

AF MATERIALERNES SAMMENSÆTNING

NIELS M. PLUM

STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT

ex. 8

00781 P

20 JULI 1988

STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT

SÆRTRYK NR. 9

KØBENHAVN 1950

STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT

(The Danish National Institute of Building Research)

Borgergade 20, København K. Telefon Palæ 9855

er en selvstændig institution, der ledes af en bestyrelse udpeget af boligministeren, er oprettet ved lov nr. 123 af 19. marts 1947,

har til opgave »— at følge, fremme og samordne teknisk, økonomisk og anden undersøgelses- og forskningsvirksomhed, som kan bidrage til en forbedring og billiggørelse af byggeriet, samt at udøve oplysningsvirksomhed angående byggeforskningens resultater.«

PUBLIKATIONER

Rapporter

er de originale, komplette beretninger om selvstændige forskningsarbejder, som udføres for eller af Institutet.

Nr. 1: *Økonomisk varmeisolering, Poul Becher*. 1949. 61 s. A₄. Kr. 7,—. 2. udgave 1950.

Nr. 2: *Gymnastiksales akustik, Poul Becher*. 1950. 2 s. A₄. Kr. 1,—.

Nr. 3: *The Non-Destructive Testing of Concrete with Special Reference to the Wave Velocity Method, Johs. Andersen, Poul Nerenst and Niels M. Plum*. 1950. 80 s. A₄. (Udsolgt).

Studier

er en blandet publikationsrække, der spænder fra litteraturgengivelser og diskussioner til forskningsprogrammer, foreløbige beretninger o. lign.

Nr. 1: *Byggemodul, begrebets indhold og problemer i forbindelse med dets indførelse, Mogens Voltelen*. 1949. 30 s. A₄. Kr. 2,—.

Nr. 2: *Forslag til undersøgelser og forskningsopgaver indenfor boligbyggeriet*. 1949. 67 s. A₄. (Udsolgt).

Nr. 3: *The Predetermination of Water Requirement and Optimum Grading of Concrete under Various Conditions, Niels M. Plum*. 1950. 96 s. A₄. Kr. 15,—.

Nr. 4: *Om visse grundprincipper vedrørende prøvning af byggematerialer, med særligt henblik på betonprøvningen, Niels M. Plum*. 1950. 24 s. A₄. (Udsolgt).

Nr. 5: *Hvordan udføres en tør kælder? Niels R. Steensen*. 1950. 15 s. A₄. Kr. 2,—.

Anvisninger

er praktiske vejledninger, beregnet på direkte brug i det daglige arbejde ved projektering, fabrikation eller byggeri. De kan være udfærdiget dels på grundlag af Institutets egne arbejder, dels ud fra andres undersøgelser fra ind- eller udland. De søges tilpasset efter de stedlige og aktuelle forhold og holdt i en ikke-videnskabelig udtryksform, tilgængelig for de pågældende faglige kredse.

Nr. 1: *Byg hele året*, foreløbig vejledning i overvindelse af byggeriets sæsonhindringer. 1948. 117 s. A₅. (Udsolgt).

(fortsættes på omslagets 3. side)

Særtryk af „Beton“. Bind II. Proportionering.
DIFs arbejdsgruppe for beton og jernbeton. 1950.

CDU. 620.1: 666.94/666.97

Betonegenskabernes afhængighed af materialernes sammensætning og disses indbyrdes afhængighed

af Niels M. Plum,

civilingeniør, m. ing. f., Statens Byggeforskningsinstitut.

Materialernes indbyrdes afhængighed

DEFINITIONER

Materialerne leveres som regel sorteret i forskellige størrelser, der ifølge Dansk Standard 401 benævnes således:

Tablet 1.

	Maskesigter	Rundhulsigter
Sorterede materialer:		
Sten		
Storsten	over 150 mm	over 200 mm
Håndsten	50/150 »	60/200 »
Singels	25/50 »	30/60 »
Nøddesten	12/25 »	15/30 »
Ærtesten	8/12 »	10/15 »
Perlesten	4/8 »	5/10 »
Sand		
Betonsand	0/4 »	0/5 »
Blandede materialer:		
Grus		
Singelsgrus	0/50 »	0/60 »
Nøddestensgrus	0/25 »	0/30 »
Ærtestensgrus	0/12 »	0/15 »
Perlestensgrus	0/8 »	0/10 »

Det vil af ovenstående tabel 1 være klart, at betegnelsen *sand* omfatter kornstørrelserne fra 0 til 4 (eller 5) mm, *sten* omfatter kornstørrelserne over 4 (eller 5) mm imellem hvilke som helst to grænser, og at endelig betegnelsen *grus* omfatter det samlede materiale fra mindste sandkorn til største sten, d. v. s. det samme område, der dækkes af den ældre betegnelse: tilslagstoffer.

