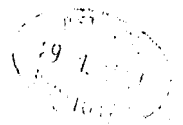


BAKKESAND SOM MØRTELMATERIALE

AF

PROFESSOR E. SUENSON, M. ING. F.

SÆRTRYK AF «INGENIØREN» NR. 95--98, 1920



KØBENHAVN
TRYKT HOS J. JØRGENSEN & CO. (IVAR JANTZEN)
1920

Dansk Ingeniørforenings Bestyrelse nedsatte i Aaret 1911 et Udvalg til Udarbejdelse af Normer for Betonrør. For dette Udvalg blev der af Foreningen af danske Cementfabrikker stillet et større Pengebeløb til Disposition paa Betingelse af, at Udvalget vilde gøre de forskellige Grussorters Brugbarhed til Betonstøbning til Genstand for Forsøg, fordi Foreningen mente, at mange Reklamationer over daarlig Cement fremkom med Urette, idet ikke Cementen, men Gruset bar Skylden for det daarlige Resultat. Der blev derfor nedsat et Underudvalg bestaaende af Afdelingsingeniør *H. Fischer-Møller*, Ingeniør *E. Petri* og Forfatteren af denne Beretning, og dette Udvalg udarbejdede et Program for Grusforsøgene, som blev vedtaget af det store Udvalg.

Forslaget gik ud paa at foretage to parallelle Forsøgsrækker, een med Strandsand og een med Bakkesand, til Bestemmelse af Kornstørrelsens Indflydelse paa Mørtelens Kvalitet. Naar disse Forsøg var bearbejdede, skulde der søges skaffet til Veje Prøver af saadanne Grussorter, der har vist sig uegnede til Beton. Paa Grundlag af de vundne Erfaringer vil man da ved en simpel Sigleanalyse kunne afgøre, hvorvidt Kornstørrelsen alene er Skyld i Grusets Mangelfuldhed, og kun naar dette ikke er Tilfældet, vil det være nødvendigt at undersøge, om Gruset indeholder opløselige Stoffer, der kan indvirke uheldigt paa Cementen.

Forsøgsrækken med Strandsand blev offentliggjort i *«Ingeniøren»* 1914, S. 561—81. Forsøgsrækken med Bakkesand, som her offentliggøres, blev paabegyndt i Slutningen af November 1913 og afsluttet i Maj 1914. Samtlige Forsøg blev udførte paa Statsprøveanstalten under Afdelingsingeniør *H. Fischer-Møllers* Ledelse.

For Sammenligningens Skyld er sideordnede Figurer og Tabeller i de to Forsøgsberetninger nummererede ens.

1. Sandet.

a. Det raa Grus.

Til Forsøgene anvendtes Betongrus fra Kallerup Grusgrav.

Gruset tørredes paa Hedehusteglværket ovenpaa en af Ringovnene. Det indeholdt ved Indsendelsen 0,25 pCt. Vand. Samtidig med Indsendelsen af det tørrede Grus indsendtes (14. Juli 1913) i en tætsluttende Daase en Prøve af Gruset direkte fra Grusgraven. Dettes Fugtighedsindhold fandtes at være 3,57 pCt. af det fugtige Grus' Vægt.

Litervægtbestemmelse foretoges dels med det tørre Grus dels med Gruset, efter at der var tilsat saa meget Vand, at Gruset havde det ovenfor angivne Fugtighedsindhold (3,57 pCt. Vand).

Litervægten af det fugtige Grus bestemtes ved at fylde Materialet løst i Statsprøveanstaltens almindelige 10 Liter Maalekar, der er 17,8 cm højt og 26,8 cm i Diameter (Fig. 0,3), hvorved fandtes (som Middeltal af 3 Forsøg):

$$\frac{1312 + 1320 + 1332}{3} = 1321 \text{ g.}$$

Almindeligt Strand-Betongrus er væsentlig lettere (1150—1185 g).

For det tørre Grus fandtes:

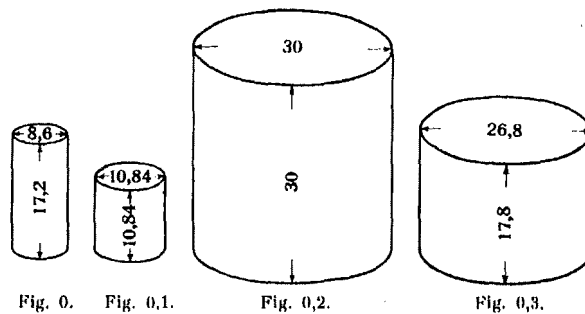
$$\frac{1735 + 1736}{2} = 1736 \text{ g.}$$

Ved at bruge et 30 cm højt Maalekar med 30 cm Diameter (Rumfang 20,13 l) (Fig. 0,2), hvilken Form er ligedannet med den Normalliter (Fig. 0,1), som Det internationale Materialprøvningsforbund har indført for Cement, fandtes Litervægten af det fugtige Grus at være:

$$\frac{1297 + 1297}{2} = 1297 \text{ g}$$

og af det tørre:

$$\frac{1679 + 1682}{2} = 1681 \text{ g.}$$



Det tørrede Grus sigtedes paa Pladesigter med cirkulære Huller, hvorved følgende Kornstørrelser fremkom:

Sigte med 5 mm Huller:

Grove Korn.

Sigte med 2 mm Huller:

Middelfine Korn.

Sigte med 1/2 mm Huller:

Fine Korn.

Af de middelfine Korn udtoges en Prøve, der sigtedes paa Sigter med 1,5 og 1 mm Huller (Tabel IV).

Kornsammensætningen viste sig at være i Vægtprocent, som angivet i Tabel I, hvori Resultaterne af de tidligere Forsøg er genoptrykte.

TABEL I.

Kornstørrelse	Kallerupgr.	Helsingørgr.	Masned-sundgr.	Samsøgr.
> 5 mm	12,8 pCt.	0,1 pCt.	0,4 pCt.	15,2 pCt.
5 - 2 "	25,3 "	0,5 "	2,4 "	27,3 "
2 - 1,5 "	4,0 "	1,4 "	0,9 "	7,9 "
1,5 - 1 "	0,3 "	4,9 "	2,0 "	9,7 "
1 - 0,5 "	25,9 "	50,8 "	38,0 "	22,3 "
0,5 - 0 "	25,7 "	42,3 "	56,3 "	17,6 "
	100,0 pCt.	100,0 pCt.	100,0 pCt.	100,0 pCt.

Gruset er grovere end Helsingør- og Masnedsundgruset, men finere end Samsøgruset. Man bør lægge Mærke til, hvor svagt Kornstørrelsen 2—1 mm i alle Tilfælde er repræsenteret. Thi det tyder paa, at det, naar Gruset bedømmes efter Gennemgangen gennem en enkelt Sigte, er af underordnet Betydning om denne Sigte har 1, 1,5 eller 2 mm Huller.

De fine Kornes Størrelse undersøgtes yderligere paa Traadsigter, hvorved fandtes:

- Pladesigte med ½ mm runde Huller: 70,2 Vægtprocent.
- Sigte med 900 Msk. pr. cm², Lysvidde 0,222 mm: 18,7 Vægtprocent.
- Sigte med 2 500 pr. cm², Lysvidde 0,13 mm: 2,6 Vægtprocent.
- Sigte med 4 900 Msk. pr. cm², Lysvidde 0,09 mm: 8,5 Vægtprocent.

Litervægten i løst Maal bestemtes foruden i det tidligere nævnte 10 Liter Maalekar (Fig. 0,3) desuden i 2 forskellige 1 Liter Maalekar (Fig. 0 og 0,1) og under Anvendelse af forskellige Fyldningsmaader. Karret Fig. 0 fyldtes med *Böhme's* Apparat (Fig. 0,4), der er indrettet

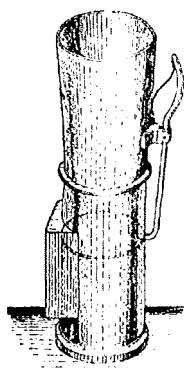


Fig. 0,1.

som en Kornvægt, altsaa saaledes, at hele Massen paa een Gang styrter ned i Maalekarret. Apparatet, der anbringes ovenpaa dette, bestaar af et konisk og et cylindrisk Rør, i hvilket sidste, der findes et Spjæld, drejeligt om et Hængsel til venstre i Figuren og i vandret Stilling fastholdt af en Hage paa Stangen. Rummet over Spjældet fyldes med Forsøgs materialet, og ved et Tryk paa Haandtaget udløses Spjældet, saa Materialet styrter ned i Maalekarret, som det rigeligt fylder. Efter forsigtig Afstrygning vejes Indholdet. Karret Fig. 0,1 fyldtes med det Tragtapparat, som Det internationale Materialprøvningsforbund har anbefalet at bruge ved Bestemmelse af Cements Litervægt. Ved Brugen fyldtes der hver Gang Grus i Tragten op til et bestemt Mærke, nemlig saa meget som udkrævedes til at fylde med Top det under Tragten staaende Maalekar.

Desuden undersøgtes, om det paavirkede Litervægten, at Materialet forud havde været brugt til Litervægtsbestemmelse.

Vægtfylden bestemtes med *Michaelis' Volumenometer*. Resultaterne findes i Tabel II.

TABEL II.

Kornstørrelse	Vægtfylden	1 Liter (Böhme) Fig. 0		1 Liter (Tragt) Fig. 0,1		10 Liter Fig. 0,3	
		friskt Materiale	brugt Materiale	friskt Materiale	brugt Materiale	friskt Materiale	brugt Materiale
grove	2,58	1300 1295}	1298	1305	1337 1341}	1339 1384}	1392
middelfine	2,63	1416 1418}	1417	1417	1399 1399}	1485 1475}	1485
fine	2,64	1524 1525}	1525	1528	1475 1475}	1570 1567}	1577

Vægtfylden ses at vokse med aftagende Kornstørrelse, hvilket er en Følge af, at Gruset er aflejret i Vand. Den Hastighed, hvormed Kornene bundfældes, vil nemlig vokse med Vægtfylden og med aftagende Rumfang, hvorved store Korn med lille Vægtfylden og smaa Korn med stor Vægtfylden vil bundfældes sammen. En Sammenligning med Strandgruset (*Ingeniøren* 1914, S. 561) viser, at de grove og middelfine Korn i dette har en mindre Vægtfylden end de tilsvarende i Bakkegruset, mens Forholdet er omvendt for de fine Kornes Vedkommende (bortset fra Masnedsundgruset).

Litervægten er fundet en Ubetydelighed mindre for friskt Materiale end for Materiale, der forud har været brugt til Litervægtsbestemmelse, hvilket muligvis kan skyldes en svag Afslibning eller en Adskillelse af sammenklæbte Korn.

Litervægtens Vækst med Finheden er ikke blot en Følge af Vægtfyldens Vækst, men skyldes hovedsagelig voksende Lejringsstæthed. Beregnes Hulrumsprocenten af Udtrykket:

$$v = \left(1 - \frac{\text{Litervægt}}{\text{Vægtfylden}} \right) \cdot 100$$

faas de i Tabel II a indførte Værdier, der viser, at Hulrumsprocenten aftager med voksende Finhed. Dette hænger utvivlsomt sammen med, at de tre Sandsorter ikke er *sligedannede*. De fine Korn indeholder alle Størrelser fra 0 til 0,5 mm og har derfor en lille Hulrumsprocent, de middelfine Korn har en langt mere ensartet Størrelse (0,5—2 mm) og har derfor en større Hulrumsprocent. En tænkt Sandsort, hvis Kornstørrelse var den 4dobbelte af den nysnævnte (2—8 mm) maatte have samme Hulrumsprocent, men da de grove Korn kun gaar fra 2 til 5 mm, altsaa er mere ensartede, bliver deres Hulrumsprocent større.

TABEL II a.

Hulrumsprocent for friskt Materiale.

Kornstørrelse	1 Liter (Böhme) Fig. 0	1 Liter (Tragt) Fig. 0,1	10 Liter Fig. 0,3
grove	49,7	48,1	46,0
middelfine	46,1	46,8	43,7
fine	42,2	44,1	40,6

Da *Böhme's* Litermaal er slankere end Tragtapparatets, burde det have givet en større Hulrumsprocent end dette, og saaledes er Tilfældet ogsaa for de grove Kornes Vedkommende. Naar Forholdet er omvendt for de mid-

delfine og i endnu højere Grad for de fine Kornes Vedkommende, maa det skyldes, at den pludselige Indfyldning, som finder Sted ved *Böhme's* Apparat, forøger Lejrings-tætheden des mere, jo mere uensartet Kornstørrelsen er.

Ved Tørsigtning opnaas ikke en fuldkommen Sørtering; til de større Korn vil der hæfte nogle fine Partikler, der kun kan fjernes ved Vaskning. For at finde disses Mængde blev en Del af de grove Korn vaskede paa en Sigte med 900 Masker pr. cm², hvorved 1 pCt. bortgik; ved en tilsvarende Behandling af de middelfine Korn bortgik kun 0.35 pCt. De vaskede og tørrede grove Korn havde en Litervægt (*Böhme*) af $\frac{1293 + 1288}{2} = 1291$ g, altsaa en Nedgang i Forhold til de uvaskede Kornes 1298 g. Dette Resultat viser, at Urenhederne for Størstedelen har siddet i Kornenes Fordybninger eller ligget løse mellem Kornene, havde de klæbet til disse, maatte Resultatet være blevet det modsatte.

b. Forsøgssandet.

Til de følgende Forsøg brugtes de grove, middelfine og fine Korn i uvasket Tilstand, saaledes som de fremkom ved Sortering af det tørrede Grus. Vægtfylde og Litervægt findes i Tabel II. De middelfine Kornes Sammensætning er indført i Tabel IV.

TABEL IV.

De middelfine Kornes Sammensætning.

2	—1,5 mm	11,1 pCt.
1,5—1	»	17,3 »
1	—0,5 »	71,6 »
100,0 pCt.		

TABEL IV a.

Sandsorternes Sammensætning.

Se ogsaa Fig. 29.

Sandets Nr. (se Fig. 1)	Sandets Sammensætning		
	5—2	2—0,5	0,5—0
1	5	0	0
2	4	1	0
3	4	0	1
4	3	2	0
5	3	1	1
6	3	0	2
7	2	3	0
8	2	2	1
9	2	1	2
10	2	0	3
11	1	1	0
12	1	3	1
13	1	2	2
14	1	1	3
15	1	0	4
16	0	0	0
17	0	4	1
18	0	3	2
19	0	2	3
20	0	1	4
21	0	0	5

Kornene er noget grovere end ved Forsøgene med Strand-sand.

De tre Kornsorter blev sammenblandede efter Vægt, saaledes at der fremkom de i Tabel IV a indførte 21 forskellige Sandsorter, hvis Egenskaber undersøgtes. Resultaterne af disse Undersøgelser er fremstillede grafisk i Fig. 1 og følgende Figurer, hvor hvert Punkt inden for den ligesidede Trekant svarer til et bestemt Blandingsforhold, idet Punktets Afstand fra Trekantsiderne repræsenterer Blandingens Indhold af de tre Kornsorter. De tre Vinkelspidser svarer følgelig til de ublandede Korn, og Systemet er valgt saaledes, at højre Spids svarer til de fine Korn, venstre til de grove, og øverste Spids til de middelfine. Den nederste vandrette Linie repræsenterer alle de Blandinger, der ingen middelfine Korn indeholder, den næstnederste Linie alle Blandinger med 20 pCt. middelfine Korn o. s. v. De 21 Sandsorter, som svarer til Liniernes Skæringspunkter, er undersøgt, og ved Interpolation i alle tre Retninger er der indlagt Kurver gennem de Punkter, der svarer til Sandsorter med samme Egenskaber. Hver femte Kurve er trukket stærkt op, og dens Værdi er paaskrevet. Tallene er vendt saaledes, at de er kselige for en Person, der staar paa et Højdepunkt og ser ned ad Skrænterne.

I Fig. 1 er de 21 Sandsorter mærkede med hver sit indcirklede Nummer. Man ser f. Eks., at Sandsort Nr. 8 bestaar af 40 pCt. grove, 40 pCt. middelfine og 20 pCt. fine Korn.

Sideordnet med de øvrige Forsøg foretoges en Forsøgsrække med det tyske Normalsand, hvis Kornstørrelse ligger mellem 1,35 og 0,775 mm. Det bestaar altsaa af middelfine Korn, men Størrelsen er meget ensartet, og Grovheden er større end Gennemsnittet af de middelfine Korn, der hovedsagelig ligger mellem 1,0 og 0,5 mm (se Tabel IV).

TABEL V.

Sandets Nr. (se Fig. 1)	Litervægt i løst Maal best. m. Böhmes App.			Litervægt i løst Maal best. m. Tragtpararat		
	1. Best.	2. Best.	Middel-tal	1. Best.	2. Best.	Middel-tal
1	1300	1295	1298	1337	1341	1339
2	1416	1417	1417	1425	1419	1422
3	1505	1502	1504	1490	1493	1492
4	1500	1500	1500	1462	1457	1460
5	1626	1638	1632	1542	1531	1537
6	1675	1676	1676	1600	1608	1604
7	1508	1513	1511	1458	1460	1459
8	1633	1623	1628	1535	1532	1534
9	1692	1686	1689	1694	1609	1607
10	1691	1691	1693	1622	1628	1625
11	1475	1470	1473	1438	1431	1435
12	1586	1583	1585	1509	1506	1508
13	1654	1649	1652	1575	1572	1574
14	1650	1655	1653	1592	1582	1587
15	1653	1653	1653	1570	1576	1573
16	1418	1416	1417	1399	1399	1398
17	1569	1566	1568	1486	1488	1487
18	1582	1585	1584	1525	1518	1522
19	1591	1587	1589	1520	1523	1522
20	1566	1561	1564	1518	1516	1517
21	1524	1525	1525	1475	1475	1475

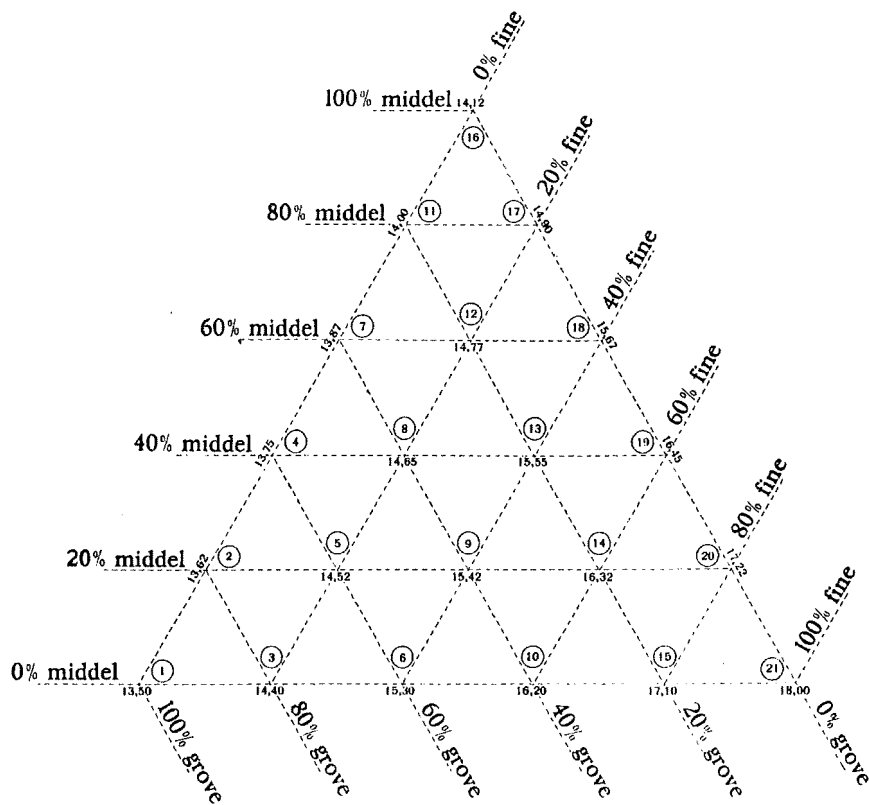


Fig. 1. De indcirklede Tal er Sandsorternes Numre. De firecifrede Tal angiver i Vægtprocent de Vandmængder der er beregnede at ville give Normalkonsistens.

