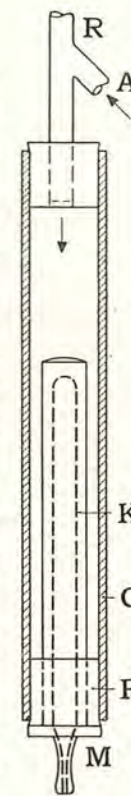


Fig. 38. Berkefeld Filter.

kurve (40 Minuter paa hvert Trin), der er meget retliniede. At Kurverne ikke gaar gennem Nulpunktet er en Følge af, at Trykhøjden er maalt fra

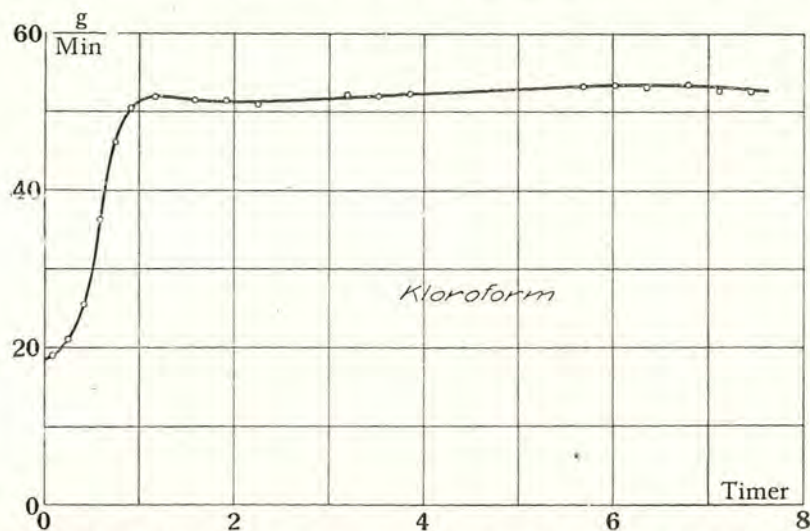


Fig. 39. Berkefeld Filter. Destilleret Vand med Kloroform. $h = 200$ cm.

Filtrets Midte, medens den burde have været maalt fra Filtermundingen, der laa ca. 15 cm lavere, thi da Filtrets Indre var vandfyldt, optræder Atmosfæretrykket først i Munden. Forsøg 1 Døgn senere med $h = 25$ cm og $h = 0$ gav de indcirklede Punkter.

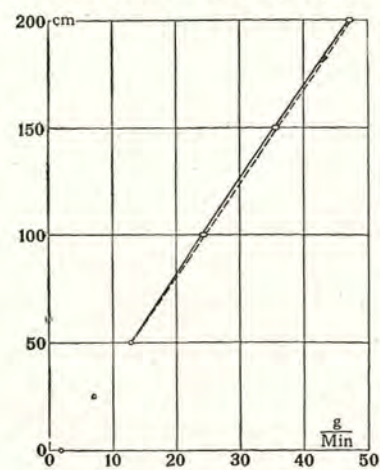


Fig. 40. Berkefeld Filter. Destilleret Vand med Kloroform.

ved $h = 200$ foretoges $\frac{20}{5}$ og gav $Q = 25,2$ g/Min; den sidste Maaling ved $h = 25$ foretoges $\frac{7}{5}$ og gav $Q = 2,1$ g/Min.

Forsøgsresultaterne tyder paa, at Kloroformen straks har hæmmet Selvtætningen, men at Virkningen har været forbigaaende.

At Berkefeld Filtrets Selvtætning ikke skyldes Svulmning, men udelukkende Filtervirkning kan betragtes som givet, og Spørgsmaalet bliver da, om de Stoffer, som findes i Vandet, og som tilbageholdes af Filtret, er organiske eller uorganiske. Da destilleret Vand er frit for uorganiske Stoffer og, naar det ikke er nydestilleret, rigt paa organiske, medens Ledningsvandet indeholder uorganiske Stoffer og kun i ringe Grad orga-

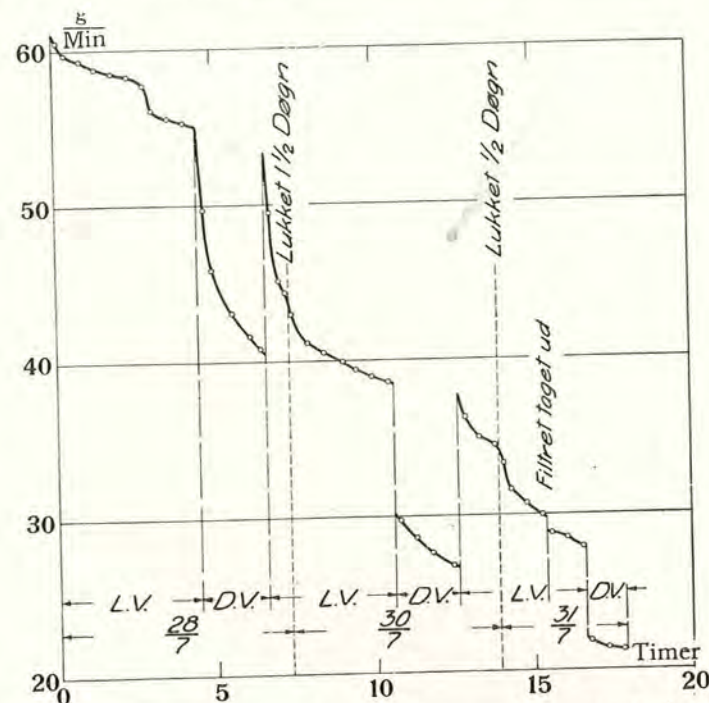


Fig. 41. Berkefeld Filter. $h = 200$ cm. Ledningsvand og destilleret Vand.

niske, blev Filtret prøvet med disse to Vandsorter og $h = 200$ cm. De to Mariotteflasker blev anbragt Side om Side med hver sin Kautsjukslange, der skiftevis forbandtes med Glasrøret. Filtret var grundigt udskyllet efter det første Forsøg og vandmættet ved Forsøgets Begyndelse.

Der begyndtes med Ledningsvand, og Resultatet ses paa Fig. 41. Det pludselige Fald i Strømstyrke efter 3 Timers Forløb er en Følge af, at der paa dette Tidspunkt tilførtes Mariotteflasken nyt Vand, som var koldere end Luften. Efter $4\frac{1}{2}$ Times Forløb blev Tilførselsslangen lukket og fjernet, Stigrøret og Filtret tørt for Vand og derefter forbundet med den anden Slange. Resultatet fremgaar af Figuren; det destillerede Vands Organismer medfører en hurtig Tilstopning af Filtret. Da der atter skiftedes om til Ledningsvand (efter Tømming af Filtret som tidligere), fandtes Q paany stor, men Ledningsvandet virker nu lige saa tættende som det de-

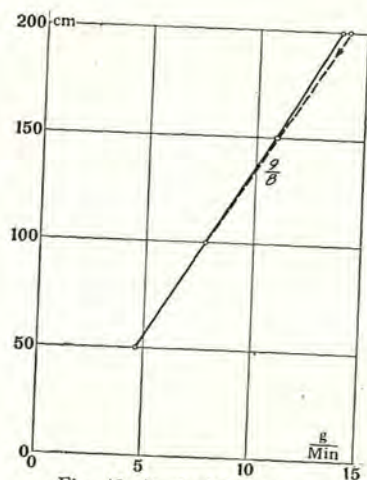


Fig. 42. Berkefeld Filter.

et Trykvariationsforsøg med det paa Fig. 42 viste Resultat.

stillerede. Det paafølgende $1\frac{1}{2}$ Døgn henstod Filtret med lukket Afløbstud, saaledes at Vandgennemgangen var standset, derefter fortsattes Forsøget med i Hovedsagen samme Resultat: Q er væsentlig større ved Ledningsvand end ved destilleret Vand. Det pludselige Fald i Ledningsvandskurven $\frac{31}{7}$ skyldes et Kontrollforsøg, ved hvilket Filtret blev udtaget og tømt paa samme Maade som ved et Vandskifte. Den Uregelmæssighed i Kurven, som Tømningen har medført, ses at være ringe sammenlignet med Virkningen af Vandskiftet.

Filtret blev nu skyllet ud og Forsøget gentaget med samme Udfald. $\frac{9}{8}$ udførtes

20. Paavisning af Vandbakterier.

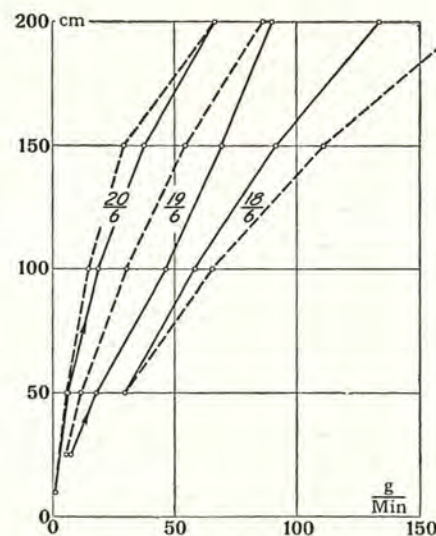
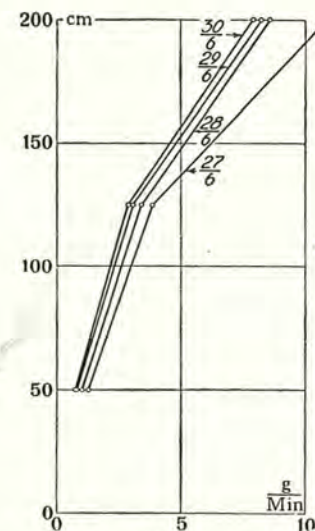
Da de foregaaende Forsøg viser, at destilleret Vand, som ikke er klosterformeret, flyder trægere og tættere stærkere end Ledningsvand, og da dets Tætteevne kun kan skyldes Organismer, er der Grund til at tro, at ogsaa Ledningsvands Tætteevne skyldes saadanne; da de trives daarligere i Ledningsvandet, tættere dette mindre. Til Bekræftelse af denne Formodnings Rigtighed blev et Cementrør og et Lerrør udsat for gennemstrømmende Ledningsvand i lang Tid.