KORNSTØRRELSESFORDELING (kornkurve).

GRUSKORNBURVEN

De betegnelser og definitioner, der er angivet i tabel 1, er for den mere indgående undersøgelse af materialerne, der foretages nedenfor, langtfra tilstrækkelig. Det vil nemt forstås, at der indenfor de angivne grænser er muligheder for betydelige variationer i kornstørrelsesfordelingen, eller som den oftere benævnes: kornkurven, og det vil derfor som regel være nødvendigt, at materialerne underkastes en sigteanalyse.

De maskevidder, der bør anvendes ved sigteanalyser og disses optegning, er fortrinsvis:

Tabel 2.

0,125, 0,25, 0,5, 1, 2, 4, 8, 16, 32 og 64 mm.

Resultaterne kan ansueliggøres på 2 måder.

Den ene består i at indtegne den mængde, der passerer igennem hver sigte, i et diagram, som f. eks. vist på fig. 1. Denne udtryksform giver, når man har fået nogen øvelse i at anvende den, et overordentlig klart billede af kornstørrelsesfordelingen. Den anden metode består i at udtrykke kornstørrelsesfordelingen ved hjælp af et enkelt tal, der skal give udtryk for en af grusets væsentligste egenskaber: vandbehovet.

Der er i årenes løb fremkommet mange forslag til opstilling og beregning af et sådant tal (50 P 2), men jeg skal her indskrænke mig til at omtale det »finhedsmodul«, som der nu synes at kunne opnås enighed om i Skandinavien.

Det er foreslået af dr. techn. Erik V. Meyer (45 M 8) og baserer sig i princippet på det af Abrams i 1918 foreslåede »fineness modulus« (18 A 1).

Udregningen sker ved at man adderer samtlige de på sigterne i tabel 2 fundne tilbageholdte vægtprocenter, idet dog værdien på den mindste sigte (0,125 mm) kun medregnes med halvdelen. For de to kurver med 32 mm størstekorn i fig. 1 findes f. eks.:

Tabel 3.

Sigte mm	Øverste kurve		Nederste kurve	
	Gennemfald	Tilbageholdt	Gennemfald	Tilbageholdt
0,125	0.10	$\frac{1}{2} \cdot 0.90 = 0.45$	0.0	$\frac{1}{2} \cdot 1.00 = 0.50$
0,25	.13	.87	.3	.97
0,5	.19	.81	.8	.92
1	.26	.74	.15	.85
2	.35	.65	.24	.76
4	.46	.54	.37	.63
8	.60	.40	.54	.46
16	.79	.21	.76	.24
32	1.00	0	1.00	0
64	1.00	0	1.00	0
Ialt finheds modul: F.M.	=	4.67	=	5.33

Det vil bemærkes, at finheds modulet er et udtryk for det over den pågældende kurve beliggende areal indenfor figurens begrænsninger foroven og tilvenstre.¹⁾

Beregningen af F.M. kan også som af dr. Meyer foreslået (45 M 8), med god tilnærmelse ske grafisk.

Finhedsmodulet giver naturligvis ikke det samme nuancerede billede af kornstørrelsesfordelingen som hele kornkurven, men er dog et særdeles praktisk og simpelt hjælpemiddel for bedømmelsen af materialernes egnethed.

¹⁾ Den af finhedsmodulens opfinder D. A. Abrams anvendte beregningsmåde, der stadig anvendes i de fleste engelsktalende lande, støtter sig på anvendelsen af det sigtesystem, der er angivet med prikket linie i fig. 2. De herved beregnede værdier, der her betegnes A:F.M., og som man ofte møder i fremmed litteratur, er, når gennemfaldet på 0,125 mm sigten er nul, 0,25 større end F.M.