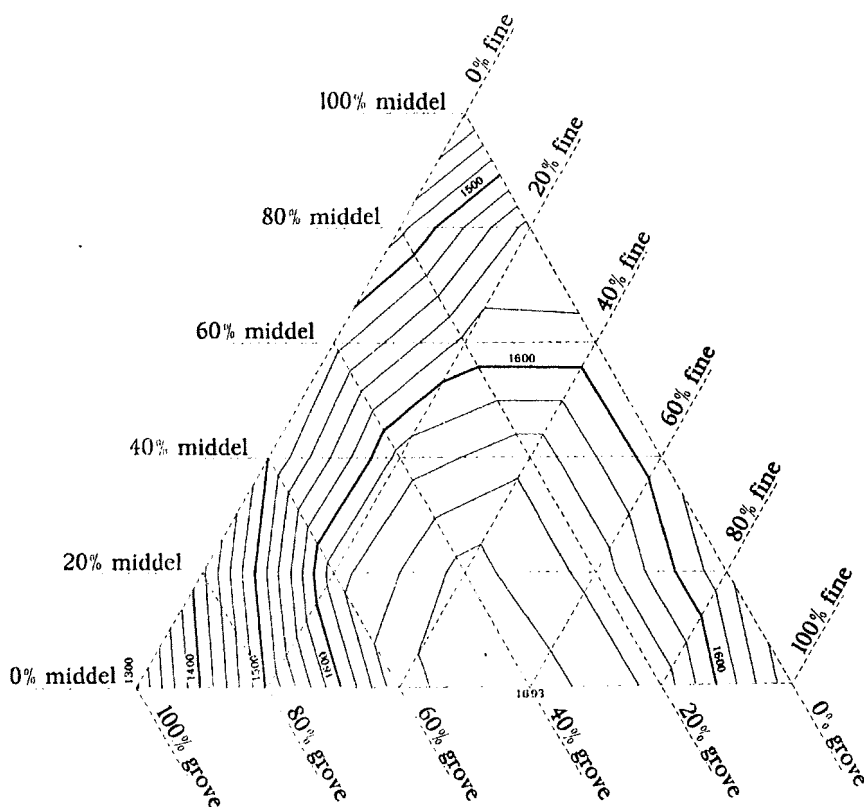


Fig. 2. Sandsorternes Litervægt i Gram ved løs Lejrings (Böhmes Apparat).

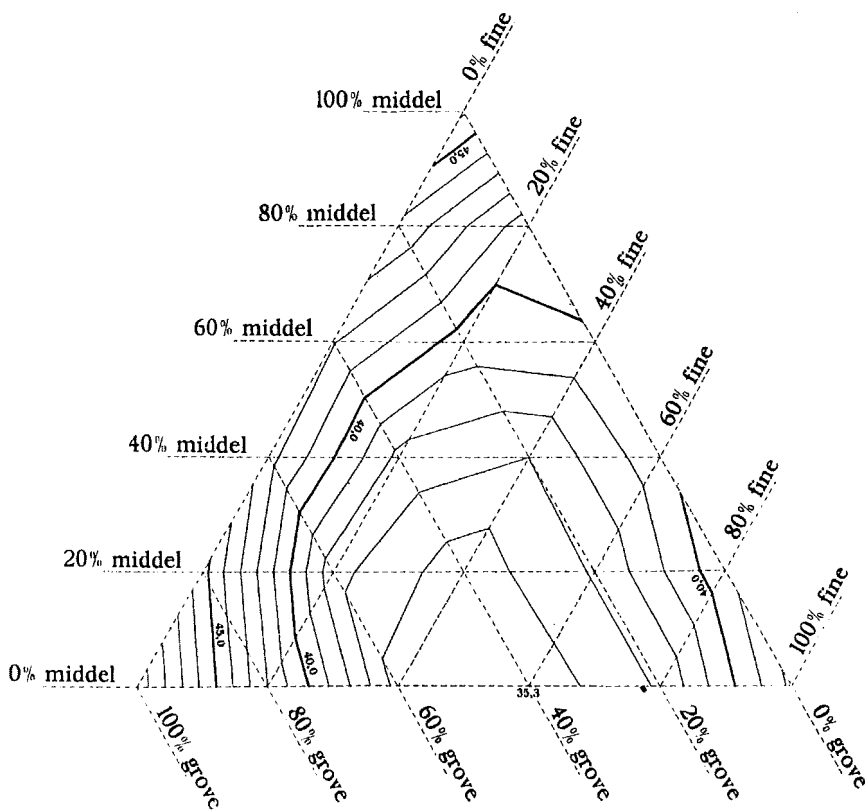


Fig. 2.1. Sandsorternes Hulrumsprocent ved løs Lejrning (Böhmes Apparat).

De 21 Sandsorters Litervægt bestemtes saavel med *Böhme's* Apparat som med Tragtapparatet, og Resultaterne fremgaar af Tabel V og for *Böhme's* Apparats Vedkommende tillige af Fig. 2. Størst Litervægt har en Blanding af omtrent lige Vægtdele grove og fine Korn med Udelukkelse af de middelfine, hvilket stemmer med tidligere Forsøg.

Böhme's Apparat synes at give en Kende mere ensartede Værdier end Tragtapparatet, idet den numeriske Differens mellem 1. og 2. Bestemmelse gennemsnitlig er 3,9 g ved *Böhme's* Apparat mod 4,7 g ved Tragtapparatet. Den største Differens findes for begge Apparater ved Sandsort Nr. 5 og er henholdsvis 12 og 11 g. *Böhme's* Apparat har givet den største Litervægt undtagen for de to groveste Sandsorters Vedkommende, hvilket stemmer med det ved Tabel II a bemærkede. Gennemsnitlig har *Böhme's* Apparat givet 3,5 pCt. større Værdier end Tragtapparatet.

I Fig. 2.1 er Hulrumsprocenterne svarende til de med *Böhme's* Apparat fundne Litervægte fremstillede. Da Kornenes Vægtfylde kun varierer lidt, er Kurverne næsten ligedannede med Litervægtskurverne (Fig. 2).

Den jævne Variation af Hulrumsprocenten frister til at opstille en Ligning for den. Kaldes Indholdet af grove, middelfine og fine Korn, alt i Vægtprocent, for g, m og f, kan Hulrumsprocenten udtrykkes ved:

$$V = 0,260 g + 0,454 m + 0,246 f + 0,00237 g^2 + 0,00176 f^2 \quad (1)$$

For Strandsandet kan skrives:

$$V = 0,253 g + 0,445 m + 0,278 f + 0,00209 g^2 + 0,00157 f^2 \quad (2)$$

Tages Middellallet af Forsøgsværdierne for Bakke- og Strandsand, kan dette udtrykkes ved:

$$V = 0,257 g + 0,450 m + 0,262 f + 0,00223 g^2 + 0,00167 f^2 \quad (3)$$

Tabel V a viser den Grad af Overensstemmelse, der oppaas. For Bakkesandet er den største Afvigelse 1,6 (Sand Nr. 17), for Strandsandet er den 1,3 (Sand Nr. 15). Anvendes Ligning (3), bliver største Afvigelse 1,8 baade for Bakkesand og for Strandsand.

2. Cementen

Cementen, der blev indsendt til Statsprøveanstalten d. 6. Novbr. 1913, var af samme Parti som den, der blev brugt til Strandgrusforsøgene. Da den var lidt klumpet, lod man den passere en Sigte med 1 mm runde Huller. En Undersøgelse efter Normerne gav derefter følgende Resultat:

Størkningstid i Normalkonsistens (σ): med 26,5 pCt. Vand): 8½ Time; Størkningen begyndte efter 5½ Time; Temperaturforhøjelse under Størkningen 2°.

Sigterest paa Sigter med 900, 2500 og 4900 Masker pr. cm²: henholdsvis 1,2, 8,7 og 14,4 pCt.

Cementen bestod den almindelige Volumenbestandighedsprøve.

Styrken efter Normerne fremgaar af Tabel VI.

TABEL Va. Hulrumsprocenter.

Sandets Nr.	Forsøgsværdier			Beregnete Værdier			Differenser mellem			
	Bakkesand	Strandsand	Middeltal	Ligning 1	Ligning 2	Ligning 3	e og b	f og e	g og b	g og c
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k
1	49,7	46,2	48,0	49,7	46,2	48,0	0,0	0,0	-1,7	+1,8
2	45,3	42,2	43,8	45,1	42,5	43,8	-0,2	+0,3	-1,5	+1,6
3	42,0	40,3	41,2	41,6	39,8	40,7	-0,4	-0,5	-1,3	+0,4
4	42,3	40,5	41,4	42,3	40,5	41,4	0,0	0,0	-0,9	+0,9
5	37,3	38,0	37,7	38,8	37,8	38,3	+1,5	-0,2	+1,0	+0,3
6	35,6	35,9	35,8	36,7	36,3	36,6	+1,1	+0,4	+1,0	+0,7
7	42,1	40,5	41,3	41,5	40,1	40,9	-0,6	-0,4	-1,2	+0,4
8	37,7	37,5	37,6	38,0	37,4	37,8	+0,3	-0,1	+0,1	+0,3
9	35,4	35,6	35,5	35,9	35,9	36,1	+0,5	+0,3	+0,7	+0,5
10	35,3	35,8	35,6	35,3	35,8	35,6	0,0	0,0	+0,3	-0,2
11	43,8	42,1	43,0	42,5	41,5	42,0	-1,3	-0,6	-1,8	-0,1
12	39,6	39,1	39,4	39,0	38,8	38,9	-0,6	-0,3	-0,7	-0,2
13	37,0	37,6	37,3	36,9	37,3	37,2	-0,1	-0,3	+0,2	-0,4
14	37,1	37,9	37,5	36,3	37,2	36,7	-0,8	-0,7	-0,4	-1,2
15	37,1	39,4	38,3	37,1	38,1	37,7	0,0	-1,3	+0,6	-1,7
16	46,1	44,5	45,3	45,4	44,5	45,0	-0,7	0,0	-1,1	+0,5
17	40,4	41,2	40,8	42,0	41,8	41,9	+1,6	+0,6	+1,5	+0,7
18	39,9	40,0	40,0	39,9	40,3	40,2	0,0	+0,3	+0,3	+0,2
19	39,7	40,2	40,0	39,3	40,2	39,7	-0,4	0,0	0,0	-0,5
20	40,7	41,3	41,0	40,1	41,1	40,7	-0,6	-0,2	0,0	-0,6
21	42,2	43,5	42,9	42,2	43,5	42,9	0,0	0,0	+0,7	-0,6

Tabel VI.

Mørtelens Alder	7 Døgn	28 Døgn
Trækstyrke i at	20,5	26,1
Trykstyrke i at	197	316

3. Mørtlernes Fremstilling og Prøvning.

Hver af de 21 Sandsorter blev blandede med Cement i Vægtforholdene 2 : 1 og 3 : 1, og der udførtes een Forsøgsrække med 13,5 pCt. Vand og en anden med 18 pCt. Vand. Da Sandets Rumvægt (*Böhme*) varierer fra 1298 (Nr. 1) til 1693 (Nr. 10), vil Blandingsforholdet 2 : 1 efter Vægt, naar Cementen regnes at veje 1360 g/l, svare til 2 : 1298 = 2 : 1693 eller 1 : 1360 = 2,01 : 1 og 2 : 1360 = 3 : 1350 eller 2,10 : 1 = 3,02 : 1 efter Rumfang, mens Blandingsforholdet 3 : 1 efter Vægt svarer til 3,14 : 1 = 2,41 : 1 efter Rumfang. I Praktis indeholder Sandet 3—4 pCt. Vand og lejrer sig derfor meget løse. Man kan regne, at der i 1 m³ Bakkesand, som det udmaales paa Byggepladsen, er 1350 kg tørt Sand, og følgelig vil Forsøgsmørtlernes Blandingsforhold 2 : 1 og 3 : 1 efter Vægt tilnærmelsesvis kunne fremstilles paa Byggepladsen som 2 : 1350 = 2,01 : 1 og 3 : 1350 = 3,02 : 1 efter Rumfang. 1 : 1360 = 2,01 : 1 og 1 : 1360 = 3,02 : 1 efter Rumfang.

Af hver Blanding fremstilledes 5 *Feret'ske* Prismer af Størrelse 4·4·16 cm³, hvis Rumvægt, Bøjningsstyrke, Trykstyrke og Vandindsugningsevne bestemtes efter 1 Døgns Hærdning i fugtig Luft, 6 Døgns Vandhærdning og 2³/₄ Maanedes Lufthærdning paa en Tremmereol i Laboratoriet.

Til hver 5 Prøvelegemer afvejedes de 3 Kornsorter hver for sig. Blandingen foretoges i et stort, emailleret Vandfad. Først blandedes Cementen og de fine Korn fuldkomment, derpaa iblandedes de middelfine og endelig

¹⁾ Se Byggematerialer § 1008.

de grove, hvorefter Vandet tilsattes. Komprimeringen foretoges med en Jærnstump, 10,2 cm lang og 1,7 × 1,7 cm i Tværsnit, vejende 232 g. Efter at Bøjningsstyrken var bestemt, blev de 10 Brudstykker trykprøvede mellem Staalplader, der var 4 cm i Kvadrat. Paa denne Maade finder man samme Brudspænding, som hvis Legemet var terningformet, idet de udragende Ender erfaringsmæssigt ikke forøger Styrken.

4. Vandtilsætningsens Størrelse.

Som ovenfor nævnt fremstilledes det halve Antal Mørtler med 13,5 pCt. Vand og den anden Halvdel med 18 pCt. Vand.

Da Vandtilsætningsens Størrelse har en dominerende Indflydelse paa Mørtlernes Trykstyrke, vil Forsøg med en anden Vandtilsætning end den i Praktis brugte let virke vildledende. Paa den anden Side var det ugerligt at prøve sig frem til den rette Vandtilsætning for alle 42 Mørtler, thi selv om man ikke skyede det store Arbejde, vilde det være umuligt at skønne den rette Vandtilsætning tilstrækkelig nøjagtigt, saa Vandtilsætningerne vilde komme til at variere paa ulovmæssig Maade. For at faa Orden i Tingene maatte man have nøjedes med at bestemme nogle faa Mørtlers Vandbehov, og saa have interpoleret sig til de andres paa Grundlag af deres Finkornethed. Men heller ikke denne Fremgangsmaade er rigtig tiltalende, dels fordi den stadig varierende Vandmængde let kan medføre Fejltagelser ved Prøvelegemernes Fremstilling, dels fordi det overhovedet er utiltalende at basere en videnskabelig Forsøgsrække paa en saadan, dog altid noget vilkaarligt valgt, Regel for Vandtilsætningen. Det blev derfor foretrukket at opsætte Interpolationen til efter Forsøgene og gennemføre de to ovennævnte Forsøgsrækker med 13,5 og 18 pCt. Vand.

En Mørtel 1 : 2 af lutter grove Korn (og Cement) med 13,5 pCt. Vand havde en Konsistens som den bruges i Praksis til Rørstøbning (en Mørtel 1 : 2 af lutter fine Korn med 18 pCt. Vand fik ligeledes en passende Konsistens, snarere for vaad end for tør; en Mørtel 1 : 3 af samme Materiale men med 17 pCt. Vand var noget for tør. Forsøgsrækken med 13,5 pCt. Vand svarer altsaa til Forholdene i Praksis for de grovkornede Mørtlers Vedkommende, men fjerner sig fra Praksis med voksende Finkornethed. Forsøgsrækken med 18 pCt. forholder sig omvendt, idet den svarer til Forholdene i Praksis for de finkornede Mørtlers Vedkommende, men fjerner sig fra Praksis med voksende Grovkornethed.

Ved Strandgrusforsøgene var Vandtilsætningerne kun 13 og 16 pCt. Forskellen skyldes dels, at den nye Cement krævede 2½ pCt. mere Vand til Normalkonsistens end den gamle og dels formentlig, at de fine Korn i Bakkegruset har haft en mindre Middelstørrelse end i Strandgruset.

Vil man opstille en retfærdig Sammenligning mellem Sandsorterne, maa man interpolere sig til de Styrketal, som vilde være fremkomne, hvis alle Mørtlerne havde haft den i Praksis brugelige Konsistens. Som tidligere nævnt, passede 13,5 pCt. Vand for de grove Korn og 18 pCt. Vand for de fine Korn. Gaar vi ud fra, at Differensen i Vandbehov er proportional med Differensen i Kornenes Overflade, kan den passende Vandtilsætning for hver enkelt Sandsort beregnes. Kornenes Middeldiameter, bestemt af Sigternes Hulstørrelse, skulde være for de grove Korn $\frac{1}{2}(5 + 2) = 3,5$ mm, for de middelfine $\frac{1}{2}(2 + 0,5) = 1,25$ mm, og for de fine $\frac{1}{2}(0,5 + 0) = 0,25$ mm, men i Henhold til tidligere Forsøg (»Ingeniøren« 1913, Side 231) bliver den kun 0,84 Gange saa stor eller henholdsvis 2,94, 1,05 og 0,21 mm.

Vægten af et Sandkorn med Diameter d og Vægtfylde v er $\frac{1}{8}\pi d^3 \cdot v$, og paa 1000 g vil der følgelig gaa et Antal, som er $\frac{1000}{\frac{1}{8}\pi d^3 \cdot v}$, og hvis samlede Overflade er $\frac{1000}{\frac{1}{8}\pi d^3 \cdot v} \cdot \pi d^2 = \frac{8000}{dv}$ cm².

Overfladen er da:

af 1000 g grove Korn:	$\frac{8000}{0,294 \cdot 2,58} = 7920$ cm ² ,
af 1000 g middelfine	$\frac{8000}{0,105 \cdot 2,63} = 21710$ cm ² ,
af 1000 g fine	$\frac{8000}{0,021 \cdot 2,64} = 108100$ cm ² .

Da de fine Korn har krævet $18 \div 13,5 = 4,5$ pCt. mere Vand end de grove, vil de middelfine kræve et

Merforbrug x, bestemt af $\frac{x}{4,5} = \frac{21710 - 7920}{108100 - 7920}$ eller $x = 0,62$ pCt.

Vi kommer altsaa til det Resultat, at man i Praksis vilde have brugt 13,5, 14,12 og 18 pCt. Vand henholdsvis for de grove, de middelfine og de fine Korn, og man kan derefter ved simpel Interpolation finde den rette Vandtilsætning for samtlige Sandsorter. Resultaterne er indførte i Tabel XI og paaskrevne Fig. 1.

Da der nu for samtlige Mørtler foreligger Forsøg med 13,5 og 18 pCt. Vand, kan man interpolere sig til de Styrketal m. m., som man vilde have fundet med de i Tabel XI og Fig. 1 angivne Vandmængder, og for disse Værdier, der alle er samlede i Tabel XI, er der ligeledes tegnet et Diagram, der i Modsætning til de to andre henævnes det normale, fordi det svarer til de i Praksis normale Forhold.

5. Mørtlernes Trykstyrke.

Resultaterne af Trykforsøgene findes i Tabel VII og Fig. 3—8.

Ser vi først paa Mørtlerne 1 : 2 med 13,5 pCt. Vand (Fig. 3), saa giver lutter fine Korn den mindste Styrke (276 at) ligesom ved Strandgrusforsøgene. Den største Styrke (556 at) har en Mørtel af 80 pCt. grove Korn og 20 pCt. fine Korn, og omtrent samme Styrke har en Mørtel af 60 pCt. grove og 40 pCt. middelfine Korn; ved Strandgrusforsøgene fandtes en Mørtel af lutter grove Korn at være stærkest.

Styrken af Mørtel 8 (se Tabel VII) er øjensynlig for ringe, til Trods for at den laveste Enkeltværdi er udskudt; det viste sig navnlig tydeligt ved Diagrammets Optegning. Det samme gælder Vægtfylden (Tabel IX), saa der er næppe Tvivl om, at Blandingsforholdet har været urigtigt. Forsøgsværdierne for denne Mørtels Trykstyrke og Vægtfylde blev derfor kasserede og erstattede med Middeltallene (henholdsvis 435 at og 2,19) af Forsøgsværdierne for de tilgrænsende 6 Mørteler.