Cementrøret var det i Stykke 8 omtalte Rør Nr. 56 (1:3 med $8\frac{0}{10}$ Vand, luftlagret, $2\frac{3}{12}$ Aar gammelt).

Umiddelbart efter at den paa Fig. 13 i Stykke 8 viste Kurve var bestemt, foretoges et Trykvariationsforsøg ($\frac{1}{2}$ Time paa hvert Trin), hvorved de paa Fig. 43 med $\frac{18}{6}$ mærkede Kurver fandtes. Nedgangskurven viser, som rimeligt er, fortsat Tætning, og Opgangskurven svarer derfor til et tættere Rør end Nedgangskurven, men Tætheden forringes under Opgangen. Forsøget varede $3\frac{1}{2}$ Time, og Slutværdien af Q_{200} var $133,5$ g/Min; hvis det tilsvarende Punkt afsættes paa Fig. 13, faar man en meget naturlig Fortsættelse af den tegnede Kurve.

Der stilledes paa $h = 25$ cm om Natten. De to følgende Dage fandtes Kurverne mærkede $\frac{19}{6}$ og $\frac{20}{6}$. Efter en Uges Henstand under varierende Tryk fandtes Kurven mærket $\frac{27}{6}$ (Fig. 44), som en Middelkurve for Opgang og Nedgang. De tre følgende Dage fandtes tilsvarende Kurver som vist. Forsøget fortsattes indtil $\frac{3}{7}$. Røret blev da taget ud, det var stærkt sli-

met udvendig og lidt indvendig. I Indersidens Porer sad smaa rødbrune Partikler, der ikke opløstes af Saltsyre. Røret lugtede raadent.

Fig. 43. Cementrør Nr. 56.
Ledningsvand.Fig. 44. Cementrør Nr. 56.
Ledningsvand.

Røret indsattes paany og holdtes under 200 cm Tryk indtil $\frac{5}{9}$. Q var da gaaet ned til $0,077$ g/Min, hvilket er $0,2\frac{0}{100}$ af Begyndelsesværdien. I Mariotteflasken havde der efterhaanden samlet sig noget Slam, dels graaligt med slimet Udseende, dels rødt; ved en ringe Rystelse svævede det op i Vandet; det var uopløseligt i Saltsyre. Paa Rørets Yderside havde der dannet sig et tykt, klumpet Slimlag (Fig. 45). Indvendig var Røret kun let slimet.

Det udvendige Slimlag fandtes at indeholde Slimbakterier (Mikrokokker).

For at faa afgjort om Bakterierne stammede fra Vandet eller fra Luften blev et Lerrør prøvet paa tilsvarende Maade under Anvendelse af kogt og derefter filtreret Ledningsvand. Røret (Nr. 52) var fremstillet af rødt Teglværksler blandet med $10\frac{0}{100}$ Savsmul og brændt ved $750-800^{\circ}$. Efter Tørring ved 120° var Rumvægten $1,407$ g/cm³. Det kogtes i 14 Døgn og holdtes derefter under et variabelt Vandtryk fra $\frac{19}{7}$ til $\frac{11}{8}$; paa dette Tidspunkt var Røret blevet let slimet udvendig og noget mere indvendig. Det udsattes derefter for 50 cm Vandtryk fra $\frac{11}{8}$ til $\frac{30}{8}$, hvorved Slimlaget antog et lignende Udseende som Cementrørets (Fig. 46). Det indeholdt meget smaa Stabakterier.

Bakterierne maa altsaa i Hovedsagen stamme fra Luften. Dette faar man bekræftet ved at henstille Ledningsvand i et aabent og i et lukket

Glas. Efter nogen Tids Henstand er det aabne Glas' Inderside slimet at føle paa et Stykke under Vandlinien, det lukkede Glas' ikke.

De to Rørforsøg udførtes med Mariotteflaske. Som omtalt i Stykke 3 gik man senere over til at føre Vandet fra Vandværksledningen direkte til Flasken gennem en Kautsjukslange, der dykkede ned i denne, og man kunde

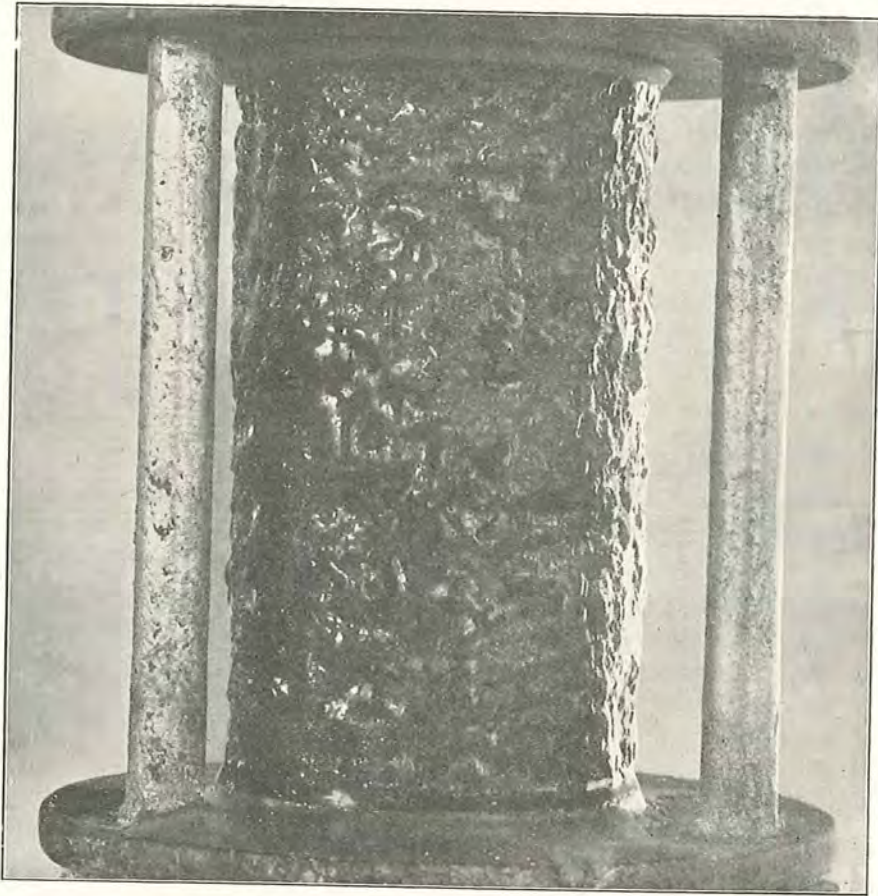


Fig. 45. Bakterieslim paa Cementrør Nr. 56.

da iagttage Slimdannelserne allerede i Flasken, hvor de voksede paa Slangens Yderside som halvklare Traade, der efterhaanden blev tydeligere og længere. I disse Slimdannelser fandtes Streptococcer, Staphylococcer, Sarcina, Bc. proteus og muligvis Bc. subtilis.

Denne frodige Bakterievækst er kun iagttaget efter Laboratoriets Henslytning til Sølgadens Kaserne. Da Laboratoriet havde til Huse i Malmøgade, generede Bakterierne ikke; ved de i Stykke 12 omtalte 2aarige Forsøg var der ingen Slimdannelser. Forskellen skyldes muligvis, at For-

søgene i Malmøgade blev udført i en kold Kælder, de senere Forsøg derimod i solbeskinnede og centralopvarmede Rum; den højere Temperatur begunstiger Bakteriernes Vækst.

Ved nogle af de Rør, paa hvilke Slimdannelserne fik Lejlighed til at udvikle sig, voksede der til Tider Luftblærer frem i Slimen (Fig. 51).