Er gennemfaldet på 0,125 mm sigten større end nul, bestemmes tillægget af følgende tabel:

(Noten fortsættes nederst næste side)

hed til betonstøbning, idet materialer med samme F. M., uanset forskelligheder i kornkurvens forløb, har praktisk taget samme indflydelse på betonens støbelighed.

BETONKORNKURVEN

På samme måde som det ovenfor er vist, at grusets kornstørrelsesfordeling kan angives ved en kornkurve (smlg. fig. 1), kan og bør også kornstørrelsesfordelingen af grus plus cement undersøges og kontrolleres ved hjælp af en kornkurve, der benævnes *betonkornkurven*.

En betonkornkurve svarende til gruskornkurverne i fig. 1 ses optegnet i fig. 2. Det vil bemærkes, at betonkornkurvens ordinat på 0,125 mm sigten angiver cement (+ filler) indholdet, og iøvrigt kan den fuldstændige gruskornkurve beregnes ud fra betonkornkurven ved at multiplicere alle dennes tilbageholdte vægtprocenter med forholdet mellem grus- og betonkornkurvens tilbageholdte vægtprocenter på 0,125 mm sigten.

Lige fra 1907, hvor Fuller og Thompson for første gang foretog rationelle undersøgelser over kornkurvens betydning (07 F 1), har man været klar over, at det var betonkornkurven og ikke gruskornkurven man burde interessere sig for. Måske fordi det syntes nemmere blot at arbejde med gruskornkurven, gik denne erkendelse imidlertid i mange år i glemmebogen.

I de senere år har spørgsmålet betonkornkurve contra gruskornkurve ofte været diskuteret, og bølgerne har gået højt.

(fortsat)

Gennemfald på 0,125 mm sigten pct.	Tillæg (F.M. + tillæg = A:F.M.)
0	0,25
20	0,20
40	0,15
60	0,10
80	0,05
100	0

For en kurve med f. eks. F. M. = 1,40 og 37 pct. gennemfald på 0,125 mm sigten, findes således f. eks. ved hjælp af interpolation i tabellen:

$$A:F.M. = F.M. + 0,16 = 1,56.$$

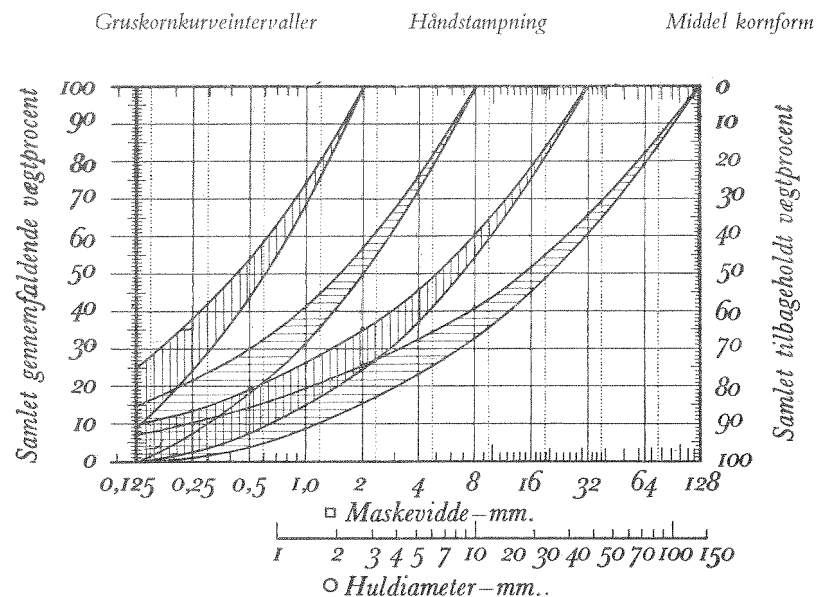


Fig. 1. Gruskornkurveintervaller for fire forskellige max. gruskornstørrelser og svarende til håndkomprimering af betonen. Ved anvendelse af andre max. kornstørrelser end de angivne kan de tilsvarende intervaller let findes ved interpolation.

Intervalllets øvre grænse svarer til mager beton, hvor gruset selv skal indeholde en stor del af partikler mindre end 0,125 mm, den nedre svarer til fed beton hvor cementen leverer hele bidraget af fine partikler.

Intervallerne svarer iøvrigt til *middelgod kornform*. Hvis kornformen afviger herfra, bør kurverne i tilfælde af helt rund strandsand sænkes ca. 5% på 4 mm sigten, medens de hvis materialerne er knuste, og kornformen er på grænsen af det tilfældige, bør løftes ca. 5% på 4 mm sigten.