Mørtlerne 1 : 2 med 18 pCt. Vand (Fig. 4) har en langt ringere Maksimumstyrke end de foregaaende, 352 mod 556, mens Minimumstyrken kun er sunket til 260 fra 276. Det maa her erindres, at alle disse Mørtler, bortset fra den af lutter fine Korn, er for vaade, saaledes at Cementvællingen synker til Bunds, naar de grove Porer ikke er fyldt med mindre Korn; derfor er det en af de Mørtler, hvis Hulrumsprocent er mindst (Nr. 9), der er bleven stærkest.

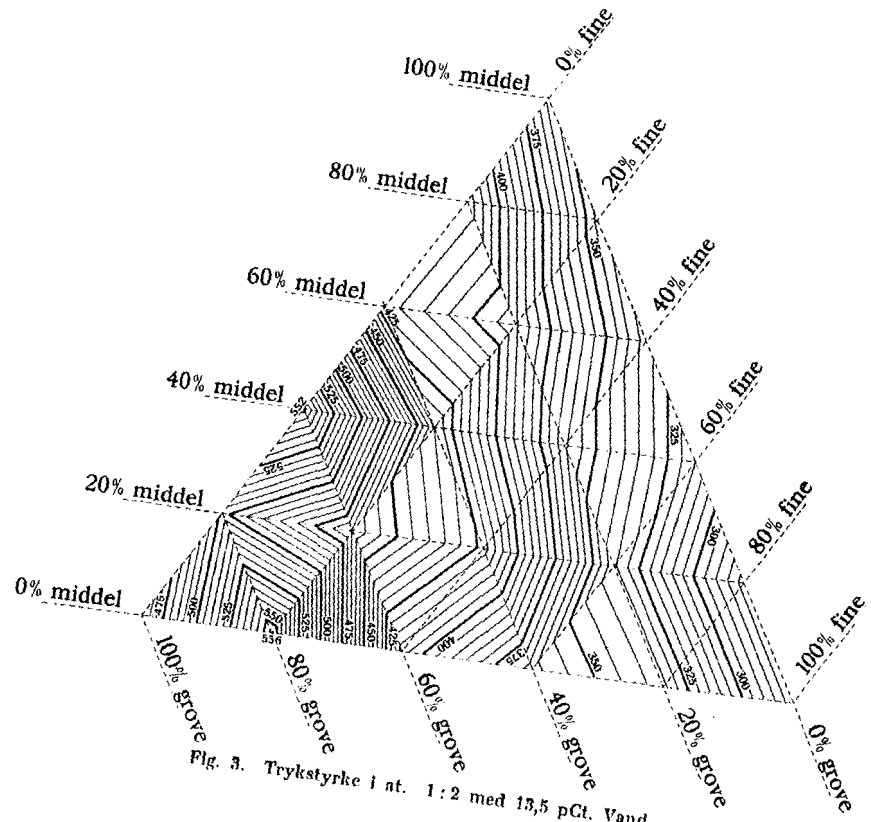


Fig. 3. Trykstyrke i at. 1:2 med 13,5 pCt. Vand.

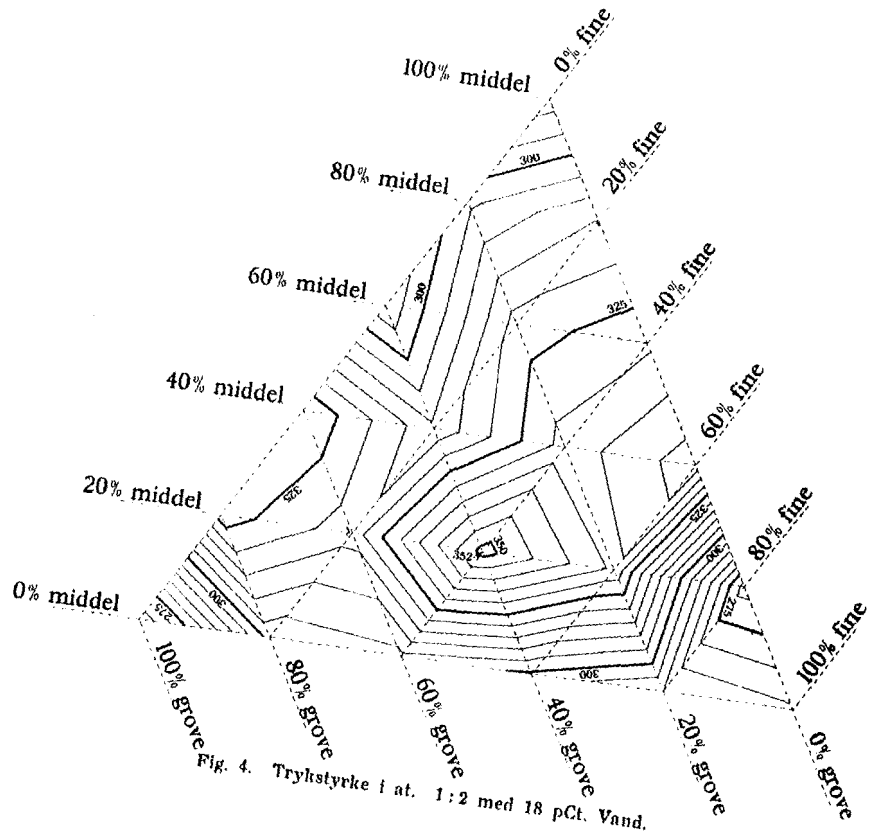


Fig. 4. Trykstyrke i at. 1:2 med 18 pCt. Vand.

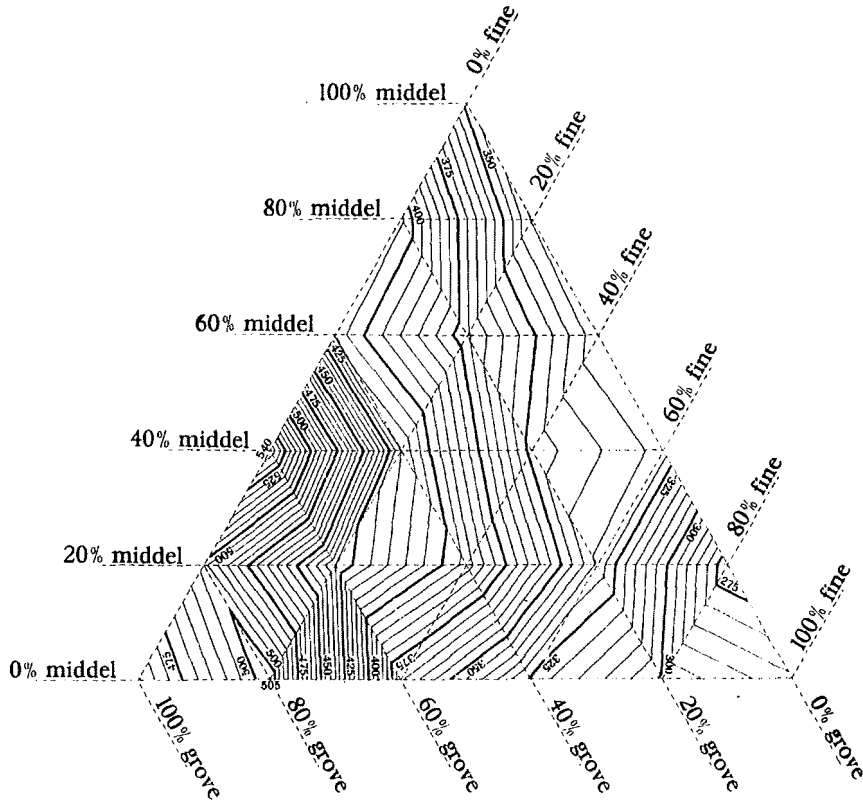


Fig. 5. Trykstyrke i at. 1:2 med 13,5-18 pCt. Vand.

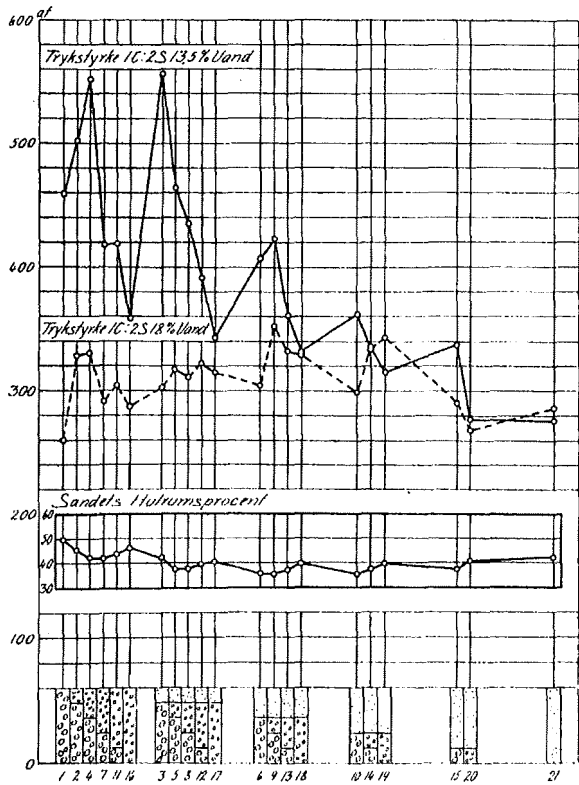


Fig. 5.1. Trykstyrke af Mørtler 1:2 med 13,5 og 18 pCt. Vand.

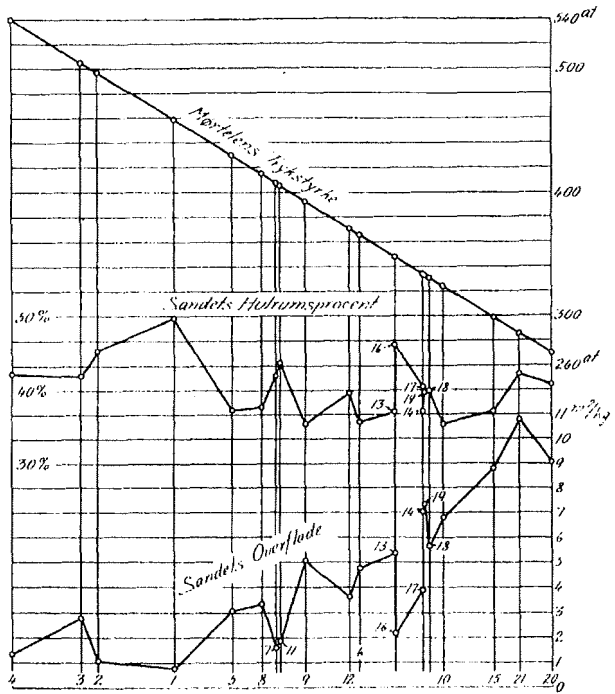


Fig. 5.2. Mørtler 1:2 med normal Vandtilsætning.

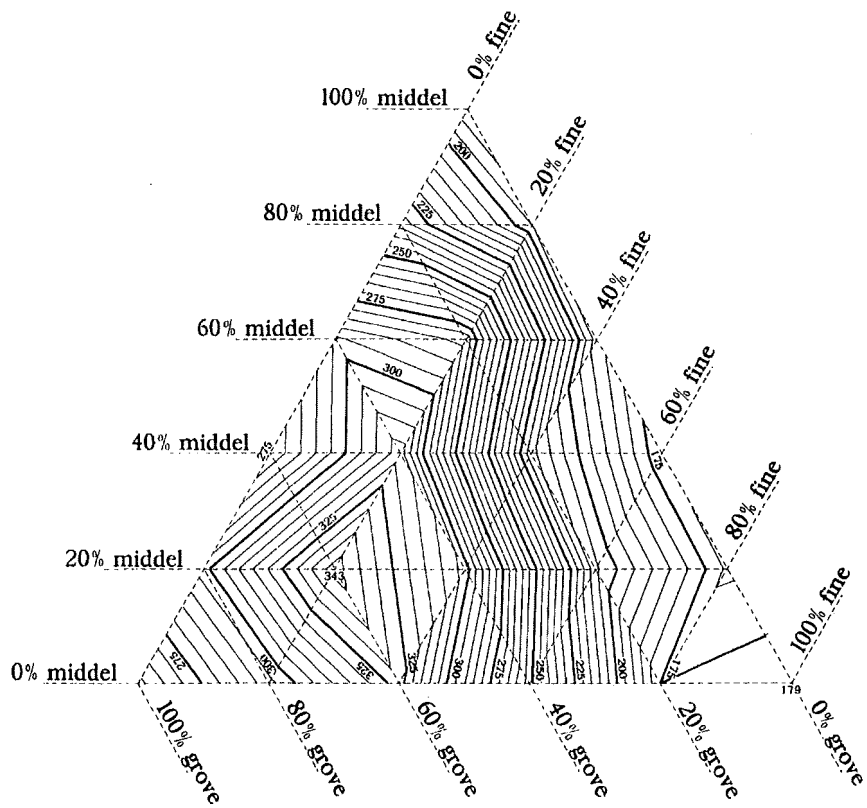


Fig. 6. Trykstyrke i at. 1:3 med 13,5 pCt. Vand.

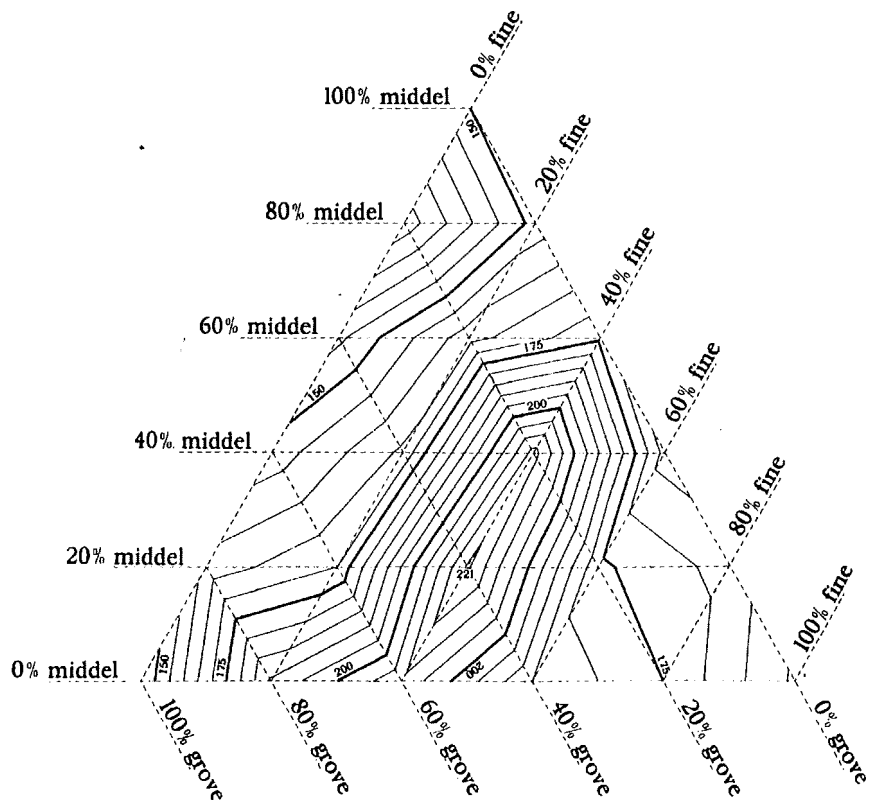


Fig. 7. Trykstyrke i at. 1:3 med 18 pCt. Vand.

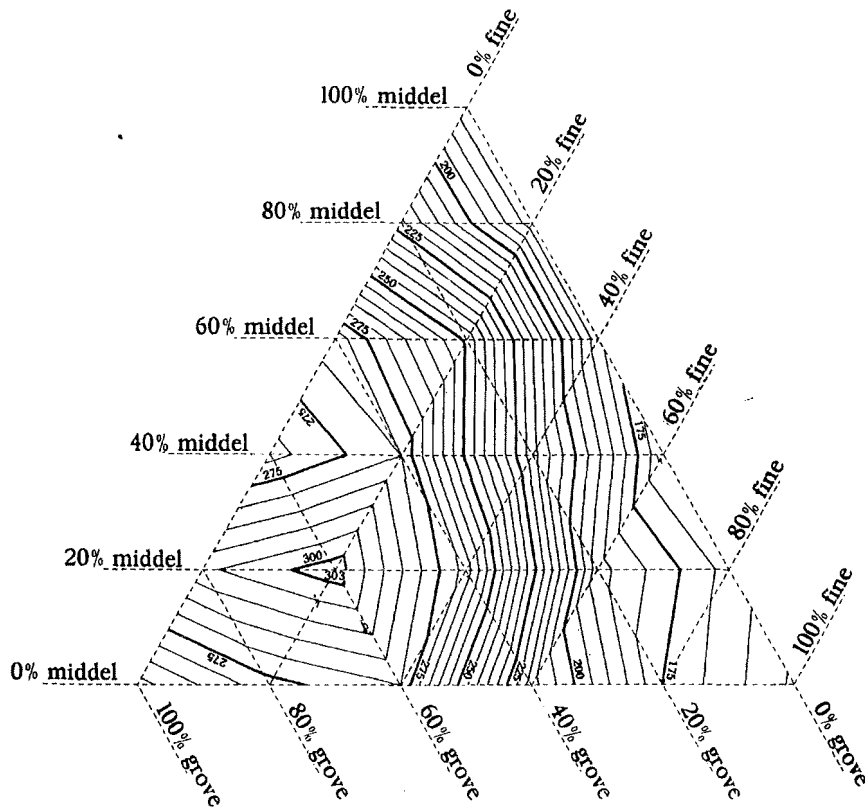


Fig. 8. Trykstyrke i at. 1:3 med 13,5--18 pCt. Vand.¹⁾

TABEL VII. Trykstyrke i at.

Sandets Nr. (se Fig. 1)	1 Cement: 2 Sand						1 Cement: 3 Sand					
	13,5 pCt. Vand			18 pCt. Vand			13,5 pCt. Vand			18 pCt. Vand		
	Min.	Middel	Max.	Min.	Middel	Max.	Min.	Middel	Max.	Min.	Middel	Max.
1	445	459	480	255	260²⁾	270 ³⁾	220	258	280	135	145	160
2	455	502	545	295	328	355	280	298	320	145	162	180
3	540	556	580	270	302	315	280	293	305	150	191	230
4	525	552	570	280	330	360	230	275	305	140	152	170
5	380	464	530	305 ¹⁾	317¹⁾	330	330	343	360	135	170	210
6	345	407	430	275	304	320	305	328	365	165	209	250
7	390	418	445	255	291	320	270	296	315	115	144	175
8	(330) ¹⁾	(364¹⁾	(405)	280	311	350	285	318	350	115	166	190
9	380	423	455	325	352	370	280	303	325	195	221	240
10	260 ²⁾	362²⁾	405	265	299	315	205	252	280	175	185	200
11	365	419	455	285	304	320	205	233	250	115	127	140
12	365	391	405	295	322	375	260	283	305	140	163	195
13	345	361	380	295	332	380	175	217	250	200	217	255
14	325	336	355	320	334	345	155	206	235	160	176	205
15	325	337	370	270	290	300	130	175	195	165	175	190
16	290	358	390	245	287	305	170	186	200	120	150	170
17	320	343	365	260	315	360	185	195	205	135	152	170
18	315	332	355	300	329	345	130	187	205	165	174	195
19	305	315	330	330	343	365	125	170	190	150	163	190
20	260	277	295	210	266	305	145	169	190	160	168	180
21	255	276	305	270	286	305	170	179	190	145	159	170
Normal-sand	320	349	380	(330)	(341)	(355)	165 ³⁾	175³⁾	180 ³⁾	120	132	165

¹⁾ Den allerlaveste Værdi (220 at) er udskudt ved Dannelsen af Middeltallet. I Diagrammet er Værdien 435 at benyttet.

²⁾ Den allerlaveste Værdi (220 at) er udskudt ved Dannelsen af Middeltallet.

³⁾ Den allerhøjeste Værdi (310 at) er udskudt ved Dannelsen af Middeltallet.

⁴⁾ Den allerlaveste Værdi (205 at) er udskudt ved Dannelsen af Middeltallet.

⁵⁾ For 6 Prøvelegemer, fremstillede med 10 pCt. Vand, fandtes 220, 235, 240, og naar Hærdningen udelukkende foregik i Vand: 300, 338, 365.