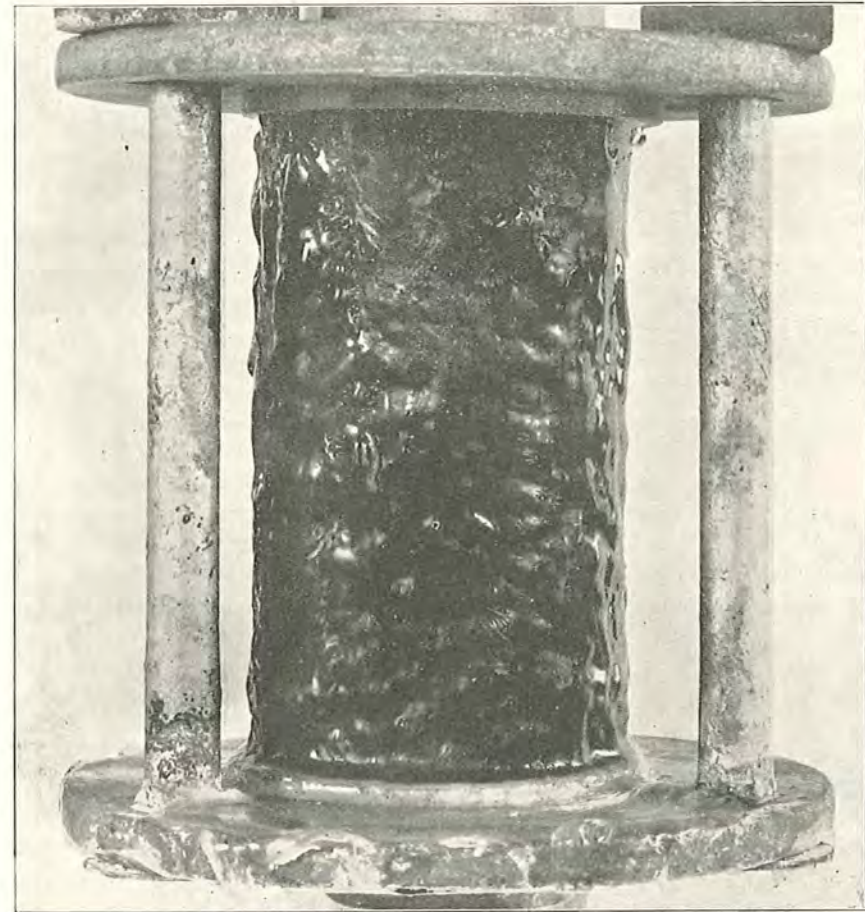


Fig. 46. Bakterieslim paa Lerrør Nr. 52.

21. Trykvariationers Eftervirkning.

Har man holdt et vist Tryk, h cm, saa længe, at Luftudrivningen er standset, og Tilstanden tilsyneladende er blevet konstant bortset fra Selvætningen, og man derefter forøger Trykket til H cm, findes undertiden en forholdsvis ringe Strømstyrke, der derefter vokser til et Maksimum og saa atter aftager. Sænkes Trykket til den gamle Værdi, findes straks en forholdsvis stor Strømstyrke, der efterhaanden aftager.

Ved det Forsøg med Rør Nr. 56, der gav Kurven 27/6 paa Fig. 44, var disse Eftervirkninger særligt fremtrædende, som Fig. 47 viser. Om Aftenen 26/6 indstilledes paa $h = 50$ cm, hvorved fandtes $Q = 1,29$ g/Min. Middelværdien for Natten var 1,28 og næste Morgen fandtes 1,29 to Gange i Træk; disse Værdier er afsat nederst til venstre paa Fig. 47. Nulpunktet for Abscisserne svarer til Kl. 9 om Morgenen; de maalte Q -

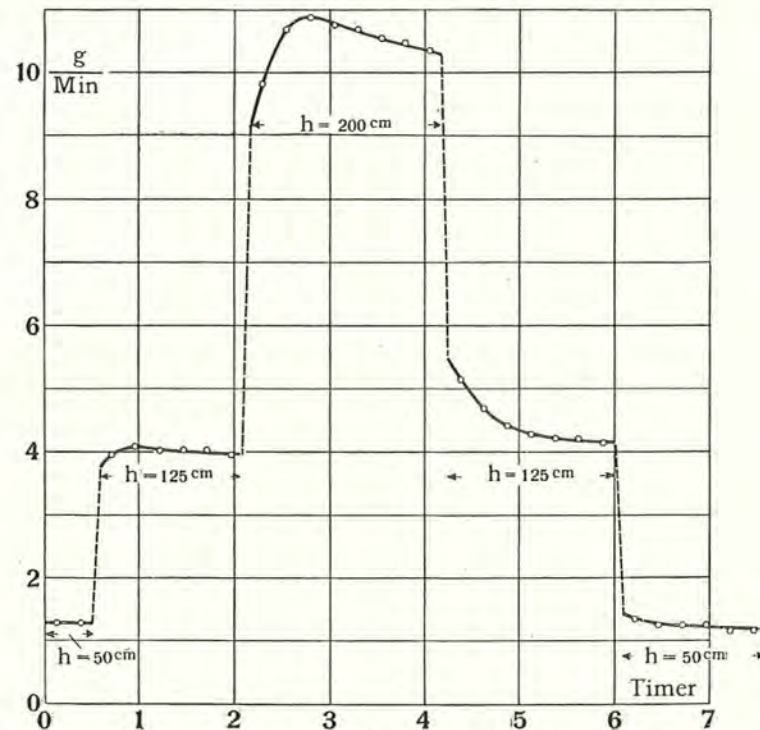


Fig. 47. Trykvariationers Eftervirkning. Cementrør Nr. 56.

Værdier er Middeltal for 15 Minuter og afsat midt i denne Periode. Da Trykket sattes op til 125 og senere til 200 cm, fandtes de to følgende Kurver, af hvilke navnlig den sidste viser en stærk Eftervirkning af det lavere Tryk; da Trykket atter sænkedes, først til 125, derefter til 50 cm, fandtes de to sidste Kurver, af hvilke navnlig den næstsidste viser stærk Eftervirkning af det højere Tryk.

Trykstigning bevirker altsaa tilsyneladende en Udspiling af Porerne, og denne Udspiling, der først naar sit Maksimum efter nogen Tids Forløb, overvejer i Begyndelsen Selvtætningen. Naar Trykket sænkes, bruger Porerne en vis Tid om at trække sig sammen, og i Begyndelsen aftager Strømstyrken derfor hurtigere end svarende til Selvtætningen.

Denne Eftervirkning kan forklares paa følgende Maader:

(1) Rørvæggen indeholder Luft, der kan stamme fra Porerne oprindelige Luftindhold eller være udskilt af Vandet under Forsøget. Luften kan antages at sidde som Blærer i Højdepunkterne af Porer, der er krumme og vender Konkaviteten nedad. Blæren indsnævrer Porens Tværsnit det paa gældende Sted, saa der gaar mindre Vand igennem. Udfylder Blæren hele Tværsnittet, standser Strømmen helt. En Blære med Rumfang $\frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3$ kan altsaa lukke en Pore med Rumfang $\pi \cdot r^2 \cdot l$. Forholdet mellem disse to Rumfang er $\frac{4}{3} \cdot \frac{r}{l}$; er Porerne snævre, kræves der derfor en meget ringe Luftmængde til at stoppe dem.

Naar Trykhøjden forøges, sammentrykkes Blærerne, hvorved Strømstyrken vokser; naar Trykket forringes, udvider Blærerne sig, hvorved Strømstyrken aftager; paa Grund af Porerne Snæverhed foregaar disse Bevægelser mer eller mindre langsomt.

Blærerne Rumfangsændring kan let udregnes, da Produktet af Tryk og Rumfang er konstant. Fylder Rørvæggens Luft L cm³ ved Atmosfærens Tryk ($h = 0$), og regnes dette lig Trykket af 1000 cm Vandsøjle, vil Luftens Rumfang ved $h = 200$ cm være:

$$L \cdot \frac{1000}{1000 + 200} = \frac{5}{6} \cdot L.$$

(2) Poremundingerne og Porevæggene dækkes efterhaanden af et Slimlag, i hvilket Vandstrømmen danner Kanaler, som langsomt udvider sig, naar Strømstyrken vokser, og indsnævrer sig, naar Strømstyrken aftager.

(3) Slimen udskiller Luft, der virker som under (1) nævnt. Under Mikroskop viste Slimen talrige smaa Luftblærer.

Eftervirkningen kan være en Følge af saavel (1) som (2) eller (3), men da den er optraadt særlig kraftigt ved det stærkt slimede Rør Nr. 56, maa (2) eller (3) antages at være den dominerende Aarsag. Herfor taler ogsaa den Omstændighed, at Eftervirkningerne først viser sig, naar Rørene har staaet under Tryk i nogen Tid. Om Slimen virker som under (2) eller som under (3) angivet kan ikke afgøres; for Virkemaaden (3) taler, at Eftervirkningerne kan være til Stede den ene Dag og ikke den næste. Til Eksempel blev det i Stykke 8 omtalte Cementrør Nr. 58 (Fig. 13) efter 2 Timers Forsøg henstillet i flere Døgn under 25 cm Tryk, og hver Dag undersøgt, om Trykvariationen medførte Eftervirkninger. 2 Timers Forsøget var udført 3/7, den næste Dag fandtes ingen Eftervirkning, men de følgende Dage var der stærk Eftervirkning som Tabel 19 (Pag. 56) viser.

Ogsaa 7/7 var der Eftervirkning, men 9/7 var den ikke tilstede.

Eftervirkninger iagttoges ogsaa ved fortsatte Forsøg med den i Stykke 6 omtalte Molderskive. Som der nævnt fandtes Luftuddrivningen at ske meget langsomt, navnlig ved smaa Tryk. Forholdet mellem h og Q er vist paa Fig. 48

Tabel 19.