Fig. 5 viser Normaldiagrammet, altsaa de Trykstyrker, man vilde have fundet, hvis alle Mørtlerne havde haft samme Grad af Plasticitet, altsaa med de paa Fig. 1 angivne Vandmængder. Kurvernes Forløb er i Hovedsagen det samme som ved Strandgrusforsøgene. Ganske vist er den groveste Mørtel ikke blevet stærkest, men det er dog i Omegnen af det grove Hjørne, at de stærkeste Mørtler findes. Se ogsaa Fig. 27 og 29.

I Fig. 5,1 er de 21 Mørtler sammenstillede paa Abscisseaksen paa en saadan Maade, at Grovheden aftager fra venstre til højre. Sandets Indhold af grove, middelfine og fine Korn er direkte anskueliggjort ved en tilsvarende Signatur. De fundne Forsøgsresultater er afsatte som Ordinator. De første 6 Mørtler (1—16) ligger paa den Trekantside der svarer til 0 pCt. fine Korn, de følgende 5 Mørtler (3—17) ligger paa Linien med 20 pCt. fine Korn, de følgende 4 paa Linien med 40 pCt. fine Korn o. s. v. Kurverne i Fig. 5,1 viser altsaa 6 parallelle Snit i Diagrammerne Fig. 3 og 4. Summen af Kornoverfladerne vokser fra venstre til højre, og indenfor hvert af de 6 Snit er Differensen mellem to paa hinanden følgende Sandsorters Kornoverflade konstant, nemlig 2 758 cm² pr. kg Sand, mens der mellem den sidste Sandsort i eet Snit og den første Sandsort i det paafølgende Snit er en Overfladedifferens, der vokser fra 6 246 cm² mellem Nr. 16 og Nr. 3 til 17 278 cm² mellem Nr. 20 og 21.

Man ser af Figuren, at Trykstyrken af Mørtler med 13,5 pCt. Vand i det hele og store aftager stærkt med voksende Sandoverflade, mens Trykstyrken af Mørtler med 18 pCt. Vand er uafhængig af Sandoverfladens Størrelse. Fordelen ved at bruge groft Sand forsvinder altsaa, naar Vandtilsætningen overdrives.

Man finder stadig i Udlandets Litteratur den Aufagelse, at Sand med stor Litervægt giver større Trykstyrke end Sand med ringe Litervægt. Med Henblik paa Betonskiltsbygningen har engelske Eksperter saaledes hævdet, at man skal bruge Sand, der indeholder alle Kornstørrelser lige ned til Støv (dust). Som vist ved tidligere Forsøg (Byggematerialer § 1075), er denne Anlagelse urigtig. Trykstyrken vokser som Regel kun med Litervægten, for saa vidt dennes Vækst tilfældigvis er Udtryk for en stigende Grovhed. Ogsaa de her foreliggende Forsøg viser, at det i Hovedsagen er Sandets Finhed og kun i anden Linie Hulrumsprocenten, der bestemmer Styrken. I Fig. 5,2 er Mørtlerne 1 : 2 ordnede efter den Trykstyrke, de vilde have opnaaet med normal Vandtilsætning, og desuden er Sandets Hulrumsprocent og Overflade afsat. Man vil se, at Hulrumslinien i det store og hele er vandret, mens Overfladelinien stiger med faldende Trykstyrke. At Hulrumsprocenten ikke er helt uden Indflydelse fremgaar af, at Bølgerne paa Hulrumslinien til en vis Grad er Spejlbilleder af Bølgerne paa Overfladelinien.

For Mørtlerne 1 : 2 med 13,5 pCt. Vand har Kurverne et tilsvarende Forløb. For Mørtlerne 1 : 2 med 18 pCt. Vand er Trykstyrken derimod uafhængig af Sandoverfladens Størrelse (Fig. 5,1).

Mørtlerne 1 : 3 med 13,5 pCt. Vand (Fig. 6) frembyder et meget roligt Billede. Den ringere Cementmængde forslaaer ikke til at udfylde de grove Kornes Hulrum, derfor er det Sand med noget mindre Hulrumsprocent, der giver størst Styrke.

For Mørtlerne 1 : 3 med 18 pCt. Vand (Fig. 7) forenes Virkningen af Mørtlernes Magerhed og Vandrigdom, der rykker Maksimumspunktet endnu længere tilbage, hen til samme Beliggenhed som for Mørtlerne 1 : 2.

Paa Normaldiagrammet (Fig. 8) hæveder derimod Blandingen Nr. 5 sin Overlegenhed. En nærmere Undersøgelse viser, at der som Helhed ingen Forbindelse er mellem de 21 Sandsorters Hulrumsprocent og de tilsvarende Mørtlers Trykstyrke. Se ogsaa Fig. 28 og 29.

Sammenstilles Maksimums- og Minimumsværdierne, faas:

1 : 2		1 : 3	
13,5 pCt. Vand	18 pCt. Vand	13,5 pCt. Vand	18 pCt. Vand
556 (Nr. 3)	352 (Nr. 9)	343 (Nr. 5)	221 (Nr. 9)
276 (Nr. 21)	260 (Nr. 1)	169 (Nr. 20)	127 (Nr. 11)

Det fremgaar af de to Normaldiagrammer, at det er Sandsorterne i det grove Hjørne, der giver størst Styrke. Vil man karakterisere disse Sandsorter i Leveringsbetingelser, kan det ske ret nøje ved, at man forlanger et Indhold af mindst 40 pCt. grove og højst 40 pCt. fine Korn, men en saadan Sandsort finder man formentlig vanskelig i Naturen.

Det naturlige Sand fra Kallerup bestaar (se Tabel I) af 29 pCt. grove, 41,5 pCt. middelfine og 29,5 pCt. fine Korn. ligger altsaa omtrent i Diagramtrekantens Tyngdepunkt. Liberalere Forskrifter kan formuleres paa forskellige Maader; hvis man forlanger, at Mængden af fine Korn ikke maa overstige Mængden af grove Korn, bortskærer man hele højre Halvdel af Trekanten, og hvis man dertil føjer at Mængden af grove Korn mindst skal udgøre 30 pCt. vil man af Mørtlerne 1 : 3 (Fig. 8) kun beholde saadanne, hvis Styrke overstiger 250 at; en Bestemmelse om, at Mængden af fine Korn ikke maa overstige 4 Gange de grove Kornes Mængde, vil fjerne alle de Mørtler paa Fig. 8, hvis Styrke er under 175 at o. s. v.

Normalsandet, der findes nederst i Tabel VII, svarer, som tidligere nævnt, nærmest til det middelfine Sand Nr. 16 (Tabel IV), men Kornstørrelsen er mere ensartet og Middeldiameteren en Del større. I Blanding 1 : 2 med 13,5 pCt. Vand er der god Overensstemmelse mellem de to Mørtlers Styrke, men med 18 pCt. Vand har Normalsandet givet en saa stor Styrke, at der formentlig maa foreligge en Forsøgsfejl. I Blanding 1 : 3 har Normalsandet ligesom ved Strandsandforsøgene vist sig daarligere end saa godt som alle de øvrige Sandsorter, hvilket formentlig skyldes dets store Hulrumsprocent.

6. Mørtlernes Bøjningsstyrke.

Resultaterne af Bøjningsforsøgene findes i Tabel VIII og Fig. 9—14.

Bøjningsstyrken af Mørtlerne 1 : 2 med 13,5 pCt. Vand (Fig. 9) følger omtrent samme Lov som Trykstyrken (Fig. 3), idet de store Styrketal optræder ved 60—80 pCt. grove Korn. Overensstemmelsen med Strandsandforsøgene er god.

For Mørtlerne 1 : 2 med 18 pCt. Vand (Fig. 10) er der ogsaa god Overensstemmelse med Strandsandforsøgene.

At Vandmængden har en ganske anden Indflydelse paa Bøjningsstyrken end paa Trykstyrken viser sig endnu tydeligere ved Bakkesandet end ved Strandsandet, idet alle Sandsorterne Nr 6—21 (Tabel VIII), bortset fra en uvæsentlig Afvigelse ved Nr. 16, har opnaaet større Styrke med 18 pCt. Vand end med 13,5 pCt. Vand, og idet den stærkeste Mørtel med 18 pCt. Vand (67,9 at) kun er lidet svagere end den stærkeste Mørtel med 13,5 pCt. Vand (74,2 at). Forklaringen maa formentlig dels søges i det Slamlag, der ved vaad Støbning samler sig i Prøvelegemets Yderflader, hvorved Bøjningsstyrken forøges, dels i at Bøjningsstyrken for en stor Del bestemmes af Adhæsionen mellem Sandskornene og Kitmassen, mens Trykstyrken i højere Grad bestemmes af Kitmassens Forskydningsstyrke; den større Vandtilsætning forøger Adhæsionen, men gør Kitmassen svagere. Forholdet mellem Tryk- og Bøjningsstyrken ved 13,5 pCt. Vand varierer fra 6,28 (Nr. 5) til 8,2 (Nr. 3), ved 18 pCt. Vand fra 4,77 (Nr. 10) til 6,37 (Nr. 4).

Af Normaldiagrammet (Fig. 11) fremgaar, at den største Styrke opnaas med 60 pCt. grove og 40 pCt. middelfine Korn, samt at Kornstørrelsen kun har ringe Indflydelse paa Bøjningsstyrken, saafremt Sandet indeholder under 40 pCt. grove Korn. Se ogsaa Fig. 27 og 29.

For Mørtlerne 1 : 3 med 13,5 pCt. Vand stemmer Tryk- og Bøjningsstyrke godt overens (Fig. 6 og 12), og det samme gælder for Mørtlerne med 18 pCt. Vand (Fig. 7 og 13). Overensstemmelsen med Strandsandforsøgene er god.

For Mørtlerne 1 : 3 gælder, ligesom for Mørtlerne 1 : 2, at de finkornede Sorter (Nr. 13—21) bliver stærkere med 18 pCt. Vand end med 13,5 pCt. Vand, og at Maksimalstyrken er omtrent uafhængig af Vandtilsætningen og blot optræder hos en mere finkornet Sandsort, naar Vandmængden forøges.

Normaldiagrammet (Fig. 14) viser, at den største Styrke naas med 60 pCt. grove og 20 pCt. middelfine og 20 pCt. fine Korn, og at Bøjningsstyrken i det hele taget varierer som Trykstyrken. Den er altsaa uafhængig af Sandets Hulrumsprocent. Se ogsaa Fig. 28 og 29.

Sammenstiltes Maksimums- og Minimumsværdierne faas:

1 : 2		1 : 3	
13,5 pCt. Vand	18 pCt. Vand	13,5 pCt. Vand	18 pCt. Vand
74,2 (Nr. 4)	67,9 (Nr. 13)	59,4 (Nr. 6)	59,1 (Nr. 9)
40,2 (Nr. 20)	43,7 (Nr. 1)	34,3 (Nr. 16)	34,7 (Nr. 1)

Som man ser, synker Styrken af de vaadere Mørtler ikke saa dybt som Styrken af de tørrere; den større Vandmængde udjævner Forskellen mellem Sandsorterne og giver en mere ensartet Mørtel.

Normalsandets Indflydelse paa Bøjningsstyrken er den samme som paa Trykstyrken.

7. Mørtlernes Vægtfylde.

Prøvelegemerne vejedes 5 og 5, førend de knækkedes, og Vægtfylden beregnedes ved Division med 5 · (4 · 4 · 16), altsaa uden Eftermaalning af Legemerne og altsaa uden Hen-

syn til disses eventuelle Sammensynken efter Fremstillingen. Resultaterne findes i Tabel IX og Fig. 15—20.

Vægtfylden af Mørtlerne 1 : 2 med 13,5 pCt. Vand (Fig. 15) varierer paa omtrent samme Maade som Tryk- og Bøjningsstyrken (Fig. 3 og 9). Om Mørtel 8 se Stykke 5.

Vægtfylden af Mørtlerne 1 : 2 med 18 pCt. Vand (Fig. 16) stemmer overens med Trykstyrken (Fig. 4) hvad Højdepunkterne angaar, men kun i ringe Grad med Bøjningsstyrken (Fig. 10).

Paa Normaldiagrammet (Fig. 17) løber Kurverne nogenlunde jævnt. Se ogsaa Fig. 27 og 29.

Vægtfylden af Mørtlerne 1 : 3 med 13,5 pCt. Vand (Fig. 18) stemmer godt med Tryk- og Bøjningsstyrken (Fig. 6 og 12) og for Mørtlerne med 18 pCt. Vand er Beliggenheden af Højdepunkterne ens (Fig. 19, 7 og 13). Mellem de tre Normaldiagrammer er der god Overensstemmelse (Fig. 20, 8 og 14). Se ogsaa Fig. 28 og 29.

Mørtlerne 1 : 3 er naturligvis alle lettere end de tilsvarende Mørtler 1 : 2, og Mørtlerne med 18 pCt. Vand er alle lettere end de tilsvarende med 13,5 pCt. Vand (Tabel IX). Det sidstnævnte Resultat viser, (da Vægtforholdet mellem Sand og Cement er det samme i begge Tilfælde), at Afstanden mellem Sandskornene er større i de vandrige end i de vandfattede Mørtler, samtidig med at Kitmassen mellem dem er mere porøs. Dette fremgaar ogsaa af Tabel IX a og IX b.

En Sammenstilling af Maksimums- og Minimumsværdierne giver:

1 : 2		1 : 3	
13,5 pCt. Vand	18 pCt. Vand	13,5 pCt. Vand	18 pCt. Vand
2,26 (Nr. 2)	2,16 (Nr. 2, 4, 9)	2,19 (Nr. 6)	2,14 (Nr. 9)
2,06 (Nr. 21)	2,03 (Nr. 21)	2,01 (Nr. 21)	1,95 (Nr. 21)

At Mørtlerne af Normalsand er blevene vægtfyldigere med 18 pCt. Vand end med 13,5 pCt. maa heru paa en Fejl.

Betragtes Vægtfylden af de Mørtler, der ligger langs Diagrammernes Periferi, altsaa de Mørtler, der kun indeholder 2 Kornstørrelser, viser det sig, at den største Vægtfylde næsten uden Undtagelse træffes hos den næstgroveste eller den tredjegroveste Mørtel paa den paagældende Linie. Til Eksempel viser Fig. 20,1 Vægtfyldens Variation for de Mørtler, der ingen middelfine Korn indeholder. Den Mørtel, der har størst Vægtfylde, ligger des fjernere fra den grove Ende af Linien, jo større Mørtelens Vandindhold og Magerhed er. Ved Strandsandet var Forholdet tilsvarende. Om de Mørtler, der ligger paa den øverste Linie i Fig. 20,1 og altsaa paa den nederste Trekantside i Fig. 15, ved vi, at Vægtforholdet mellem Sand og Cement er som 2 : 1, men vi kender ikke Mørtlernes Indhold af Vand og Luft; af de tilsatte 13½ pCt. Vand er jo nemlig noget løbet bort og noget fordampel, mens andet er kommet til under Vandhærdningen. For de lufttørre, 3 Mdr. gamle Legemer ligger det nær at antage, at Vandindholdet, hvadenten det er kemisk eller hygroskopisk bundet, er proportionalt med Mørtlens Cementindhold, og efter et paa tidligere Forsøg begrundet Skøn vil vi sætte det til 30 pCt. af Cementens Vægt. Bestanddelene indgaar altsaa i den 3 Mdr. gamle Mørtel i Vægtforholdet 2 S + 1 C + 0,3 V, og er Mørtelen fundet at veje V/ kg/l, vil 1 Liter indeholde

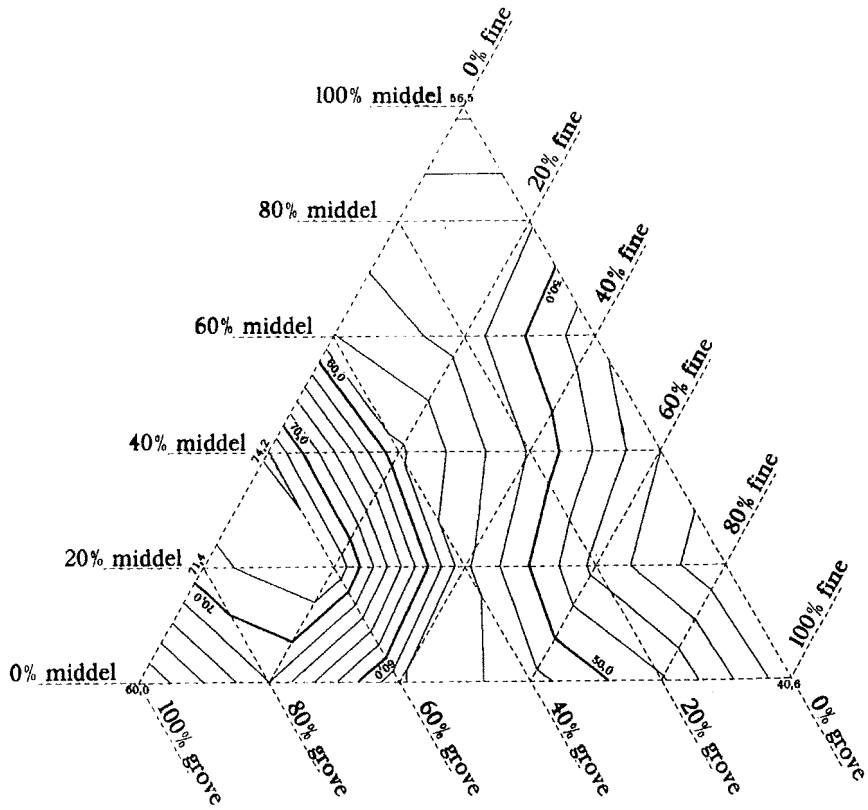


Fig. 9. Bøjningsstyrke i at. 1:2 med 13,5 pCt. Vand.

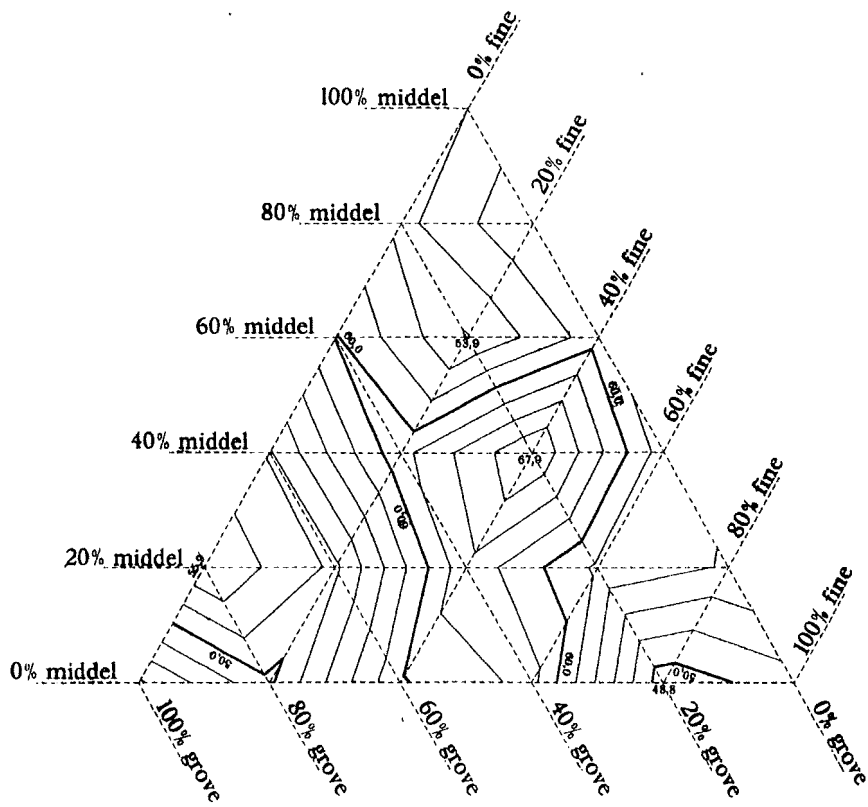


Fig. 10. Bøjningsstyrke i at. 1:2 med 18 pCt. Vand.