$h =$	25	50	125	200	125	50 cm
Begyndelsværdi Q_1		4,4	35,3	91,5	34,7	6,0 g/Min
Maksimalværdi Q_1	1,6	4,5	39,3	98,5		—
Begyndelsværdi Q_2			8,0	26,7	13,7	1,8 —
Maksimalværdi Q_2		1,3	8,7	30,7		—

ved den med 9/3 mærkede Kurve. Ved $h = 200$ fandtes straks $Q = 1,23$ g/Min, men Værdien voksede fra Time til Time og efter 67 Timers Forløb fandtes den med 12/3 mærkede Maksimalværdi $Q = 4,5$ g/Min. Indtil da har Virkningen af Luftudrivningen overvejet Virkningen af Selvtæt-

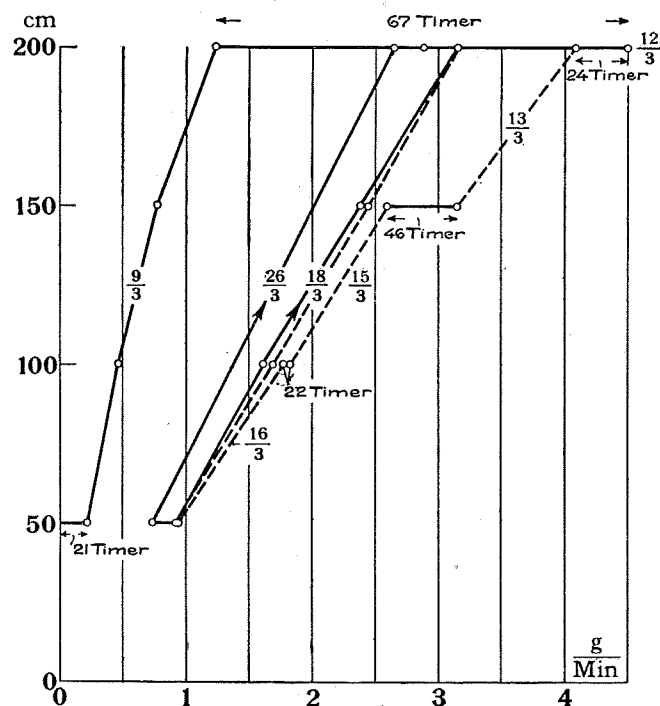


Fig. 48. Molerskive.

ningen, derefter er Forholdet det omvendte, og efter yderligere 24 Timers Henstand fandtes $Q = 4,08$ g/Min. Paa dette Tidspunkt formindskedes Trykket til 150 cm og holdtes her i 46 Timer med det i Figuren viste Resultat. Derefter holdtes $h = 100$ cm i 22 Timer. Man ser, at Selvtætningens Intensitet aftager med Q .

De med 13/3, 15/3, 16/3 mærkede Linier skærer Abscisseaksen tilhøjre for Nulpunktet. Strømstyrken umiddelbart efter Tryksænkningen (denne udførtes i Løbet af faa Minuter) er altsaa større end efter Teorien.

2 Dage senere fandtes den med 18/3 mærkede Op- og Nedgangskurve, ved hvis Bestemmelse Forsøgstiden kun var 20 Minuter for hver Trykshøjde, og som derfor heller ikke gaar gennem Nulpunktet, idet Q_{maks} kun er naaet ved $h = 50$ cm.

Ved Henstand fra 18/3 til 26/3 under $h = 50$ cm formindskedes Q som vist. Derefter forøgedes h til 200 cm, hvorved fandtes:

I de første	10 Min.	2,65 g/Min
" " følgende	" "	2,73 —
" " —	7 Timer	2,88 —
" " —	24 —	2,74 —
" " —	46 —	2,39 —

Man ser, at Maksimalværdien af Q først naas i Løbet af mange Timer. Den med 26/3 mærkede Linie svarer til Begyndelsværdien 2,65 g/Min; flyttes dens øvre Endepunkt til $Q = 2,88$ g/Min (det nærmeste indcirklede Punkt), gaar Linien gennem Nulpunktet.

Da Skiven blev taget ud, fandtes paa Oversiden et tyndt, brunt Slamlag, indeholdende haarde Korn og ikke i væsentlig Grad slimet. Efter Afskylning og Aftrykning i et Klæde fandtes de i Tabel 2, Linie c indførte Værdier. Efter Tørring ved 120° fandtes de i Linie d indførte Værdier, som viser, at Vægt og Rumvægt er blevet formindsket, medens Rumfanget paa det nærmeste er uforandret; Vandet har altsaa tilsyneladende bortført Stof fra Skiven. Det var ventet, at Vejningerne vilde oplyse om, hvorvidt der var Luft i Skiven under Forsøget 26/3, men de fører til en negativ Luftmængde, saa der maa formentlig være Fejl i dem. Skivens Porøsitet var nemlig 0,649 (se Stykke 6), saa Skiven skulde højst kunne optage 0,649 g Vand pr. cm^3 , men selv om man holder sig til Værdierne i Tabelens Linie b og c, har Vandindholdet været $1,430 - 0,754 = 0,676$ g/ cm^3 .

22. Aarsagen til Q - h -Kurve-nes Krumning.

Den Krumning, som mange af Trykvariationskurverne viser, ogsaa efter at Luftudrivningen tilsyneladende er standset, har utvivlsomt samme Aarsag som Eftervirkningerne. Ligesom disse var Kurvekrumningen meget udpræget ved det stærkt slimede Rør Nr. 56 (Fig. 44).

Deles Trykvariationsforsøget i 3 Perioder: Luftudrivningsperioden, Mellemprioden og Slutperioden gælder følgende:

(1) I Luftudrivningsperioden var Kurverne altid krumme.

(2) I Mellemprioden havde Berkefeldfiltret, Molerrørene og stærkt porøse Cementrør retliniede Kurver, medens svagt porøse Cementrør havde krumme Kurver.

(3) I Slutperioden var Kurverne oftest krumme.

Disse Iagttagelser tyder paa, at Krumningen i Mellemprioden skyldes Luftblærer, som er blevne indelukkede ved Cementens Svulmning. Er Cementrørets Porer grove, kan Luften undvige trods Svulmningen. Er Rørvæggen af et ikke svulmende Materiale, kan Luften ogsaa undvige.

Hvis Krumningen først optræder i Slutperioden, er den utvivlsomt en direkte eller indirekte Følge af Slimdannelserne.

I Mellemprioden kan Kurvekrumningen ikke eller kun tildels skyldes Slim, thi Forsøg med Benzin gav ogsaa krumme Kurver (Stykke 24).

23. Forsøg med surt Vand.

Det til Forsøgene benyttede Ledningsvand, der i Forvejen var noget basisk ($p_H = \text{ca. } 7,5$), blev mere basisk ved at passere Cementrørenes Vægge. Det maa derfor have opløst Kalk, og alligevel har Rørene tættet sig. Da surt Vand opløser mere Kalk, blev det undersøgt, om ogsaa saadant Vand virkede tættende, idet der brugtes Ledningsvand tilsat $0,55 \text{ cm}^3$ koncentreret Saltsyre pr. l ($p_H = 4-5$).

Til Forsøget benyttedes det i Stykke 15 omtalte Rør Nr. 78, der efter at være prøvet med Ledningsvand (Forsøget afsluttet 18/7) havde hængt staaet i Laboratoriet. Da Syreforsøget paabegyndtes — $3/8$ — var Rørets Vægt $245,3 \text{ g}$. I de første 15 Min var Vandgennemgangen ved 50 cm Tryk $8,80 \text{ g/Min}$. Ligesom tidligere viste Virkningerne af Svulmning og Luftudrivning sig, men derefter tættede Røret sig, saaledes at der $6/8$ fandtes $Q = 0,09 \text{ g/Min}$. Trykket sattes saa op til 100 cm , hvilket straks medførte $Q = 2,06 \text{ g/Min}$, men i Løbet af det følgende Døgn gik Q ned til $0,23 \text{ g/Min}$. Da Trykket sattes op til 150 cm , fandtes $Q = 4,17 \text{ g/Min}$, og i Løbet af de følgende 3 Timer voksede Q til $9,33 \text{ g/Min}$, og det gennemsnittede Vand, som hidtil havde været tydelig basisk, syntes nu at være neutralt. Derefter aftog Q , og Vandet blev atter basisk.

Da Trykket sattes op til 200 cm fandtes i den første halve Time $Q = 24,5 \text{ g/Min}$, Vandet basisk, i den næste halve Time $Q = 27,07 \text{ g/Min}$, Vandet neutralt, hvorefter Q aftog, mens Vandet stadig var neutralt.

Forsøget viser, at svagt surt Vand virker tættende paa samme Maade som basisk.

Derefter foretoges et nyt Forsøg, ved hvilket Vandet indeholdt den 10 dobbelte Syremængde ($5,5 \text{ cm}^3$ pr. l); Trykhøjden var 200 cm .

Kl. 3 fandtes $Q = 3,03 \text{ g/Min}$; Afløbsvandet var basisk.

” 3^{30} — ” = $4,30$ — — — ” neutralt, men gulligt og uklart.

” 4 — ” = $10,97$ — — — ” svagt surt, gulligt og uklart med noget Bundfald.

” 4^{30} — ” = $5,27 \text{ g/Min}$; Vandet som Kl. 4.

” 5 — ” = $3,24$ — — — ” ” ”

I Løbet af Natten holdtes $h = 50 \text{ cm}$, og Middelværdien af Q var $0,33 \text{ g/Min}$; Vandet som Kl. 4.

Næste Morgen fortsattes med $h = 200 \text{ cm}$.

Kl. 10 fandtes $Q = 6,80 \text{ g/Min}$; Vandet som Kl. 4.

” 10^{30} — ” = $4,07$ — — — var stærkere surt, farveløst og klart.

” 11 — ” = $14,0$ — — — som Kl. 10^{30} .

” 12 — ” = $5,93$ — — — ” ” —

” 1 — ” = $8,67$ — — — ” ” —

” 2 — ” = $12,80$ — — — ” ” —

” 3 — ” = $17,73$ — — — ” ” —

” 4 — ” = $23,03$ — — — ” ” —

Da Røret blev taget ud, vejede det $256,1 \text{ g}$. Det fandtes tydeligt syrepaavirket med løse Sandskorn paa hele Inderfladen og nogle Steder af Yderfladen.

Forsøget viser, at stærkt surt Vand ikke virker tættende, men opløsende. De ejendommelige Forhold ved Forsøgets Begyndelse kan formentlig forklares paa følgende Maade:

Q 's Vækst i den første Time skyldes Syrens opløsende Virkning, men Syren har samtidig angrebet Jærnflangerne og dannet Jærnklorid, der med Rørvæggens Kalciumhydroksyd har omsat sig til Kalciumklorid og Jærnhydroksyd, der er tungtopløseligt. En Del af Hydroksydet er ført med af Vandet (det gule Bundfald), Resten er forblevet i Porerne og er Skyld i den paafølgende Tæthedsforøgelse. Disse Aflejringer har ikke kunnet fjernes af Nattens svage og derfor kun svagt sure Vandstrøm, men næste Morgen, da Trykket sattes op, og Strømningshastigheden stiger, fjernes Aflejringerne dels ved Bortskylning dels ved Opløsning i det nu surere Vand.

Den følgende Nat lagredes Røret i Vand, og næste Morgen prøvedes det med Ledningsvand og $h = 200 \text{ cm}$. Q bestemtes hvert Kvarter, og de to første Værdier var $48,5$ og $49,8 \text{ g/Min}$, derefter tættede Røret sig paa normal Maade. Efter Udtagelsen fandtes:

Vægt: $257,6 \text{ g}$, Rumfang: $111,5 \text{ cm}^3$, Rumvægt: $2,311 \text{ g/cm}^3$.

Paa et senere Tidspunkt undersøgte Virkningen af kulsyreholdigt Vand. Kulsyren lededes fra en Kulsyreflaske ind i den til Forsøgsrøret gaende

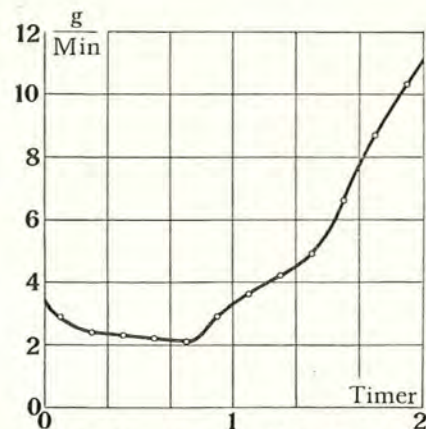


Fig. 49. Kulsyreholdigt Vand.
h = 200 cm.

Vandstrøm, i hvilken den opløste sig. Forsøget udført med et vandlagret Cementrør Nr. 111 (Blfh. 1:4 med 8% Vand, Alder: 9 Maaneder, Rumvægt: 2,185 g/cm³) og 200 cm Trykhøjde. I de første 45 Minuter var Strømstyrken aftagende (Fig. 49) som Følge af Cementens Svulmning, men derefter voksede den, og efter 7 Timers Forløb fandtes $Q = 35$ g/Min. At denne Stigning skyldes Kulsyrens opløsende Virkning er utvivlsomt, thi intet af de med Ledningsvand prøvede Rør har vist noget tilsvarende. Om Natten blev Kulsyretilførslen ved et Tilfælde afbrudt, hvilket havde til Følge, at Q næste Morgen fandtes noget forringet (Fig 50), og Nedgangen fortsattes et Par Timer efter at Kulsyretilførslen atter var begyndt, men derefter voksede Q jævnt til 107 g/Min, der naaedes 3' Dags Morgen. Paa dette Tidspunkt er Vandbakterierne aabenbart kommet i stærk Vækst, og Kurven svinger fra

da af ned og op, efter som Bakteriernes tættende Virkning overvejer Kulsyrens opløsende eller omvendt. Kurvens opadvendende Spidser svarer til en unormalt stærk Kulsyretilførsel, de nedadvendende til en unormalt svag. Efter 25 Døgn Forløb kom der smaa Luftblærer frem paa Rørets Overflade, formentlig stammende fra Bakteriernes Virksomhed, og efter 27 Døgn var Overfladen tæt besat med saadanne Blærer og med klumpet Slim (Fig. 51). Ved Slutningen af Forsøget kunde man iagttage, at

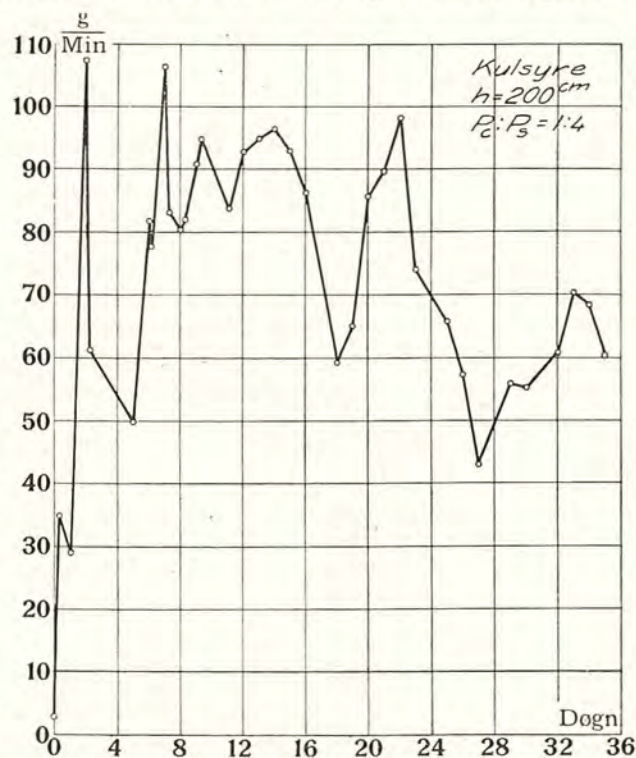


Fig. 50. Kulsyreholdigt Vand. h = 200 cm.

Rørets nedre Ende begyndte at smulre som Følge af Syreangrebet, og efter Rørets Udtagning fandtes denne Ende ganske ødelagt. Muligvis har denne Ende været porøsere end den øvrige Del af Røret, men Aarsagen til dens Ødelæggelse kan ogsaa være, at Vandtilførslen skete ved denne Ende.

Forsøget viser, at kulsyreholdigt Vand virker stærkt opløsende paa Ce-

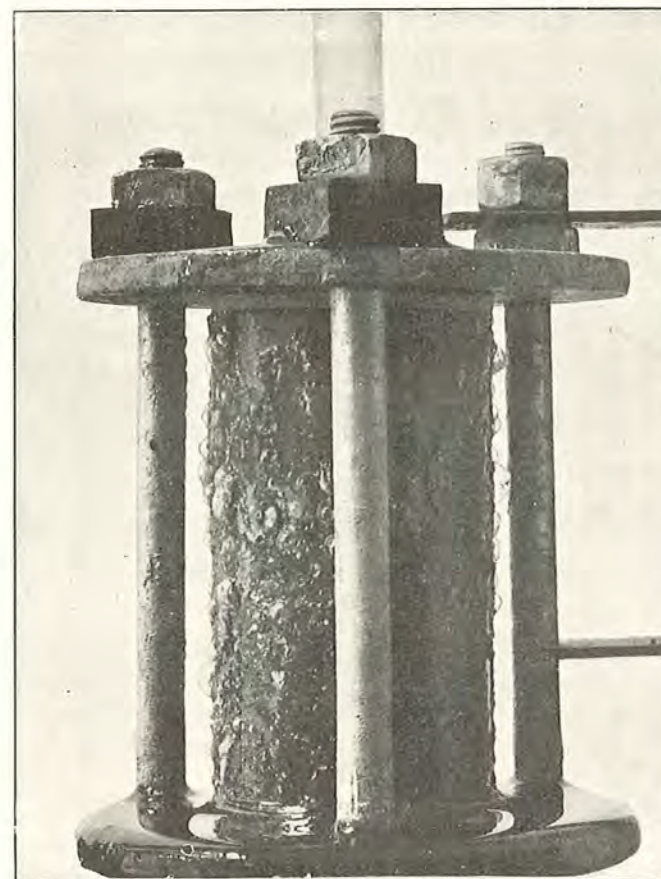


Fig. 51. Bakterieslim med Luftblærer.

menten, og hvis Angrebet ikke hæmmes af Slimbakterier, vil Røret hurtigt blive ødelagt. Da Grundvandet plejer at være bakteriefrit, er det forstaaeligt, at cementfattede Rør, der ligger i kulsyreholdigt Grundvand, hurtigt ødelægges.