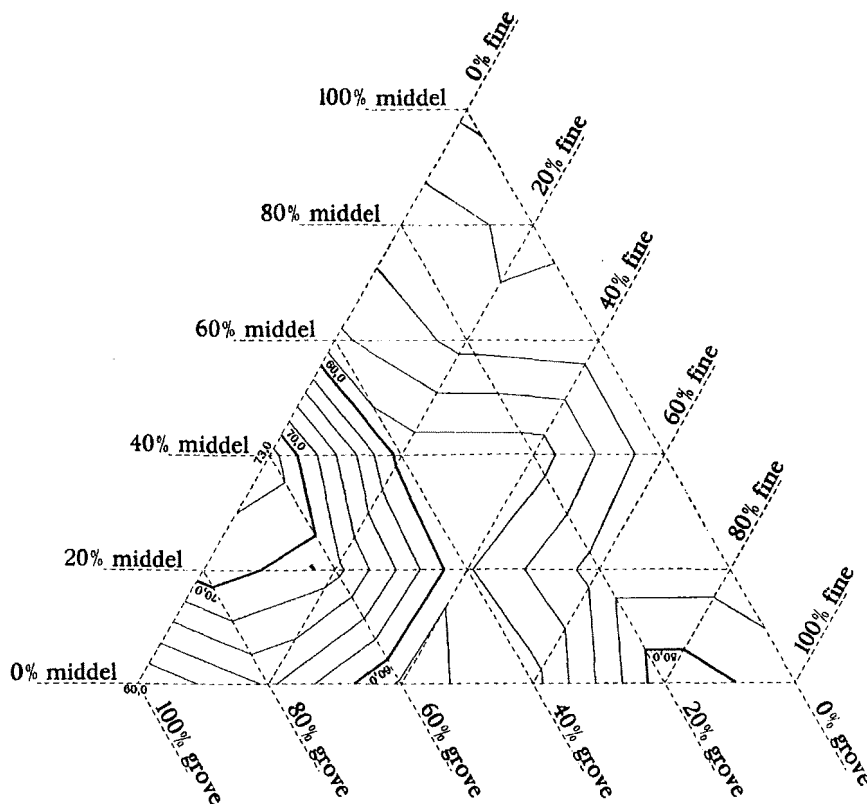


Fig. 11. Bøjningsstyrke i at. 1 : 2 med 13,5-18 pCt. Vand.

$$\begin{aligned} \text{af Sand: } & \frac{2}{3,3} \cdot Vf = \frac{1}{1,65} \cdot Vf, \\ \text{af Cement: } & \frac{1}{3,3} \cdot Vf, \\ \text{af Vand: } & \frac{0,3}{3,3} \cdot Vf = \frac{1}{11} \cdot Vf. \end{aligned}$$

Kendes Mørtlernes V_f , kan man derefter udregne, hvor meget 1 Liter indeholder af hver Bestanddel; Resultaterne findes i Tabel IX a. Først er bestemt Mørtlernes Sammensætning efter Vægt, derefter Mørtlernes Sammensætning efter Rumfang, idet der for Sandet er regnet med de sande Vægtfylder (Tabel II), medens Cementens og Vandets V_f er sat til henholdsvis 3,15 og 1.

Luftindholdet ses at stige fra Nr. 3 til Nr. 21, og Stigningen er paa det nærmeste proportional med Mængden af fine Korn, hvilket giver en meget naturlig Forklaring paa disse Mørtlers Vægtfyldvariation.

Den lave Vægtfylde hos de fire Mørtler Nr. 1 og hos de tre Mørtler Nr. 3 kan jeg efter megen Spekuleren kun forklare ved, at der fra disse Mørtler (der alle er vandrige i Forhold til Kornstørrelsen) er sivet Cement bort inden Stærkningen. Desværre foreligger der ingen Notater om Mørtlernes Forhold under Støbningen.

Man kunde mene, at de grove Mørtlers ringe Vægtfylde var en Følge af de paagældende Sandsorters store Hulrumsprocent, idet der ikke var Kitmasse nok til at fylde Hulrummene. Herpaa tyder det Resultat, man kommer til ved at sammenligne det løse Sands Hulrumsprocent med den beregnede Værdi af Sandets Hulrumsprocent i Mør-

telen: Rumfanget af Kitmasse (Cement + Vand + Luft). Disse Værdier findes nederst i Tabel IX a. Forklaringen strander imidlertid paa, at man hos de samme Mørtler med 18 pCt. Vand, altsaa mere Kitmasse, ikke finder Vægtfyldens Maksimum forskudt til venstre, men tværtimod til højre (Fig. 20,1). Regner vi, at ogsaa disse Mørtlers Vandindhold i en Alder af 3 Mdr. udgør 30 pCt. af Cementens Vægt, findes Værdierne i Tabel IX b.

En nærmere Undersøgelse af samtlige Mørtler 1 : 3 med normal Vandtilsætning viser ogsaa, at der ingen Forbindelse er mellem Mørtelens Vægtfylde og Sandets Hulrumsprocent.

8. Mørtlernes Gennemtrængelighed for Vand.

Af samtlige 21 Sandsorter saavel i Blandingsforholdene 1 : 3 og 1 : 2 som med Vandmængderne 18 pCt. og 13,5 pCt. fremstilledes særlige Prøvelegemer. Disses Dimensioner var $4 \times 6 \times 6$ cm. Højden var 6 cm. Støbningen og Hærdningen foregik iøvrigt samtidig med Støbningen og Hærdningen af de tilsvarende Prismer. Der fremstilledes 2 Prøvelegemer til Gennemtrængelighedsprøven for hvert Sæt Prismer. Paa de to kvadratiske Sideflader fjernedes Slamlaget. Dernæst fastkittedes ved Hjælp af en Voxharpix-Blanding en Tragt til den ene af de kvadratiske Sideflader, hvorefter samtlige Sideflader paa Prøvelegemet med Undtagelse af den anden kvadratiske Sideflade dækkedes med et tæt Lag af den ovennævnte Blanding, hvorved man begrænsede Gennemdrypningen til den underste Flade.

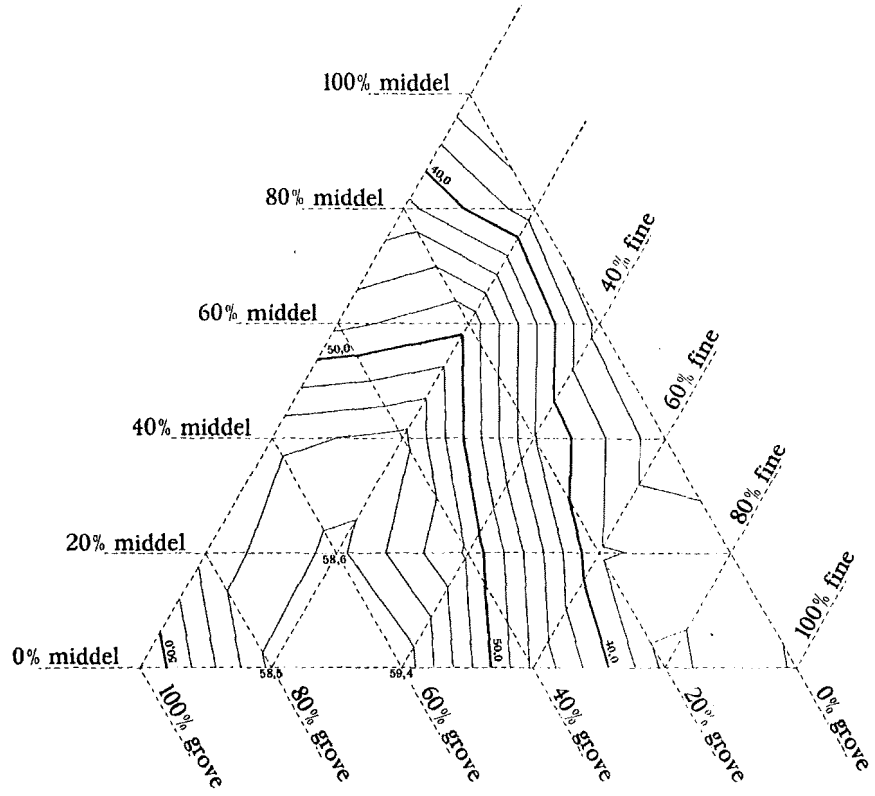


Fig. 12. Bøjningsstyrke i at. 1:3 med 13,5 pCt. Vand.

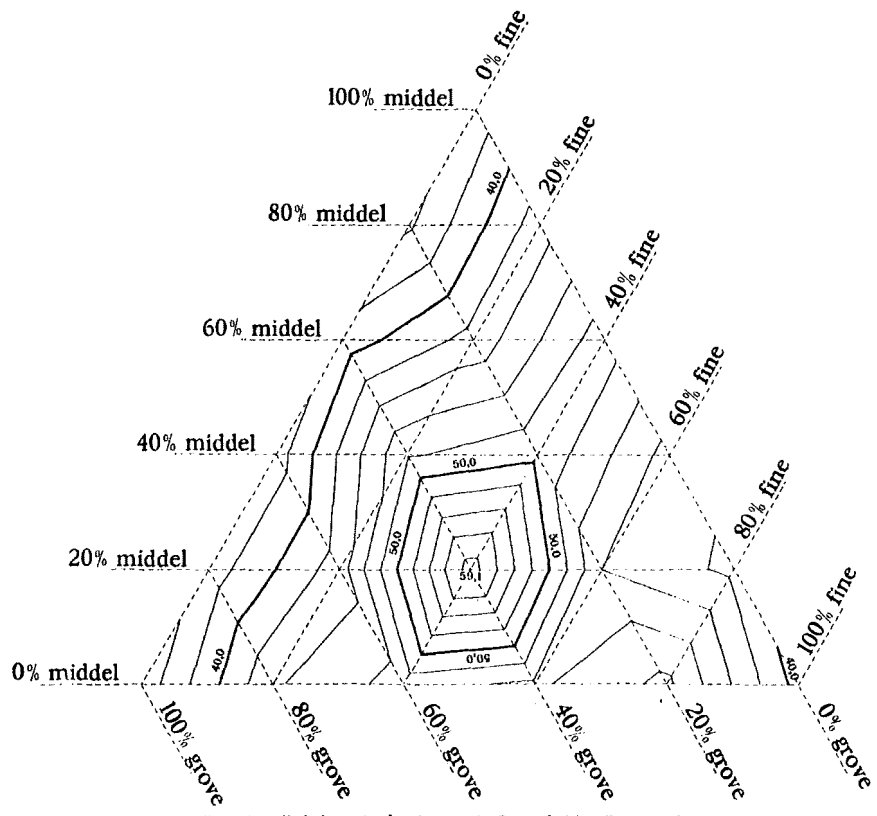


Fig. 13. Bøjningsstyrke i at. 1:3 med 18 pCt. Vand.

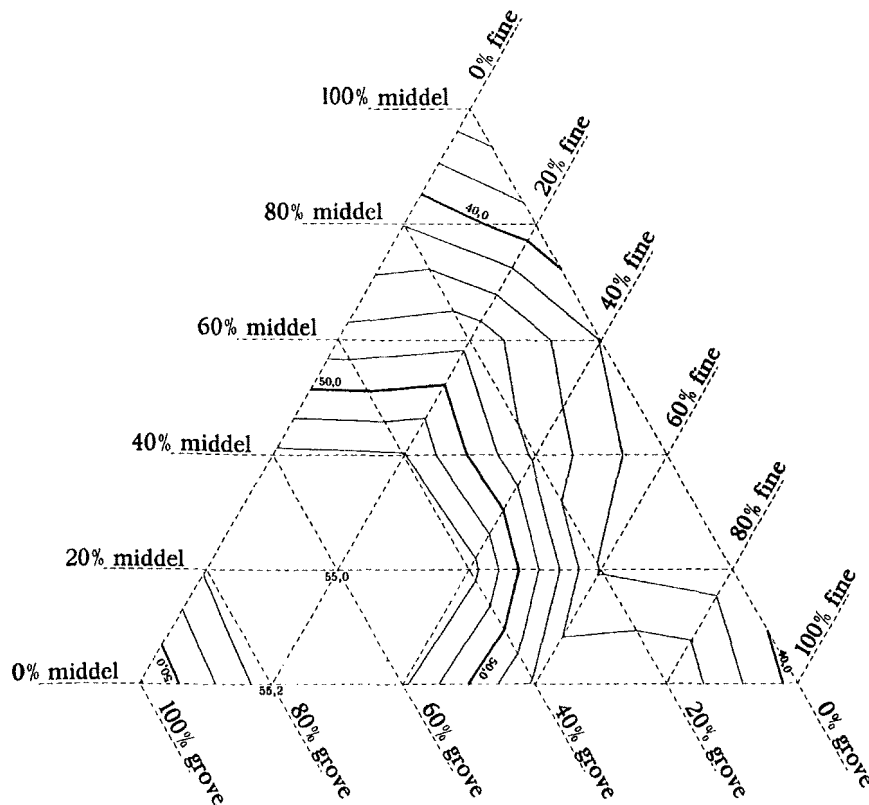


Fig. 14. Bøjningsstyrke i at. 1:3 med 13,5-18 pCt. Vand.

TABEL VIII. Bøjningsstyrke i at.

Sandets Nr. (se Fig. 1)	1 Cement: 2 Sand						1 Cement: 3 Sand					
	13,5 pCt. Vand			18 pCt. Vand			13,5 pCt. Vand			18 pCt. Vand		
	Min.	Middel	Max.	Min.	Middel	Max.	Min.	Middel	Max.	Min.	Middel	Max.
1	54	60,0	66	39	43,7	47	43	47,8	52	31	34,7	39
2	67	71,4	78	54	55,9	60	51	54,8	59	32	37,0	45
3	64	67,9	73	43	49,6	56	52	58,5	61	42	43,7	45
4	72	74,2	79	46	51,8	61	53	55,5	57	36	37,0	41
5	71	73,8	79	49	51,6	57	56	58,6	60	40	43,0	44
6	49	56,2	62	53	59,8	63	57	59,4	63	42	46,8	52
7	50	56,1	63	53	60,1	66	43	47,4	51	33	38,9	42
8	54	58,4	63	57	61,4	66	55	56,5	58	45	47,7	53
9	53	54,4	59	60	63,4	67	48	51,7	56	56	59,1	63
10	49	52,8	56	61 ¹⁾	62,6 ¹⁾	64	42	45,6	51	42	45,6	48
11	39	52,3	60	52	55,4	58	39	42,7	47	31	35,7	40
12	49	53,1	56	51	53,9	57	45	49,3	53	39	42,7	45
13	49	51,8	57	59	67,9	75	40	42,2	45	43	49,5	56
14	42	45,4	49	55	57,6	59	36	38,2	42	40	44,0	50
15	46	48,2	50	45	48,8	52	32	35,4	39	45	48,5	52
16	55	56,5	58	52	56,0	58	28 ²⁾	34,3 ³⁾	39	31	36,8	41
17	49	52,3	55	54 ³⁾	59,9 ³⁾	64	36	36,8	38	39	43,1	46
18	45	46,5	47	55	59,1	63	35	35,2	36	44	49,1	54
19	43	44,0	46	52	56,9	63	30	34,6	37	40	43,2	47
20	38	40,2	43	48	55,8	59	34	37,2	40	39	41,5	44
21	39	40,6	42	48	51,1	56	37	38,2	40	36	39,3	45
Normal-sand	49	52,8	57	49	52,9	56	28 ⁴⁾	28,7 ⁴⁾	30 ⁴⁾	25	26,6	29

¹⁾ Den allerlaveste Værdi (53 at) er udskudt ved Dannelsen af Middeltallet.

²⁾ Den allerlaveste Værdi (42 at) er udskudt ved Dannelsen af Middeltallet.

³⁾ Den allerlaveste Værdi (15 at) er udskudt ved Dannelsen af Middeltallet.

⁴⁾ For 6 Prøvelegemer fremstillede med 10 pCt. Vand fandtes: 32, 34,3, 36, og naar Hærdningen udelukkende foregik i Vand; 39, 39,2, 40, hvoraf ses, at det er gunstigt at vande Betonrør i længere Tid end 1 Uge efter Støbningen.

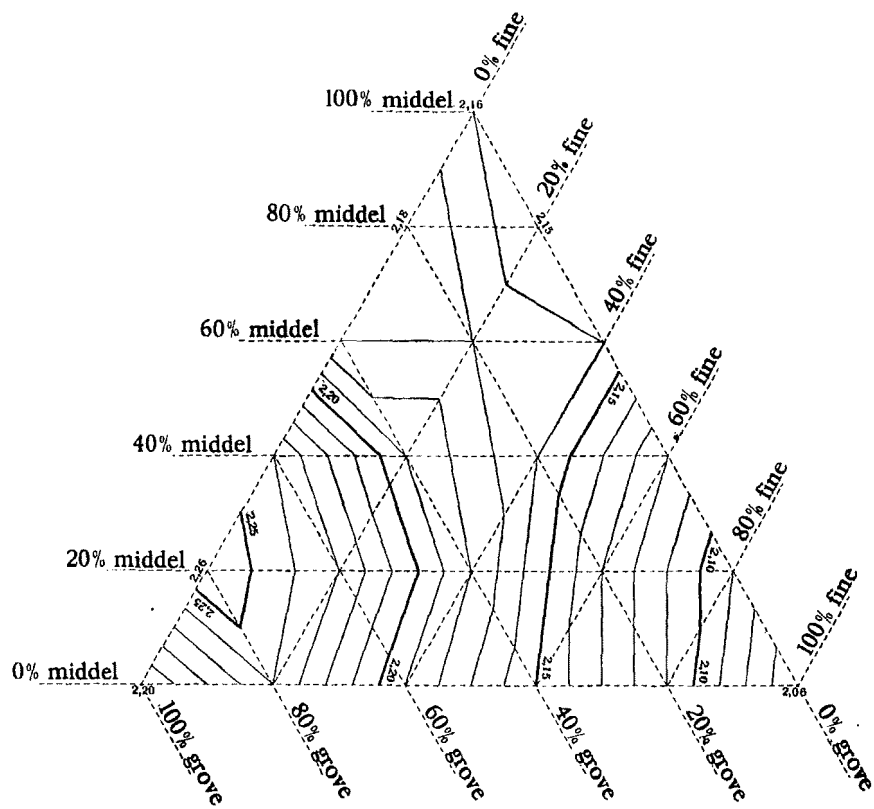


Fig. 15. Vægtfylde. 1:2 med 13,5 pCt. Vand.

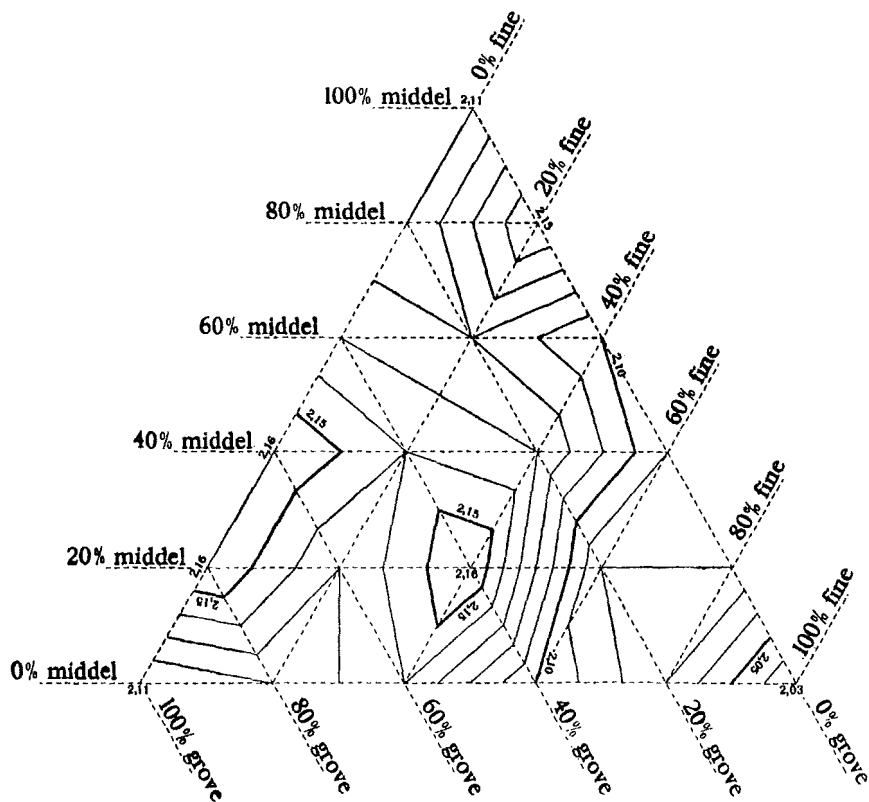


Fig. 16 Vægtfylde. 1:2 med 18 pCt. Vand.