24. Forsøg med Benzin.

Da det havde vist sig, at Vandets Organismer spillede en betydelig Rolle ved Rørens Tætning, foretoges Forsøg med Benzin af Vægtfylde 0,760,

der tilleddes gennem et Blyrør, da Benzin ødelægger Kautsjuk. Blandt de Rør, der undersøgte, var Cementrør Nr. 69 (Blfh. 1 : 4, vandlagret, Alder $2\frac{3}{4}$ Aar). Efter Tørring ved 50° fandtes Rumvægten $2,196 \text{ g/cm}^3$ og de paa Fig. 52 viste Kurver; Forsøgstiden var 20 Minuter paa hvert Trin. Opgangskurven 18/7 viser en stærk Luftudrivning mellem $h = 50$ og $h = 100$ cm, en svagere mellem $h = 100$ og $h = 150$ cm (thi det mellem- liggende Liniestykke skærer Ordinataksen over Begyndelsespunktet), der-

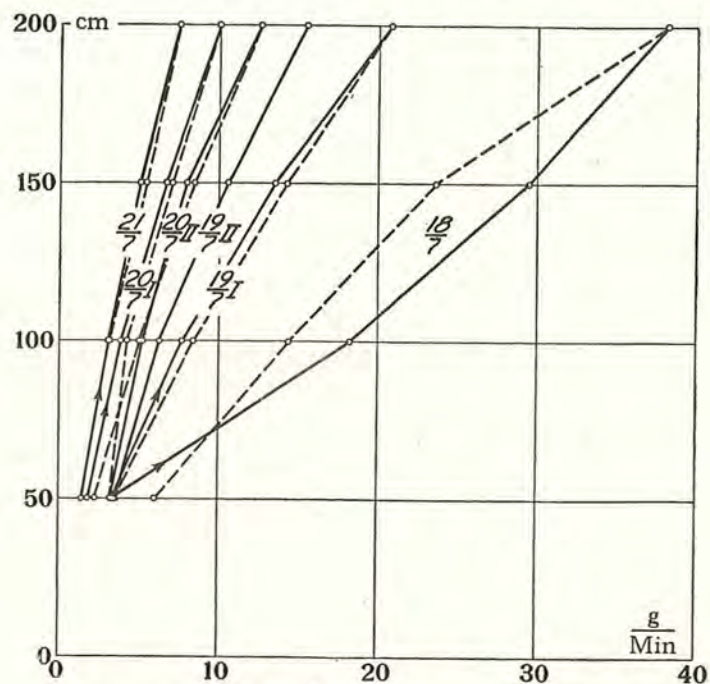


Fig. 52. Cementrør Nr. 69. Benzin.

efter indtræder en hurtig fremadskridende Tætning. At denne for en væsentlig Del skyldes Filteffekt fremgaar af Kurverne 20/7; ved Forsøget 20/7 I stødtes der til Røret, efter at Q_{100} var bestemt for nedad- gaende, hvilket medførte en saa stor Værdi af Q_{50} , at den umiddelbart efter bestemte Kurve 20/7 II ligger tilhøjre for de første; Rystelsen har medført en Opslæmning af nogle af de paa Rørets Inderside aflejrede Partikler og derved forøget Strømstyrken, men som Nedgangskurven II viser, foregaar den paafølgende Tætning særlig hurtig, idet Benzinenes Urenhed er steget.

Røret holdtes under et variabelt Tryk indtil 6/8. De sidst maalte Værdier var $Q_{200} = 0,49 \text{ g/Min}$, $Q_{50} = 0,002 \text{ g/Min}$.

Benzin tætter altsaa meget stærkt.

25. Forsøg med Metylalkohol.

For om muligt at finde en Vædske, som ikke virkede tættende paa Rørene, prøvedes med Metylalkohol, og til det første Forsøg anvendtes Berkefeld Filtret, efter at dette var blevet grundigt skyllet med Vand.

Med Trykhøjden 200 cm fandtes i det første Kvarter $Q = 55,6 \text{ g/Min}$, hvilken Værdi i Løbet af 2 Timer voksede til $57,5 \text{ g/Min}$, hvorefter den holdt sig konstant. Filtrets Porer var vandfyldte til at begynde med, hvilket forklarer den lavere Begyndelsesværdi, thi Vandets indre Gnidning er større end Alkoholens.

Forsøget fortsattes i 3 Dage (om Natten lukkedes for Tilløbet), og Q holdt sig stadig paa ca. $57,5 \text{ g/Min}$. Trykvariationsforsøg foretagne 2' og 3' Dag gav praktisk talt sammenfaldende Kurver og ingen Forskel paa Op- og Nedgangskurven (Fig. 53). Aarsagen til, at Kurven ikke gaar gennem Begyndelsespunktet, er, at Filtret virker som en Hævert.

Metylalkohol virker altsaa ikke tættende paa Berkefeld Filtret.

Derefter prøvedes Cementrør Nr. 68 (Blfh. 1 : 4, luftlagret, Alder: $2\frac{1}{2}$ Aar), der forud var tørret ved 50° . Det udsattes for 50 cm Tryk, og Alkoholens viste sig næsten øjeblikkelig paa hele Røroverfladen, men først efter 1 Times Forløb faldt den første Draabe. Derefter fandtes den nederste Kurve paa Fig. 54, der viser Luftudrivning og derefter Tætning. Trykket ændredes saa til 200, 150, 100 og 50 cm med det paa Fig. 54 viste Resultat. Det ses, at Luftudrivningen er endt ved $h = 50$ cm og ikke genoptages ved $h = 200$ cm. Iøvrigt viser Kurverne en stadig fremadskridende Tætning, og hvis man optegner $Q=h$ -Kurverne, vender Opgangskurven Konkaviteten opefter og Nedgangskurven Konkaviteten nedefter som Følge af den voksende Tæthed. En Rumfangsbestemmelse før og efter Forsøget viser en ringe Rumfangsforøgelse (Tabel 20).

Tabel 20.

Rør Nr.	Tilstand	Vægt	Rumfang	Rumvægt
68	Tørret	248,80 g	112,25 cm ³	2,216 g/cm ³
—	alkoholholdigt	264,25 -	112,94 -	2,340 -

Den gennem Cementrøret sivede Alkohol blev paany prøvet i Berkefeld Filtret og viste paany ingen Tætning. Værdien af Q var gaaet ned fra ca. $57,5$ til ca. $48,8 \text{ g/Min}$, men da Filtret i Mellemtiden var blevet brugt til Forsøg med Vand, kan det ikke afgøres, om Nedgangen skyldes en Ændring af Filtrets Tilstand eller en Ændring af Alkoholens Viskositet.

Den Alkohol, der brugtes til Cementrør Nr. 68, var den, der forud havde passeret Berkefeld-Filtret, og da det var tænkeligt, at den derved var blevet forurenset, gentoges Forsøget med frisk Vædske og med Cementrør

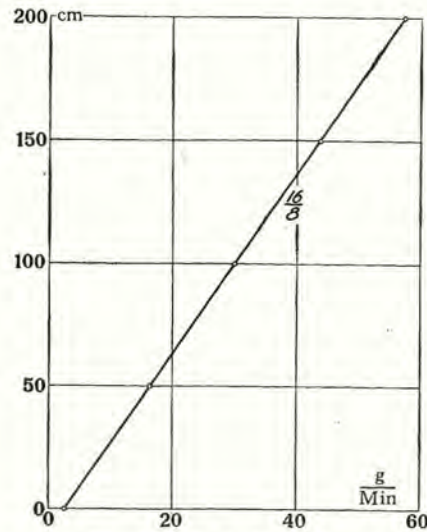


Fig. 53. Berkefeld Filter.
Metylalkohol.

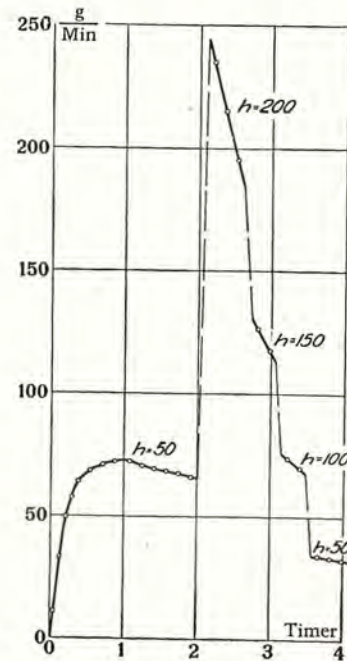


Fig. 54. Cementrør Nr. 68.
Metylalkohol.

rør Nr. 113 (Blfh. 1:4, vandlagret, Alder: 9½ Maaned, Rumvægt: 2,173 g/cm³), men Resultatet blev det samme. Om Dagen holdtes Trykhøjden 50 cm, om Natten 10 cm.

Time	Resultat
I den 1ste Time	fandtes $Q = 1,0$ g/Min.
- - 7de -	- - = 3,1 -
2den Dags Morgen	- - = 4,8 -
- - Aften	- - = 2,7 -
3die - Morgen	- - = 2,8 -
- - Aften	- - = 1,8 -
4de - Morgen	- - = 2,0 -
- - Aften	- - = 1,7 -
8de - Morgen	- - = 1,5 -
- - Aften	- - = 0,83 -
9de - Morgen	- - = 0,92 -

Tallene viser Luftuddrivning indtil 2. Dags Morgen og derefter Tætning.

At begge Rørene viser Luftuddrivning er bemærkelsesværdigt, fordi Rørene er saa tætte, at de prøvede med Vand næppe vilde have vist det. Man tør heraf slutte, at Alkoholen ingen væsentlig Svulmning medfører af Cementen, Tætningen skyldes formentlig en kemisk Indvirkning af Alkoholen paa Cementen. Man tør endvidere slutte, at en stærkt faldende Kurve som Fig. 27 ikke beviser, at der ingen Luftuddrivning finder Sted, men kun at Svulmningen dominerer over Luftuddrivningen.

Ogsaa Molerrør Nr. 54, der tidligere havde været prøvet med destilleret Vand (se Stykke 17), blev efter Tørring ved 120° prøvet med Alkohol og viste stærk Tætning.