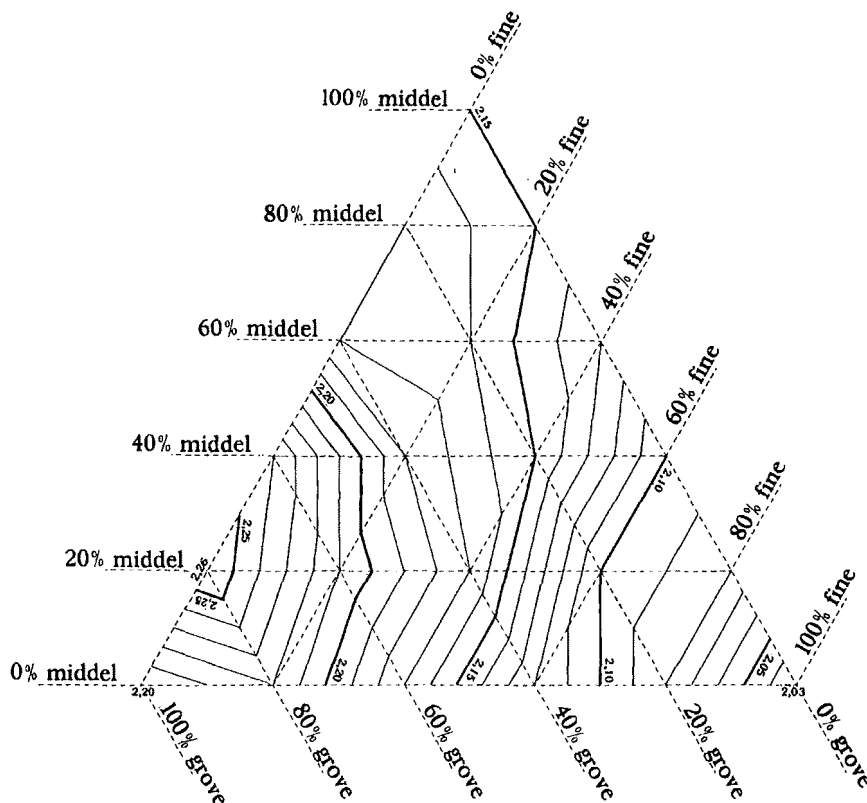


Fig. 17. Vægtfylde. 1:2 med 13,5—18 pCt. Vand.

TABEL IX. Mørtlernes Vægt i kg. pr. l.

Sandets Nr. (se Fig. 1)	1 Cement : 2 Sand		1 Cement : 3 Sand	
	13,5pCt.Vand	18 pCt. Vand	13,5pCt.Vand	18 pCt. Vand
1	2,20	2,11	2,10	2,01
2	2,26	2,16	2,14	2,06
3	2,24	2,12	2,16	2,09
4	2,24	2,16	2,16	2,04
5	2,23	2,13	2,18	2,08
6	2,19	2,14	2,19	2,10
7	2,17	2,13	2,13	2,07
8	2,16 ¹⁾	2,14	2,16	2,09
9	2,18	2,16	2,16	2,14
10	2,15	2,10	2,13	2,08
11	2,18	2,11	2,09	2,02
12	2,17	2,12	2,13	2,06
13	2,16	2,13	2,13	2,10
14	2,13	2,08	2,09	2,02
15	2,11	2,07	2,06	1,98
16	2,16	2,11	2,06	2,02
17	2,15	2,15	2,10	2,03
18	2,16	2,10	2,08	2,04
19	2,12	2,09	2,05	1,99
20	2,09	2,08	2,05	1,98
21	2,06	2,03	2,01	1,95
Normal-sand	(2,14)	(2,19)	(2,05) ²⁾	(2,08)

¹⁾ I Diagrammet er Værdien 2,19 benyttet.

²⁾ For 6 Prøvelegemer, fremstillede med 10 pCt. Vand, fandtes 2,11; for 6 tilsvarende Legemer, som udelukkende hærtnede i Vand fandtes 2,22 og i tørret Tilstand 2,07.

Vandtrykket var i alle Tilfælde 1 m og holdtes konstant i 24, henholdsvis 48 Timer.

Det iagttoges, naar der indtraadte Fugtighed og Draabedannelse paa Prøvelegemers Underside. Endvidere bestemtes de i Løbet af 5 og 24 Timer gennedryppede Vandmængder. I de Tilfælde, hvor der ikke var indtraadt Draabedannelse i Løbet af 24 Timer, bestemtes de i Løbet af 48 Timer gennedryppede Vandmængder.

De første 6 Sæt var kun forsynede med paakittet Tragtl, men uden lættende Lag paa Siderne; da det herved viste sig, at Vandet trængte frem paa alle ikke dækkede Dele af Prøvelegemet, gik man over til den ovenomtalte Dækning af Prøvelegemet paa alle Steder undtagen Undersiden. De nævnte 6 Sæt henlagdes derfor til Lufttørring i 14 Døgn, hvorefter de behandlede som de øvrige Prøvelegemer.

Naar der i det følgende tales om Prøvelegemers Nr., da er dette det samme som Sandsortens.

a. Mørtlerne 1:2 med 13,5 pCt. Vand.

Prøvelegemerne Nr. 1—11, Nr. 15, det ene Nr. 16 og det ene Nr. 17 var helt uigennemtrængelige, forsaavidt som der i Løbet af 48 Timer ingen Fugtighed viste sig paa Undersiden.

Prøvelegemerne Nr. 12, det ene Nr. 16, det ene Nr. 17 samt Nr. 21 var efter 8 Timers Forløb endnu tørre paa Undersiden, men næste Dags Morgen (d. efter ca. 23 Timers Paavirkning) iagttoges Draabedannelse; for Nr. 12's Vedkommende dog kun paa den ene (den under Støbnings øvre) Halvdel af Prøvelegemerne.

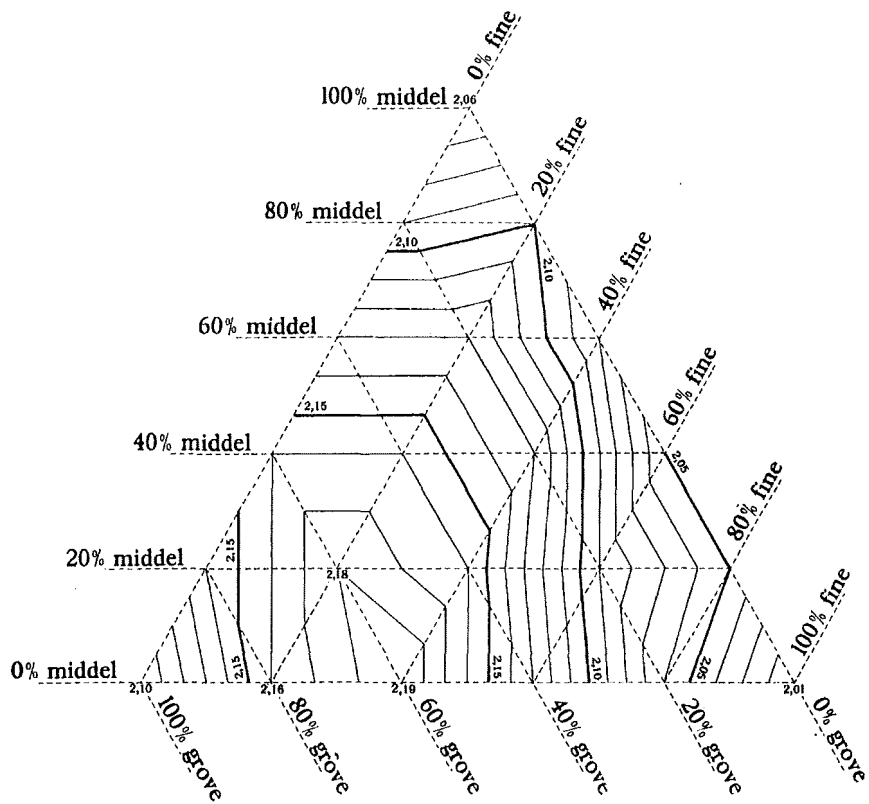


Fig. 18. Vægtfylde. 1:3 med 13,5 pCt. Vand.

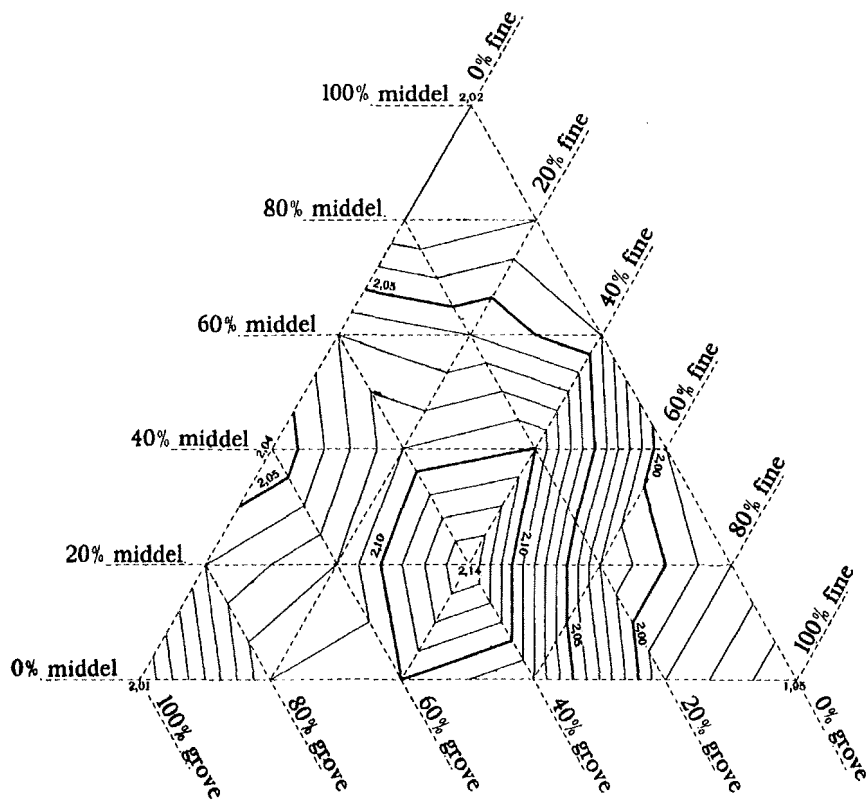


Fig. 19. Vægtfylde. 1:3 med 18 pCt. Vand.

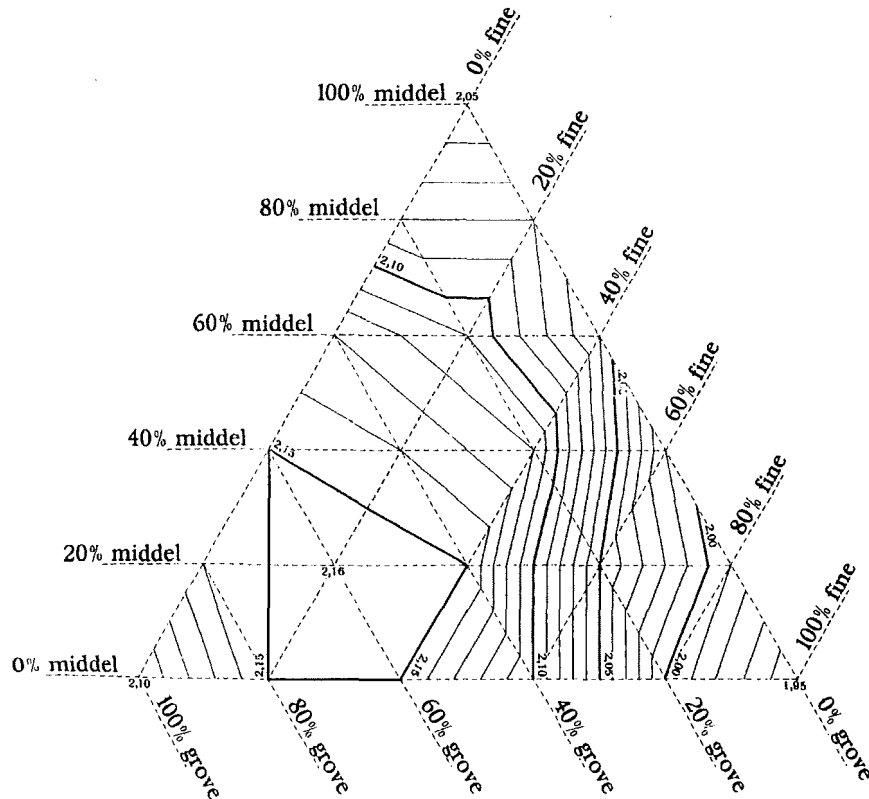


Fig. 20. Vægtfylde. 1 : 3 med 13,5—18 pCt. Vand.

TABEL IX a.

Sammensætning af Mørtler 1 C : 2 S med 13,5 pCt. Vand.

Mørtelens Nr.	1	3	6	10	15	21
Mørtelens Vf.	2,20	2,24	2,19	2,15	2,11	2,06
Sand, groft, kg	1,333	1,086	0,796	0,521	0,256	0
— flnt, —	0	0,271	0,531	0,782	1,023	1,248
Sand i alt, kg	1,333	1,357	1,327	1,303	1,279	1,248
Cement —	0,667	0,679	0,664	0,652	0,639	0,625
Vand —	0,200	0,204	0,199	0,195	0,192	0,187
Vægt pr. Liter, kg . . .	2,200	2,240	2,190	2,150	2,110	2,060
Sand i Liter	0,516	0,523	0,510	0,498	0,487	0,478
Cement —	0,212	0,215	0,211	0,207	0,203	0,198
Vand —	0,200	0,204	0,199	0,195	0,192	0,187
Luft —	0,072	0,068	0,080	0,100	0,118	0,142
	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Sandets Hulrumsprocent i Mørtelen . .	48,4	47,7	49,0	50,2	51,3	52,7
Sandets oprindelige Hulrumsprocent . .	49,7	42,0	35,6	35,3	37,1	42,2
Differens	+ 1,3	5,7	13,4	14,9	14,2	10,5

TABEL IX b.

Sammensætning af Mørtler 1 C : 2 S med 18 pCt. Vand.

Mørtelens Nr.	1	3	6	10	15	21
Mørtelens Vf.	2,11	2,12	2,14	2,10	2,07	2,03
Sand, groft, kg	1,278	1,028	0,778	0,509	0,251	0
— flnt, —	0	0,257	0,510	0,764	1,004	1,230
Sand, i alt, kg	1,278	1,285	1,297	1,273	1,255	1,230
Cement —	0,640	0,642	0,649	0,636	0,627	0,615
Vand —	0,192	0,193	0,194	0,191	0,188	0,185
Vægt pr. Liter, kg . . .	2,110	2,120	2,140	2,100	2,070	2,030
Sand i Liter	0,495	0,496	0,498	0,487	0,478	0,466
Cement —	0,203	0,204	0,205	0,201	0,199	0,195
Vand —	0,192	0,193	0,194	0,191	0,188	0,185
Luft —	0,110	0,107	0,103	0,121	0,135	0,154
	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Sandets Hulrumsprocent i Mørtelen . .	50,5	50,4	50,2	50,3	52,2	53,4
Sandets oprindelige Hulrumsprocent . .	49,7	42,0	35,6	35,3	37,1	42,2
Differens	0,8	8,4	14,6	15,0	15,1	11,2

Prøvelegemerne Nr. 13 og 14 forholdt sig som Nr. 12, men var noget mere porøse, idet der i Løbet af 48 Timer dryppede henholdsvis 0,1 og 0,2 cm³ Vand af.

Prøvelegemerne Nr. 18 og 20 forholdt sig som Nr. 21, men i Løbet af 48 Timer gennemdryppede henholdsvis 0,5 og 0,6 cm³ Vand af.

Prøvelegemerne Nr. 19 var de daarlige. Det ene viste sig fugtigt efter 6 3/4 Time og viste Draabedannelse efter 7 1/2 Time, det andet forholdt sig som Nr. 21, men dryppede senere ret stærkt. Som Middeltal for begge

Løgemer var den afdryppede Vandmængde efter 48 Timer 2,7 cm³.

Ovenstaaende Resultater viser, at der kun er trængt Vand gennem de Mørtler, hvis Indhold af grove Korn er lig eller mindre end 20 pCt. Man kunde mene, at dette Forhold var en Følge af, at de finkornede Mørtler var tilberedt med for lidt Vand, men de følgende Forsøg viser, at en større Vandtilsætning forøger Gennemtrængeligheden.

Af de to Prøvelegemer med Normalsand var det ene uigennemtrængeligt, mens det andet blev fugtigt paa Un-

dersiden efter 24 Timer og viste Draabedannelse 1 Time senere. 2 Prøvelegemer med Normalsand og kun 10 pCt. Vand, der blev tørrede ved ca. 100° inden Forsøget, viste sig uigennemtrængelige, mens 2 tilsvarende, der ikke blev tørrede, viste Draabedannelse efter 24 Timers Forløb.

b. Mørtlerne 1:2 med 18 pCt. Vand.

Ingen af disse Mørtler var uigennemtrængelige. Legemerne blev fugtige paa Undersiden i Løbet af 3 1/4—8 Timer; for 4 af Legemerne (3 b, 12 a, 13 b og 14 b) blev Tidspunktet dog ikke bestemt, da de ved Fyraftenstid (efter 6—7 Timers lagttagelse) endnu var tørre, men næste Morgen var der Draabedannelse.

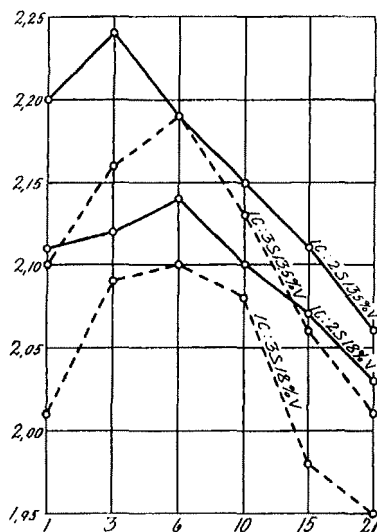


Fig. 20.1. Vægtfyldte af Mørtler uden middelfine Korn.

Draabedannelse iagttoges efter 3 1/4—8 Timer; for de ovenfor nævnte 4 Legemer samt 3 a, 13 a, 19 b og 20 a blev Tidspunktet dog ikke bestemt af Hensyn til Fyraftens Indtræden, men næste Morgen (21—24 Timer efter Forsøgets Begyndelse) var der Draabedannelse.

Den Vandmængde (i cm³) der dryppede igennem i Løbet af 24 Timer er grafisk fremstillet paa Fig. 22 som Middeltal for de to Legemer. Den store Vandmængde har gjort de grove Mørtler stærkt gennemtrængelige, men Mørtelen af lutter fine Korn, der netop har den i Praktis brugelige Konsistens, er lige saa porøs; ogsaa Mørtelen af lutter middelfine Korn er daarlig. Bedst synes en Blanding af fine og middelfine Korn uden væsentlig Indhold af grove.

Værdien 1 cm³ for Nr. 14 er kun fundet ved eet Legeme, det andet var læk. Iøvrigt var Enkeltværdierne, hvoraf Middeltallene er dannede ofte meget forskellige; de mest afvigende skal anføres:

For Nr. 1 fandtes	1/2	(5,5 + 9,6) = 7,6.
« « 5	1/2	(3,2 + 6,0) = 4,6.
« « 7	1/2	(1,3 + 2,4) = 1,9.
« « 8	1/2	(0,5 + 3,6) = 2,1.
« « 9	1/2	(3,3 + 4,2) = 3,8.
« « 11	1/2	(3,8 + 6,1) = 5,0.
« « 12	1/2	(1,2 + 2,2) = 1,7.
« « 13	1/2	(1,0 + 2,0) = 1,5.
« « 16	1/2	(3,2 + 4,8) = 4,0.
« « 17	1/2	(2,1 + 3,5) = 2,8.
« « 18	1/2	(1,2 + 2,3) = 1,8.
« « 19	1/2	(0,5 + 1,3) = 0,9.
« « 20	1/2	(0,2 + 1,0) = 0,6.

For to Prøvelegemer af Normalsand var Vandgennemgangen efter 24 Timer 1/2 (6,4 + 10,0) = 8,2 cm³.

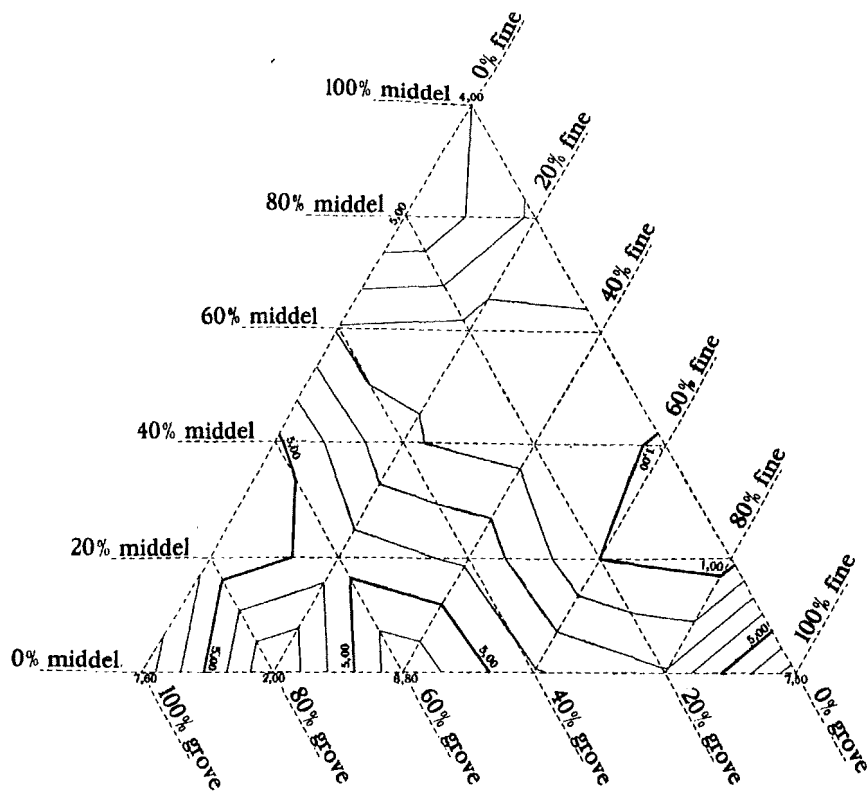


Fig. 22. Vandmængde i cm³ gennendryppet i 24 Timer, 1:2 med 18 pCt. Vand.

c. Mørtlerne 1:3 med 13,5 pCt. Vand.

Fig. 24 viser Mængden af det i Løbet af 24 Timer gennendryppede Vand; de grovkornede Mørtler ses at være langt de bedste ligesom under α . Af en Sammenligning med Fig. 22 fremgaar, at en grovkornet Mørtel 1:3 med passende Vandtilsætning bliver langt tættere end en tilsvarende Mørtel 1:2 med for stor Vandtilsætning.

For to Prøvelegemer af Normalsand var Vandgennemgangen 22,5 cm³.

d. Mørtlerne 1:3 med 18 pCt. Vand.

Fig. 25 viser den i 24 Timer gennendryppede Vandmængde. Den større Vandtilsætning har i høj Grad forøget Porositeten, navnlig af de grovkornede Mørtler.

For to Prøvelegemer af Normalsand var Vandgennemgangen 113,5 cm³.

e. Mørtlerne 1:3 med 13,5—18 pCt. Vand.

Paa Normaldiagrammet Fig. 26 fremtræder de grove Mørtlers Overlegenhed meget tydeligt. En nærmere Undersøgelse viser, at der ingen Forbindelse er mellem Sandsorternes Hulrumsprocent og Mørtlernes Gennemtrængelighed, men at denne staar i omvendt Forhold til Mørtlernes Vægtfylde og altsaa til deres Tryk- og Bøjningsstyrke. Se ogsaa Fig. 28.

9. Værdierne for normal Vandtilsætning.

Alle de beregnede Værdier, paa Grundlag af hvilke Normaldiagrammerne er konstruerede, findes i Tabel XI.

TABEL XI.

Beregnete Værdier, gældende for normal Konsistens.

Sandets Nr.	Kornoverflade pr. kg Sand	Vandtilsætning	Trykstyrke		Bøjningsstyrke		Vægtfylde		Gennendryppet Vandmængde i 24 Timer
			1 C.:2 S.	1 C.:3 S.	1 C.:2 S.	1 C.:3 S.	1 C.:2 S.	1 C.:3 S.	
	cm ²	%	at	at	at	at			cm ³
1	7 920	13,50	459	258	60,0	47,8	2,20	2,10	2,10
2	10 678	13,62	497	294	71,0	54,3	2,26	2,14	5,10
3	27 956	14,40	505	273	64,2	55,2	2,22	2,15	11,08
4	13 436	13,75	540	268	73,0	54,5	2,24	2,15	8,19
5	30 714	14,52	430	303	68,7	55,0	2,21	2,16	15,5
6	47 992	15,30	366	280	57,6	54,4	2,17	2,15	19,8
7	16 194	13,87	408	283	56,4	46,7	2,17	2,13	11,3
8	33 472	14,65	415	280	59,2	54,2	2,18	2,14	15,3
9	50 750	15,42	393	268	58,2	54,9	2,17	2,15	23,7
10	68 028	16,20	324	212	58,7	45,6	2,12	2,10	25,8
11	18 952	14,00	406	221	52,6	41,9	2,17	2,08	14,9
12	36 230	14,77	371	249	53,3	47,4	2,16	2,11	17,4
13	53 508	15,55	348	217	59,1	45,5	2,15	2,12	20,1
14	70 786	16,32	334	187	53,1	41,8	2,10	2,05	28,0
15	88 064	17,10	299	175	48,7	45,9	2,08	2,00	50,1
16	21 710	14,12	348	181	56,4	34,6	2,15	2,05	34,5
17	38 988	14,90	334	182	54,7	38,8	2,15	2,08	28,5
18	56 266	15,67	331	181	52,6	41,9	2,13	2,06	35,9
19	73 544	16,45	333	165	52,5	40,2	2,10	2,01	43,5
20	90 822	17,22	270	168	53,1	40,8	2,08	1,99	45,1
21	108 100	18,00	286	159	51,1	39,3	2,03	1,95	89,0

og desuden er de grafisk fremstillede i Fig. 27—28, hvor Sandsorterne er ordnede langs Abscisseaksen paa samme Maade som i Fig. 5,1, altsaa efter voksende Overflade, kun er de 6 Grupper rykket sammen for at spare Plads.

Angaaende Normaldiagrammernes Værdi henvises til de ved Forsøgene med Strandsand gjorte Bemærkninger («Ingeniøren» 1914, S. 580).

For Mørtlerne 1:2 viser Fig. 5,2 og Fig. 27, at Trykstyrke, Vægtfylde og Bøjningsstyrke i udpræget Grad synker med voksende Kornoverflade, men at denne Lov paa ingen Maade er eneraadende, idet en given Overflade har en ganske forskellig Virkning, eftersom den findes i Form af lutter middelfine Korn (Nr. 16) eller som en Blanding af grove og fine Korn (Nr. 3).

For Mørtlerne 1:3 (Fig. 28) er Virkningen af Sandoverfladens Størrelse mindre udpræget, men der er, som tidligere fremhævet, god Overensstemmelse mellem Vægtfylde, Bøjningsstyrke, Trykstyrke og Vandgennemtrængelighed, og tilsyneladende strækker Overensstemmelsen sig ogsaa til Sandets Hulrumsprocent, idet Kurverne for denne til en vis Grad er Spejlbilleder af Vægtfyldkurverne: men Overensstemmelsen er kun til Stede, saafremt Sandets Indhold af fine Korn er konstant; ordnes Sandsorterne efter voksende Hulrumsprocent, viser der sig ingen-somhelst Forbindelse mellem denne og Mørtlernes Egen-skaber.

10. Middelværdier for Strand- og Bakkesand.

Summeres de for normal Vandtilsætning gældende Tal dels for de 21 Mørtler af Strandsand, dels for de 21 Mørtler af Bakkesand, findes:

	Trykstyrke		Bøjningsstyrke		Vægtfylde	
	1:2	1:3	1:2	1:3	1:2	1:3
Strandsand	7176	4225	1208,6	857,2	45,18	43,53
Bakkesand	7997	4804	1214,2	980,4	45,24	43,87

Bakkesandet har altsaa givet de højeste Værdier, skønt Vandtilsætningen var 13,5 à 18 pCt. mod 13 à 16 pCt. ved Strandsandet, og skønt Cementens Normstyrke var 316 at mod 377 at ved Strandsandet.

For at faa det bedst mulige Grundlag til Bedømmelse af Kornstørrelsens Indflydelse paa Mørtlernes Egenskaber ligger det nær at tage Middeltallene for Bakkesand og Strandsand, men da Vandtilsætningens Størrelse og Cementens Styrke ikke var ganske ens ved de to Forsøgsrækker, og da Hærdningstemperaturen muligvis ogsaa har været noget forskellig, vilde det ikke være rigtigt at tage de umiddelbare Middeltal, da man derved vilde komme til at tillægge den Forsøgsrække, der som Helhed har givet de største Værdier, større Vægt end den anden Forsøgsrække. For alene at faa Kornstørrelsens Virkning til at træde frem maa vi, saavidt muligt, eliminere Forskellighederne ved de to Forsøgsrækker, hvilket kan ske ved en saadan Korrektion, at Talsummerne bliver ens.

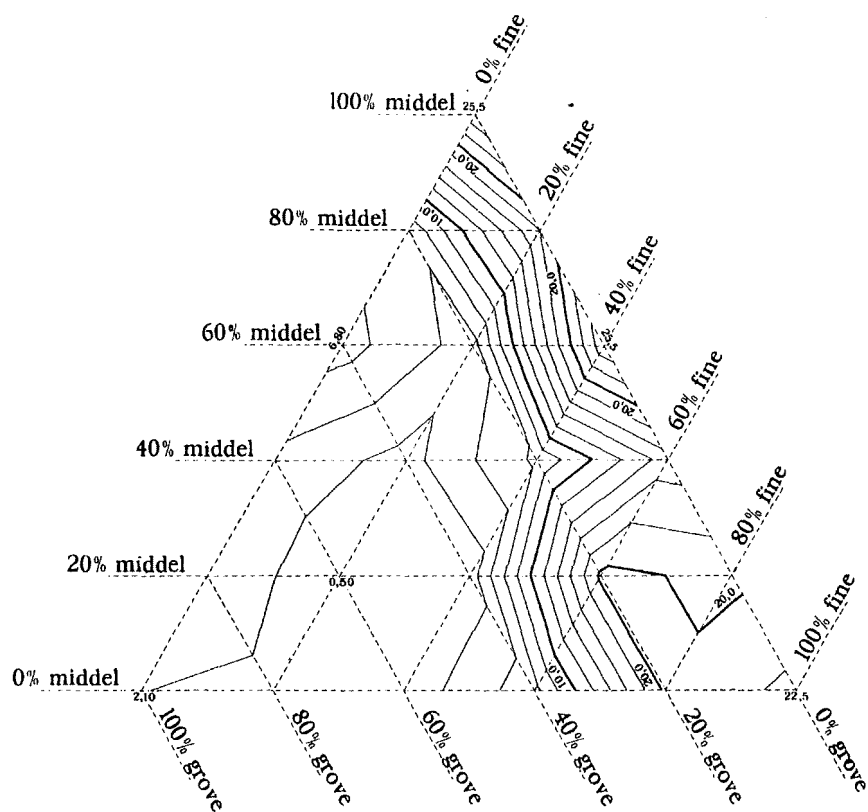


Fig. 24. Vandmængde i cm³ gennemdryppet i 24 Timer. 1:3 med 13,5 pCt. Vand.

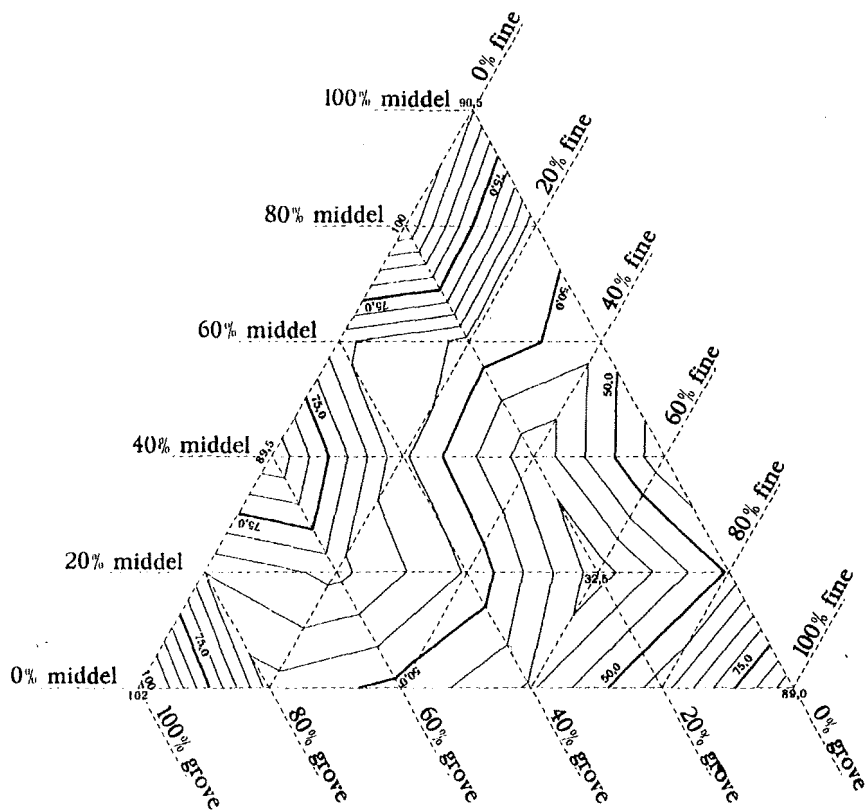


Fig. 25. Vandmængde i cm³ gennemdryppet i 24 Timer. 1:3 med 18 pCt. Vand.

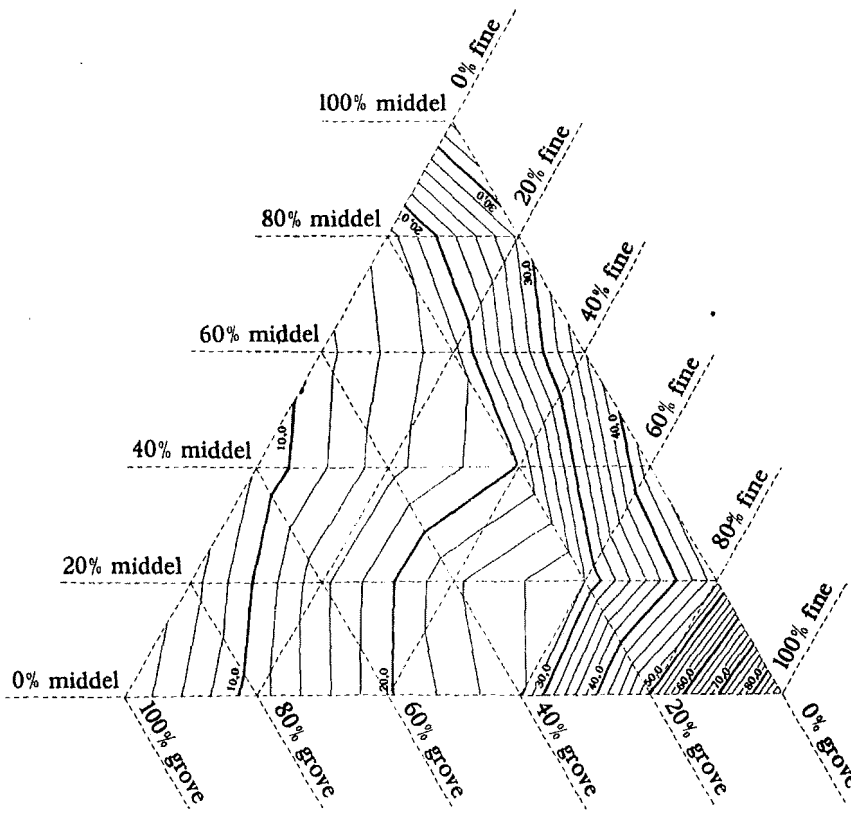


Fig. 26. Vandmængde i cm³ gennedryppet i 24 Timer. 1:3 med 13,5-18 pCl. Vand.

For Trykstyrken af Mørtlerne 1:2 kan dette ske ved Multiplikation af hver enkelt Værdi i de to Forsøgsrækker med henholdsvis $\frac{1}{2}(7997 + 7176)$ og $\frac{1}{2}(7997 + 7176)$,
7176 og 7997

De nye Værdier findes i Tabel XII sammen med deres Middeltal, der altsaa gælder for et Gennemsnitssand. Mørtlerne 1:3 er behandlede paa tilsvarende Maade og findes ligeledes i Tabel XII.

Ogsaa for Bøjningsstyrke og Vægtfylde er Beregningerne gennemført, og Resultaterne findes i Tabel XIII og XIV. For Vægtfylderne er Middeltallene dannet direkte uden forudgaaende Korrektion, da denne vilde blive meget lille.

Resultaterne er fremstillede grafisk i Fig. 29, hvor ogsaa Hulrumsprocenten (efter Tabel Va) er afsat. Sandsorterne er opstillede i Nummerorden altsaa efter aftagende Indhold af grove Korn, og kun Punkter, der svarer til samme Mængde grove Korn er forbundne. Baade Trykstyrke, Vægtfylde og Bøjningsstyrke falder udpræget fra venstre mod højre, tydeligere end paa Fig. 27 og 28, og Springene mellem de forskellige Kurvestykker er mindre voldsomme. Dette skyldes kun i underordnet Grad, at Strandsandet er taget med i Fig. 29, men derimod navnlig den ændrede Gruppering. Styrke og Vægtfylde afhænger altsaa i højere Grad af Mængden af grove Korn end af Overfladens Størrelse. Men naar Mængden af grove Korn er givet, aftager Trykstyrke og Vægtfylde af Mørtlerne 1:2 med voksende Sandoverflade og med aftagende Hulrumsprocent.

TABEL XII.

Korrigeret Trykstyrke for Mørtler af Strandsand, Bakkesand og Gennemsnitssand med normal Vandtilsætning

Sandets Nr.	Mørtler 1:2			Mørtler 1:3		
	Strandsand	Bakkesand	Gennemsnitssand	Strandsand	Bakkesand	Gennemsnitssand
1	523	436	479	234	242	238
2	481	472	476	261	276	268
3	467	479	473	296	257	276
4	468	512	490	258	252	255
5	470	408	439	270	285	277
6	417	347	382	255	263	259
7	445	388	416	270	266	268
8	408	394	401	247	263	255
9	345	373	359	267	252	259
10	309	307	308	227	199	213
11	366	385	375	211	208	209
12	350	352	351	217	234	226
13	335	330	333	190	204	197
14	311	317	314	174	176	175
15	253	284	269	167	165	166
16	284	330	307	175	170	173
17	315	317	316	175	171	173
18	289	314	302	165	171	168
19	286	316	301	168	155	162
20	237	256	247	149	158	154
21	229	271	250	140	149	145
Sum	7588	7588	7588	4516	4516	4516

Grupperingen i Fig. 29 er dog langt fra at være i middelfine og fine Korn udtrykt i pCt. af hele Sandindholdets Vægt. Overensstemmelsens Godhed fremgaar af Tabel XV, der viser, at største Afvigelse er 11 pCt. Ved Hjælp af denne Ligning kan man overordentlig nemt træffe sit Valg mellem flere foreliggende Sandsorter. Trykstyrken af Mørtlerne 1 : 3 kan udtrykkes ved:

$$S^c = 5,1 g + 3,4 m + 2,3 f,$$

hvor S^c er Trykstyrken i at for den tre Maanedes gamle Mørtel, mens g , m og f er Mørtlens Indhold af grove,

middelfine og fine Korn udtrykt i pCt. af hele Sandindholdets Vægt. Overensstemmelsens Godhed fremgaar af Tabel XV, der viser, at største Afvigelse er 11 pCt. Ved Hjælp af denne Ligning kan man overordentlig nemt træffe sit Valg mellem flere foreliggende Sandsorter.