26. Oversigt.

Til Udforskning af Lovene for Cementrørs Vandtæthed er der gjort Forsøg med et stort Antal Cementrør og et mindre Antal Lerrør. Rørenes Dimensioner var: Længde 9 cm, Ydre Diameter 5 cm, Vægtykkelse 1 cm (Fig. 12).

Cementrørene blev tørstøbt, som det sker i Praksis.

Blandingsforhold: 1:2 à 1:5.

Lagringsmaade:

Enten: 1 Døgn i fugtig Luft, 27 Døgn i Vand, derefter i Laboratoriets Luft, eller: 28 - - - - , derefter i Laboratoriets Luft.

De lagrede Rørs Rumvægt bestemtes ved at dividere Rørenes Vægt med deres Rumfang. Dette fandtes ved Vejning af den fortrængte Kvægsølvsmængde (Fig. 1).

Rørene udsattes for indvendige Vandtryk af indtil 2 m Højde, og deres Vandtæthed bestemtes ved Vejning af den Vandmængde, der passerede gennem Væggen i en bestemt Tid (Fig. 2).

De vigtigste Resultater er sammenstillede nedenfor.

A. Strømstyrken ved Forsøgets Begyndelse.

Naar porøse Rørvægge gennemstrømmes af rent Drikkevand, kan Strømstyrken ved Forsøgets Begyndelse være enten aftagende eller voksende, idet to indbyrdes modstridende Virkninger gør sig gældende:

- (1) Poreluftens Uddrivning
- (2) Cementens Svulmning.

Poreluften uddrives mer eller mindre langsomt, og i Uddrivningsperioden vokser det vandfyldte Porevolumen og dermed Strømstyrken (Fig. 8). Cementens Svulmning begynder straks og medfører en Indsnævring af Porerne og dermed en Forringelse af Strømstyrken, idet denne er pro-

portional med 4. Potens af Porediameteren. Jo større Cementprocenten er, des mere mærkes (2) og des mindre (1), thi med en stor Cementprocent følger en ringe Luftmængde og snævre Porer, af hvilke Luften kun langsomt uddrives. Da en stor Cementprocent desuden giver ringe Strømstyrke, bliver Resultatet, at Rør med stor Strømstyrke har en stigende Kurve, Rør med ringe Strømstyrke en faldende Kurve.

Naar Rørene viser Luftuddrivning, vil Strømstyrken stige til et Maximum og derefter aftage, hvilket skyldes Cementens Svulmning.

B. Faktorer, der paavirker Rørenes Vandtæthed.

1. *Cementmængdens Indflydelse.* Vandtætheden vokser med Rørenes Cementindhold.

2. *Vand=Cement=Faktorens Indflydelse.* Vandtæthed og Rumvægt vokser med Vand=Cement=Faktoren indtil en vis Grænse, der ikke blev overskredet ved Forsøgene.

3. *Stampningens Indflydelse.* Rørenes Rumvægt og Vandtæthed vokser med Stampningens Intensitet.

4. *Lagringsmaadens Indflydelse.* Ved Vandlagring vokser Mørtelens Vægt og Rumfang, ved Luftlagring aftager Mørtelens Vægt og Rumfang. Vandlagring medfører mindre Rumvægt, men langt større Vandtæthed end Luftlagring (Fig. 14—15). Rør, der i de første 7 Døgn lagres i fugtig Luft og derefter i tør Luft, bliver utættere, efterhaanden som Tørringen skrider frem (Fig. 11).

Jo tørrere Mørtelen er ved Støbningen, des vigtigere er det at anvende Vandlagring.

5. *Rumvægtens Indflydelse.* For Rør med samme Cementindhold, Vand=Cement=Faktor og Lagringsmaade vokser Vandtætheden med Rumvægten, altsaa med Stampningens Intensitet.

6. *Vandtætte Rør.* Cementfattige Rør kan fremstilles vandtætte paa to Maader. Man kan enten bruge en rigeligt vaad Mørtel, og i saa Fald er Lagringsmaaden af underordnet Betydning, eller man kan bruge en tør Mørtel i Forbindelse med Vandlagring, og i saa Fald er Tørhedsgraden af underordnet Betydning.

7. *Imprægnering med Vandglas.* Hvis Rørene efter Fremstillingen imprægneres med Vandglas, bliver de tættere, men vandlagrede, uimprægnerede Rør er mange Gange tættere end luftlagrede, imprægnerede (Fig. 18—19).

8. *Sæbetilsætning.* Hvis Rørene fremstilles af sæbeholdig Mørtel og luftlagres, bliver de langt tættere end ved Vandglasimprægnering, men ogsaa her gælder, at vandlagrede Rør uden Sæbe er mange Gange tættere end luftlagrede Rør med Sæbe (Fig. 21—22).

C. Rørenes Selvtætning.

Naar Forsøgene udføres med det Københavnske Drikkevand, bliver Rørene tættere og tættere med Tiden (Fig. 26—28); selv luftlagrede Rør af Blandsingsforhold 1:5 tætter sig mere eller mindre fuldkomment. For Cementrørenes Vedkommende skyldes Tætningen dels Cementens Svulmning, dels fremmede Stoffer; i Begyndelsen dominerer Svulmningen, senere Aflejringerne. For Lerrørenes Vedkommende skyldes Tætningen udelukkende Aflejringerne; hvis der finder en Svulmning af Materialet Sted, er den i alt Fald ringe sammenlignet med Cementens. Aflejringerne har ved de foreliggende Forsøg for en stor Del været Bakterieslim (Fig. 45—46). Bakterierne stammer fra Luften, ikke fra Vandet, thi naar Forsøget blev udført med kogt og derefter filtreret Vand, trivedes Bakterierne lige saa godt. En Del af Forsøgene er udført i en kold Kælder, og ved disse Forsøg optraadte Bakterierne kun i meget ringe Grad. Det var først efter Laboratoriets Henflytning til nye Lokaler, at den frodige Bakterievækst begyndte; formentlig bærer den højere Temperatur i de nye Lokaler Skylden.

Der er intet, der tyder paa, at Rørenes Selvtætning skyldes Kalkaflejringer. Rør af brændt Ler tætter sig paa samme Maade som Cementrør.

Destilleret Vand tætter i højere Grad end Drikkevandet (Fig. 41).

Urent Vand tætter meget hurtigt. Utætte Vandbeholdere kan derfor tætted, ved at man drysser Kalkpulver eller andre Pulvere i Vandet (Fig. 25).

Naar Forsøgene udførtes med Benzin i Stedet for Vand, fandtes ogsaa en hurtigt fremadskridende Tætning, der maa antages at skyldes Urenheder i Benzinen (Fig. 52).

Metylalkohol virkede ikke tættende paa et Berkefeld Filter (Fig. 38), men da Forsøgene gentoges med et Cementrør, tættede dette sig, antagelig fordi Alkoholen indvirker kemisk paa Cementen (Fig. 54).

D. Virkning af kulsyreholdigt Vand.

Kulsyreholdigt Vand fandtes at virke stærkt opløsende paa Rørene, til Trods for at Virkningen tilsløredes noget af de sædvanlige Slimdannelser (Fig. 49—50). Disse vil næppe forekomme, naar Rørene ligger i Jorden, da Grundvandet plejer at være bakteriefrit, og naar Cementrør undertiden ødelægges hurtigt i Jorden, skyldes det utvivlsomt, at der er Kulsyre i Grundvandet.

E. Afvigelser fra Poiseuille's Lov.

Efter Poiseulles Lov skal den udstrømmende Vædskemængde Q være proportional med Trykhøjden h . Denne Lov fandtes kun undtagelsesvis at

være helt rigtig, som Regel voksede Q hurtigere end h (Fig. 30). Afvigelse fra Loven skyldes utvivlsomt tildels tilbageværende Poreluft, der, naar Trykket stiger, sammenpresses, hvorved Gennemstrømningsarealet forøges. Men ogsaa Slimdannelserne har deres Andel i Afvigelse, idet de i højere Grad virker stoppende paa en svag Vandstrøm end paa en stærk.

SUMMARY

In order to explore the laws governing the permeability of concrete pipes, tests have been made with a great number of concrete pipes and a smaller number of porous tile pipes. The dimensions of the pipes were: length 9 cm. ($3\frac{1}{2}$ "), outside diameter 5 cm. (2"), thickness of wall 1 cm. ($\frac{3}{8}$ ") (Fig. 12).

The concrete pipes were cast dry in accordance with usual practice.

The ratio of mixture varied from 1:2 to 1:5.

Manner of curing:

Either: 24 hours in moist air, 27 days in water and then in the air of the laboratory,

or: 28 days in moist air and then in the air of the laboratory.

The specific gravity of the cured pipes was determined by dividing the weight of the pipes by their volume. The latter was found by weighing the quantity of mercury displaced (Fig. 1).

The pipes were exposed to internal water pressures corresponding to heads of up to 2 m. ($78\frac{3}{4}$ "), and their permeability was determined by weighing the quantity of water passing through the wall during a certain period (Fig. 2).

The principal results are recapitulated in the following.

A. Intensity of Flow at the Commencement of the Test.

When pure drinking water percolates through porous pipe walls, the intensity of flow at the beginning of the test may be either decreasing or increasing, as the result is here influenced by two mutually conflicting factors, viz.:

- (1) Expulsion of Air from the Pores,
- (2) Swelling of the Cement.