Trykstyrken af Mørtlerne 1 : 3 kan udtrykkes ved:

$$S^c = 3 g + 2 m + 1,5 f$$

med en Nøjagtighed, der fremgaar af Tabel XVI. Bortset fra Sandsorterne 1 og 16 (lutter grove og lutter middelfine Korn), som man næppe nogensinde vil træffe i Naturen, er største Afvigelse 15 pCt. og den næststørste 11 pCt.

Sammenligner man Talkoefficienterne i disse Ligninger, forholder de sig som:

$$100 \text{ til } 66,7 \text{ til } 45,1$$

og som:

$$100 \text{ til } 66,7 \text{ til } 50,0.$$

Havde Styrken været omvendt proportional med Sandskornenes samlede Overflade, skulde Talkoefficienterne have forholdt sig som Middeldiametrene, der er 2,94, 1,05 og 0,21 mm (se Stykke 4), altsaa som:

$$100 \text{ til } 35,7 \text{ til } 7,14.$$

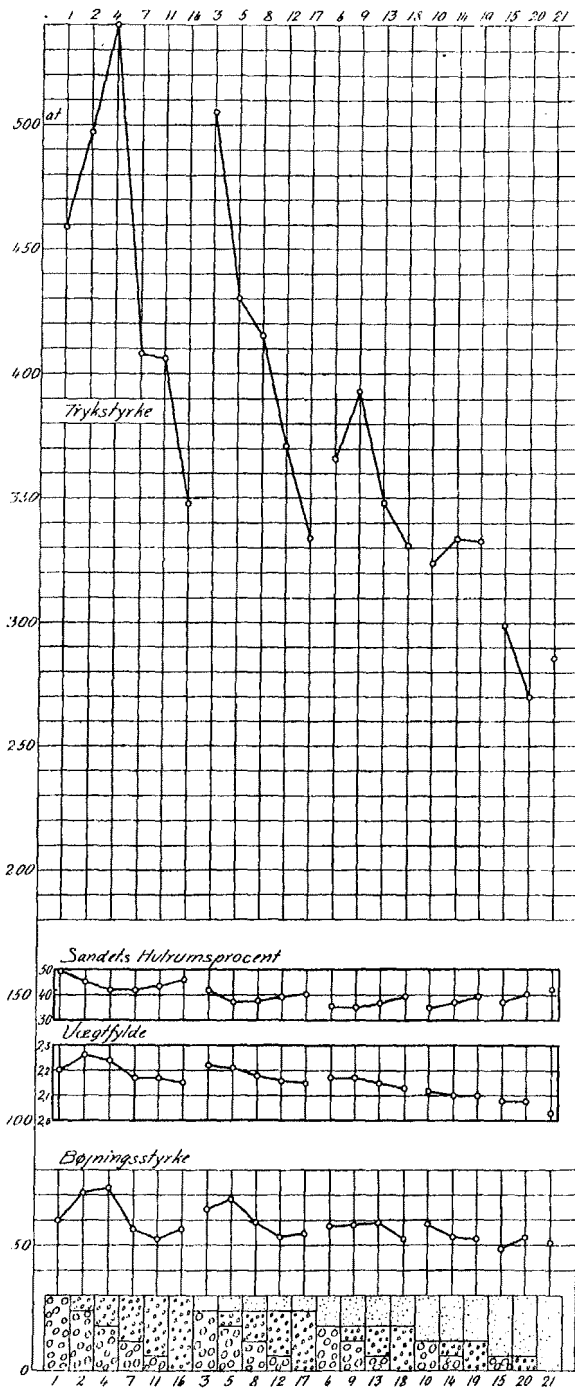


Fig. 27. Mørtler 1 : 2 med normal Vandtilsætning.

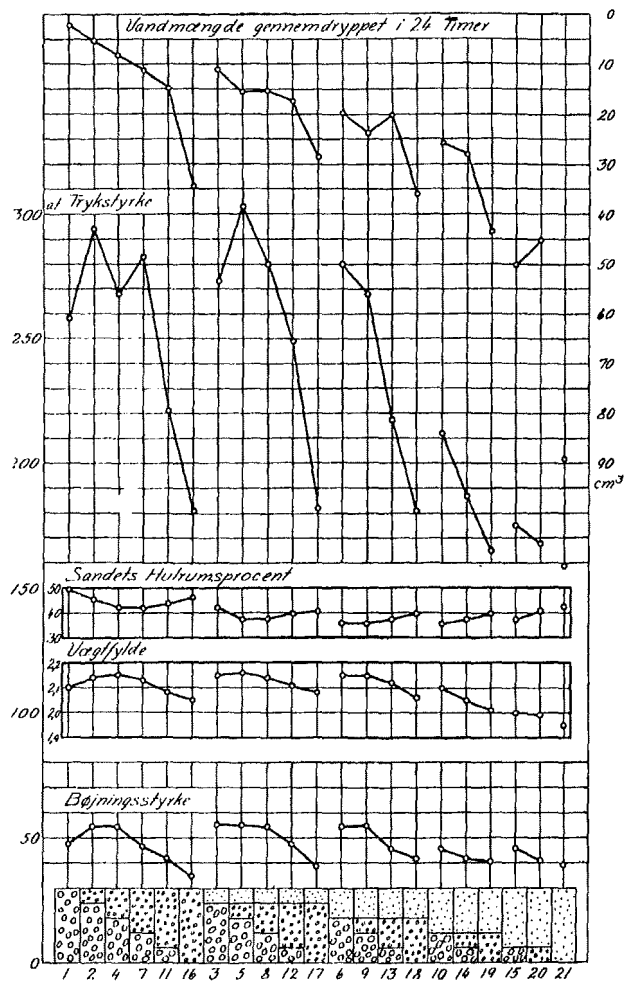


Fig. 28. Mørtler 1 : 3 med normal Vandtilsætning.

TABEL XIII.
Korrigeret Bøjningsstyrke for Mørtler af Strandsand, Bakkesand og Gennemsnitssand med normal Vandtilsætning.

Sandets Nr.	Mørtler 1:2			Mørtler 1:3		
	Strand-sand	Bakke-sand	Gennem-snitssand	Strand-sand	Bakke-sand	Gennem-snitssand
1	64,0	60,0	62,0	40,7	44,7	42,7
2	68,2	70,8	69,5	51,0	50,9	51,0
3	65,3	64,1	64,7	55,5	51,8	53,6
4	66,8	72,8	69,8	50,6	51,0	50,8
5	66,2	68,5	67,4	52,7	51,5	52,1
6	63,2	57,5	60,4	54,2	51,0	52,6
7	63,1	56,3	59,7	44,8	43,8	44,3
8	61,5	59,0	60,3	46,5	50,7	48,6
9	58,0	58,0	58,0	49,9	51,4	50,6
10	58,5	58,5	58,5	45,7	42,7	44,2
11	55,8	52,6	54,2	39,1	39,3	39,2
12	55,0	53,1	54,1	44,4	44,4	44,4
13	58,4	58,9	58,7	42,1	42,6	42,4
14	55,9	53,0	54,5	40,7	39,2	39,9
15	48,5	48,7	48,6	41,6	42,9	42,2
16	50,1	56,2	53,2	38,6	32,5	35,6
17	53,5	54,5	54,0	34,0	36,4	35,2
18	51,8	52,5	52,2	36,9	39,3	38,1
19	54,7	52,4	53,6	39,8	37,6	38,7
20	48,6	53,0	50,8	35,3	38,2	36,8
21	43,3	51,0	47,2	34,7	36,9	35,8
	1211,4	1211,4	1211,4	918,8	918,8	918,8

TABEL XIV.
Vægtfylde for Mørtler af Strandsand, Bakkesand og Gennemsnitssand med normal Vandtilsætning.

Sandets Nr.	Mørtler 1:2			Mørtler 1:3		
	Strand-sand	Bakke-sand	Gennem-snitssand	Strand-sand	Bakke-sand	Gennem-snitssand
1	2,21	2,20	2,205	2,10	2,10	2,100
2	2,23	2,26	2,245	2,15	2,14	2,145
3	2,22	2,22	2,220	2,16	2,15	2,155
4	2,21	2,24	2,225	2,16	2,15	2,155
5	2,21	2,21	2,210	2,16	2,16	2,160
6	2,18	2,17	2,175	2,13	2,15	2,140
7	2,20	2,17	2,185	2,12	2,13	2,125
8	2,19	2,18	2,185	2,12	2,14	2,130
9	2,17	2,17	2,170	2,10	2,15	2,125
10	2,15	2,12	2,135	2,06	2,10	2,080
11	2,16	2,17	2,165	2,06	2,08	2,070
12	2,15	2,16	2,155	2,08	2,11	2,095
13	2,15	2,15	2,150	2,07	2,12	2,095
14	2,12	2,10	2,110	2,03	2,05	2,040
15	2,08	2,08	2,080	2,00	2,00	2,000
16	2,14	2,15	2,145	2,02	2,05	2,035
17	2,14	2,15	2,145	2,07	2,08	2,075
18	2,12	2,13	2,125	2,03	2,06	2,045
19	2,08	2,10	2,090	2,01	2,01	2,010
20	2,06	2,08	2,070	1,98	1,99	1,985
21	2,01	2,03	2,020	1,92	1,95	1,935
Sum	45,18	45,24	45,210	43,53	43,87	43,700

Styrken er imidlertid snarere proportional med \sqrt{d} , idet disse Størrelser forholder sig som:

100 til 71,2 til 41,5.

For mellemiggende Blandingsforhold vil man kunne interpolere mellem de to Formler. Kaldes Forholdet mellem Cementens og Sandets Vægt x , kan de to Formler under eet udtrykkes ved:

$$S^c = (12,6x - 1,2)g + (8,4x - 0,8)m + (4,8x - 0,1)f,$$

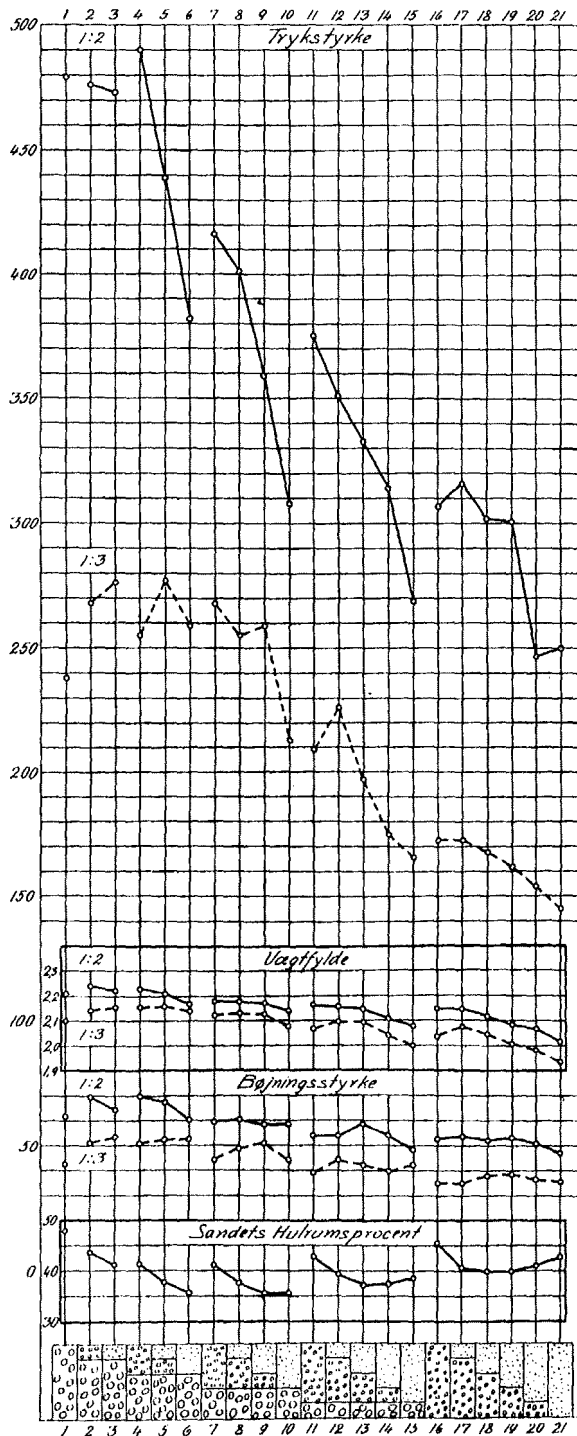


Fig. 29. Middelværdier for Strand- og Bakkesand under eet. Normal Vandtilsætning.

TABEL XV.
Trykstyrke af Mørtler 1 : 2.

Sandets Nr.	S _c		Differens	
	sand	beregnet	absolut	i pCt.
1	479	510	31	6
2	476	476	0	0
3	473	454	- 19	- 4
4	490	442	- 48	- 10
5	439	420	- 19	- 4
6	382	398	16	4
7	416	408	- 8	- 2
8	401	386	- 15	- 4
9	359	364	5	1
10	308	342	34	11
11	375	374	- 1	0
12	351	352	1	0
13	333	330	- 3	- 1
14	314	308	- 6	- 2
15	269	286	17	6
16	307	340	33	11
17	316	318	2	1
18	302	296	- 6	- 2
19	301	274	- 27	- 9
20	247	252	5	2
21	250	230	- 20	- 8

TABEL XVII.
Bøjningsstyrke af Mørtler 1 : 2.

Sandets Nr.	S ^b		Differens	
	sand	beregnet	absolut	i pCt.
1	62,0	70	8,0	13
2	69,5	67	- 2,5	- 4
3	64,7	65,6	0,9	1
4	69,8	64	- 5,8	- 8
5	67,4	62,6	- 4,8	- 7
6	60,4	61,2	0,8	1
7	59,7	61	1,3	2
8	60,3	59,6	- 0,7	- 1
9	58,0	58,2	0,2	0
10	58,5	56,8	- 1,7	- 3
11	54,2	58	3,8	7
12	54,1	56,6	2,5	5
13	58,7	55,2	- 3,5	- 6
14	54,5	53,8	- 0,7	- 1
15	48,6	52,4	3,8	8
16	53,2	55	1,8	3
17	54,0	53,6	- 0,4	- 1
18	52,2	52,2	0,0	0
19	53,6	50,8	- 2,8	- 5
20	50,8	49,4	- 1,4	- 3
21	47,2	48	0,8	2

TABEL XVI.
Trykstyrke af Mørtler 1 : 3.

Sandets Nr.	S _c		Differens	
	sand	beregnet	absolut	i pCt.
1	238	300	62	26
2	268	280	12	5
3	276	270	6	2
4	255	260	5	2
5	277	250	- 27	- 10
6	250	240	- 10	- 4
7	268	240	- 28	- 11
8	255	230	- 25	- 10
9	259	220	- 39	- 15
10	213	210	- 3	- 1
11	209	220	11	5
12	226	210	- 16	- 7
13	197	200	3	1
14	175	190	15	9
15	166	180	14	8
16	173	200	27	16
17	173	190	17	10
18	168	180	12	7
19	162	170	8	5
20	154	160	6	4
21	145	150	5	4

TABEL XVIII.
Bøjningsstyrke af Mørtler 1 : 3.

Sandets Nr.	S ^b		Differens	
	sand	beregnet	absolut	i pCt.
1	42,7	54,0	11,3	27
2	51,0	51,0	0,0	0
3	53,6	50,6	- 3,0	- 6
4	50,8	48,0	- 2,8	- 6
5	52,1	47,6	- 4,5	- 9
6	52,6	47,2	- 5,4	- 10
7	44,3	45,0	0,7	2
8	48,6	44,6	- 4,0	- 8
9	50,6	44,2	- 6,4	- 13
10	44,2	43,8	- 0,4	- 1
11	39,2	42,0	2,8	7
12	44,4	41,6	- 2,8	- 6
13	42,4	41,2	- 1,2	- 3
14	39,9	40,8	0,9	2
15	42,2	40,4	- 1,8	- 4
16	35,6	39,0	3,4	10
17	35,2	38,6	3,4	10
18	38,1	38,2	0,1	0
19	38,7	37,8	- 0,9	- 2
20	36,8	37,4	0,6	2
21	35,8	37,0	1,2	3

der løst med Hensyn til x giver:

$$x = \frac{S^c + 1,2g + 0,8m + 0,1f}{12,6g + 8,4m + 4,8f}$$

Vil man af en given Sandsort fremstille en Mørtel af en given Styrke, kan den nødvendige Cementtilsætning beregnes af denne Formel, saafremt x ikke falder for langt uden for Grænserne $\frac{1}{2}$ og $\frac{1}{3}$.

Det S_c, der indgaar i Formlerne, gælder for 3 Maaneder gammel Mørtel, fremstillet af en Cement med Normalstyrke efter 28 Døgn:

$$\frac{377 + 316}{2} = 347 \text{ al.}$$

Bøjningsstyrken af Mørtlerne 1 : 2 og 1 : 3 kan under samme Forhold skrives:

$$S^b = 0,70 g + 0,55 m + 0,48 f$$

$$S = 0,54 g + 0,39 m + 0,37 f$$

med en Nøjagtighed, der fremgaar af Tabel XVII og XVIII.

For et mellemliggende Blandingsforhold findes:

$$S^b = (0,96x + 0,22)g + (0,96x + 0,07)m + (0,66x + 0,15)f,$$

der løst med Hensyn til x giver:

$$x = \frac{S^b - 0,22g - 0,07m - 0,15f}{0,96g + 0,96m + 0,66f}.$$

11. Afslutning.

Betydningen af de to store Forsøgsrækker med Strandsand og Bakkesand, der hermed afsluttes, ligger i, at det tildels ukendte Land, der hedder Kornstørrelsens Indflydelse paa Cementmørtels Egenskaber, er blevet kortlagt. Der kan være Fejl i Grænselinier og Niveaukurver, som det er forbeholdt senere Undersøgelser at rette, men i det hele og store er Landet kendt. De indvundne Resultater er let tilgængelige; enhver Betontekniker, der staar overfor Valget af Sand, har blot ved Hjælp af tre Sigter at bestemme Sandets Sammensætning; dermed er dets Plads i Diagrammerne givet, og et Blik paa disse viser ham, om det, hvad Kornstørrelse angaar, er egnet til Brug.

Af de almengyldige Resultater, der kan drages af det store Forsøgsmateriale, skal nogle enkelte fremdrages.

Sandets Hulrumsprocent ved løs Lejrning kan beregnes, naar Kornstørrelsen er kendt. De paagældende Ligninger findes i Stykke 1, b.

Hos Mørtler 1 C : 3 S og federe er Egenskaberne ikke i væsentlig Grad afhængige af det løse Sands Hulrumsprocent. Dette hænger formentlig sammen med, at San-

dets »Hulrumsprocent« i Mørtelen paa det nærmeste er konstant uden Hensyn til det løse Sands Hulrumsprocent (Tabel IX a og IX b). Denne kan derfor ikke bruges til Bedømmelse af Sandets Kvalitet.

Sandets Kornstørrelse har en overordentlig stor Indflydelse paa Mørtlernes Egenskaber. Jo grovere Sandet er, des bedre egner det sig som Regel til Mørtelbrug. Sandets Indflydelse paa Trykstyrken er dog ikke proportional med Korndiameteren d , men snarere med \sqrt{d} (Stykke 10).

Fordelen ved at bruge groft Sand forsvinder, naar Vandtilsætningen overdrives (Fig. 5,1).

Den Indflydelse, Sandets Kornstørrelse har paa Mørtlernes Tryk- og Bøjningsstyrke, kan med en for Praxis tilstrækkelig Nøjagtighed udtrykkes ved simple Ligninger (Stykke 10).

Der er opstillet en Ligning, ved hvis Hjælp man ud fra Sandets Kornstørrelse og Cementens Styrke kan beregne den for Opnaelse af en bestemt Mørtelstyrke nødvendige Cementtilsætning. Ligningen gælder for de fede Mørtler (1 : 2 à 1 : 3), der bruges ved Støbning af Rør og Jærnbeton.

De hærdnede Mørtlers Struktur paavirkes af deres Vaadhed ved Støbningen; i de vaadere Mørtler ligger Sandskornene mere spredt end i de tørrere, samtidig med at Kitmassen er mere porøs (Stykke 7).

Mørtlernes Vandtæthed vokser med aftagende Vandtilsætning. Er Konsistensen passende, vokser Vandtætheden med Sandets Grovbed. Mørtlerne 1 : 3 var alle utætte, Mørtlerne 1 : 2 var tætte, naar Vandtilsætningen og Sandets Finhed ikke var for stor (Stykke 8).