The air contained in the pores is expelled more or less slowly, and during the period of expulsion the water-filled volume of pores and,

thereby, the intensity of flow will increase (Fig. 8). The swelling of the cement commences immediately and causes reduction of the pore area and, thereby, decrease in the flow, as the latter is proportional to the fourth power of the diameter of pores. For higher percentages of cement the factor (2) will be prevalent and for lower percentages the factor (1), because a high percentage of cement means a small quantity of air and narrow pores, from which the air is but slowly expelled. As a high percentage of cement gives a low intensity of flow, the result will be that pipes with high intensity of flow show an ascending curve, but pipes with low intensity of flow a descending curve.

When the pipes show expulsion of air, the intensity of flow will rise to a certain maximum and then decrease, which is due to swelling of the cement.

B. Factors Influencing the Water-Tightness of Pipes.

1. *Influence of the Quantity of Cement.* The water-tightness increases with the percentage of cement in the pipes.

2. *Influence of the Water-Cement Ratio.* Water-tightness and specific gravity will increase with the water-cement ratio up to a certain limit, which has not been exceeded by the tests.

3. *Influence of Tamping.* The specific gravity and water-tightness of the pipes will increase with the intensity of tamping.

4. *Influence of the Curing Method.* Water-curing increases the weight and volume of the mortar, air-curing reduces the weight and volume of the mortar. Water-curing involves reduced specific gravity, but a far greater water-tightness than air-curing (Figs. 14 and 15). Pipes cured for the first 7 days in moist air and then in dry air will become less and less tight as the drying proceeds (Fig. 11).

The drier the mortar is when cast, the more important will be the use of water-curing.

5. *Influence of Specific Gravity.* For pipes with the same percentage of cement and the same water-cement ratio and similarly cured the water-tightness increases with the specific gravity, i.e. with the intensity of tamping.

6. *Watertight Pipes.* Pipes poor in cement may become watertight in two manners. Either an amply wet mortar may be used, and the manner of curing is then of secondary importance, or a dry mortar may be used in connection with wet curing, and then the water-cement ratio will be of secondary importance.

7. *Impregnation with Water Glass.* If after the manufacture the pipes

are impregnated with water glass they will be less permeable, but water-cured unimpregnated pipes are many times tighter than air-cured impregnated pipes (Figs. 18 and 19).

8. *Admixture of Soap.* If the pipes are manufactured from mortar containing soap and are cured in the air, they will be far less permeable than when impregnated with water glass, but it will be found that water-cured pipes without soap are far less permeable than air-cured pipes with soap (Figs. 21 and 22).

C. Self-Tightening of the Pipes.

Tested with Copenhagen drinking water, the tightness of the pipes increases in course of time (Figs. 26 to 28), and even air-cured pipes made from a mixture 1:5 will become more or less perfectly tight. As far as the concrete pipes are concerned the tightness is due partly to the swelling of the cement and partly to foreign substances. In the beginning the tightening is chiefly due to the swelling of the cement, later on to deposits. For the tile pipes the increased tightness is due solely to deposits, and the swelling of material, if any, is comparatively insignificant. In the tests made the deposits have largely been bacterial slime (Figs. 45 and 46). The bacteria come from the air, not from the water, as they thrived equally well, when the test was made with boiled and then filtered water. Some of the tests were made in a cold basement, and here the bacteria were very sparse. The crop of bacteria did not become luxuriant until the laboratory had been removed to new localities, the reason being presumably that a higher temperature was prevailing there.

There is no reason to assume that the self-tightening of the pipes is due to deposition of lime. Pipes of burnt clay tighten themselves in the same manner as concrete pipes.

Distilled water has a higher tightening effect than drinking water (Fig. 41).

Impure water tightens the concrete very quickly. Leaking water tanks may therefore be tightened by sprinkling lime powder or other powders into the water (Fig. 25).

When the tests were made with benzine instead of water the result was a rapidly increasing tightness, probably due to impurities in the benzine (Fig. 52).

Methylic alcohol had no tightening effect on a Berkefeld filter (Fig. 38), but when the tests were repeated with a concrete pipe the latter became tight, presumably because the alcohol has some chemical effect on the cement (Fig. 54).

D. Effect of Water Containing Carbonic Acid.

Water containing carbonic acid was found to have a highly dissolving effect on the pipes, although the effect was somewhat veiled by the usual formations of slime (Figs. 49 and 50). Slime will hardly occur, when the pipes are buried in the ground, as underground water is usually free of bacteria, and when concrete pipes are sometimes quickly destroyed in the ground, this is undoubtedly due to carbonic acid in the underground water.

E. Deviations from Poiseuille's Law.

According to Poiseuille's Law the escaping quantity of liquid Q is proportional to the head h . This law was only in rare cases found to be entirely correct, and as a rule Q increased more rapidly than h . (Fig. 30). Without doubt the deviations from the law are partly due to air remaining in the pores, which air is compressed, when the pressure increases, whereby the free area of passage is increased. But also the slime formations are partly responsible for the deviations, as their stopping effect on a faint flow of water is greater than on a more intense flow.

INGENIØRVIDENSKABELIGE SKRIFTER

A.

UDGIVET AF

DANMARKS NATURVIDENSKABELIGE SAMFUND

VED UDVALGET FOR INGENIØRVIDENSKABELIG FORSKNING

- A. 1. *M. Rubner*: Aus dem Leben einer Zelle. 1913. (Pris: Kr. 0,50).
2. *Niels Bjerrum*: Nyere Undersøgelser over Atomernes Bevægelser med særligt Henblik paa Kvantehypotesen. 1915. (Pris: Kr. 0,50).
3. *Kolpin Ravn*: Om Agerbruget paa St. Croix. 1915. (Pris: Kr. 0,50).
4. *Fru Kirstine Meyer*: Ole Rømer. Ved Afsløring af Ole Rømer Statuen. 1918. (Pris: Kr. 0,50).
5. *E. Strömngren*: Ole Rømer som Astronom. 1918. (Pris: Kr. 0,50).
6. *M. C. Harding*: Ole Rømer som Ingeniør. 1918. (Pris: Kr. 0,50).
7. *E. S. Mitscherlich*: Om Vækstfaktorernes Virkningslov. 1921. (Pris: Kr. 0,50).
8. *A. Wegener*: 1) Kontinenternes Forskydning. 2) Jordskorpens Natur. 3) Fortidens Klimater. 1922. (Pris: Kr. 0,50).
9. *F. C. Becker, C. Janholm og P. E. Raaschou*: Om Tørringsprocessen. 1925. (Pris: Kr. 0,50).
10. *A. Oppermann*: Nyere Principper i Skovdyrkingen. 1925. (Pris: Kr. 1,50).
11. *P. E. Raaschou* med Assistance af *N. C. Janholm og A. Ranlov*: En Undersøgelse over Varmeøkonomien ved Gasværksovne. 1926. (Pris: Kr. 1,00).
12. Ingeniørkaptajn *K. Prytz* i Samarbejde med Professor *G. Schönweller* og Ingeniør *Th. Claudi Westh*: Sammenhængen mellem Nedbør og Tilstømning til Nissum Fjord. 1926. (Pris: Kr. 1,50).
13. *P. E. Raaschou og V. Ahrend Larsen*: En Undersøgelse over Bomuldstoffernes Paavirkning ved Vask, specielt med perboratholdige Vaske-midler. 1927. (Pris: Kr. 1,50).
14. *H. I. Hannover*: Om Molersten, — en betydningsfuld dansk Specialindustris Udvikling. 1927. (Pris: Kr. 2,50).
- 15a & b. *P. O. Pedersen*: The Propagation of Radio Waves. 1927. (Pris: Kr. 15).
16. *A. Ostfeld*: Polyteknisk Lærestalt Laboratorium for Bygningsstatik 1. 1928. (Pris: Kr. 1,50).
17. *K. W. Johansen*: Om Virkningen af Bøjler og Skraajærn i Jærnbetonbjælker. 1928. (Pris: Kr. 2,00).
18. *P. O. Pedersen*: Et Par Anvendelser af elektriske Udladninger i Maaletekniken: Smaatidsmaaling og Klydonograf. (Pris: Kr. 1,00).
19. *A. Ostfeld*: Exzentrisc beanspruchte Säulen, Versuche mit Holzsäulen, Querschnittsbemessung. With an english summary. 1929. (Pris: Kr. 3,00).
20. *Vilhelm Marstrand*: Ingeniøren og Fysikeren Ludvig August Colding. Minde-skrift i Anledning af Den polytekniske Lærestalts Hundrearsfest. 1929. (Pris: Kr. 2,00).
21. *A. Ostfeld*: Exzentrisc beanspruchte Säulen, Versuche mit Stahlsäulen, Querschnittsbemessung. With an english summary — Avec un resumé en français. 1930. (Pris: 3,00).
22. *Axel Bendixsen*: Beregning af Spændingerne i krumme Flader, specielt Kuglefladen. Mit einem deutschen Resumé. 1930. (Pris: Kr. 3,00).
23. *J. O. V. Irminger* and *Chr. Nokkentved*: Wind-Pressure on Buildings Experimental Researches. 1930. (Pris: Kr. 10,00).

B.

UDGIVET AF

DANSK INGENIØRFORENING

- B. 1. Isolatorbindinger. Udvalgsberetning. (Pris: Kr. 1,25)
2. Beretning om Det nordiske Ingeniørmøde i København 28.—31. August 1929 samt om Den polytekniske Lærestalts 100-Aars Fest. (Pris: Kr. 10,00).
3. *E. Suenson*: Cementrørs Vandtæthed. With an English summary. (Pris: Kr. 2,50).
4. *A. Englund*: Alssundbroen. With an English summary. (Pris: Kr. 3,00).