Ang. kurver for vibreret beton (se fig 7 side 87).

Som det vil fremgå af dr. Meyers afhandling, er man imidlertid i de nye danske »fælles«-regler for betonproportionering nu enedes om at anvende betonkornkurven ved den »nøjagtige« metode, og i den anledning er der måske grund til at se lidt nærmere på, hvad betonkornkurven kan byde fremfor gruskornkurven:

Det er ikke muligt helt rationelt at behandle en række betonproblemer ved brug af den øverste del af kornkurven alene, og modstanden mod at anvende blandingskornkurven, bortset fra alm. konservatisme, skyldes hoved-

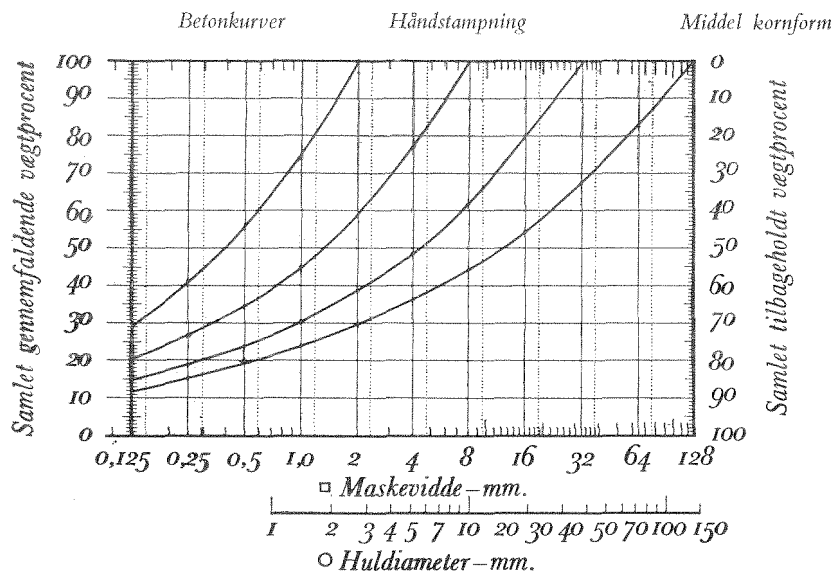


Fig. 2. Betonkornkurver for fire forskellige max. kornstørrelser svarende til håndkomprimering af betonen og middel-kornform af gruset. Sammenlign iøvrigt kommentarer til fig. 1. vedr. andre max. kornstørrelser og kornformer.

sagelig forhold af praktisk art samt usikkerhed m. h. t. hvor hurtigt cementens gradering ændres under hydreringen og denne ændrings betydning.

Når der sættes vand til cementen, vil dens partikler vokse og muligvis også ændre form.

Dette vil (som nævnt) sige, at den forudsatte kornkurve — der er bestemt i tør tilstand — langsomt fjerner sig fra den forudsatte. Imidlertid er den tid blanding, udstøbning og komprimering varer, og i løbet af hvilken graderingen alene er af betydning, relativt kort sammenlignet med den samlede hydreringstid, hvorfor de ændringer, der sker, kun når at blive ganske ubetydelige. Mange sammenlignende forsøg mellem cement og inaktivt filler har bekræftet dette. (0 7 F 1) (27 L 1).

En række af betonens egenskaber som f. eks. kompaktthed og tæthed er nøje forbundet med kornkurven helt ned til de allermindste partikler (og det er i denne forbindelse ligegyldigt, om disse består af cement eller inaktivt materiale), og det er vanskeligt at se, hvorfor man kun vil beskæf-

tige sig med denne kontinuerte sammenhæng ned til f. eks. 0,125 mm¹⁾, da jo partiklerne over og under denne tilfældige grænse tætheds-mæssigt forholder sig til hinanden aldeles som to hvilke som helst andre konsekutive kornstørrelser f. eks. omkring 10 mm — og hvem ville falde på at skære kornkurven over ved 10 mm!

Til støtte for anvendelse af en kornkurve alene ned til f. eks. 0,125 mm anføres ofte, at det ellers vil blive nødvendigt at foretage en besværlig finhedsanalyse af cementen.

Herimod kan anføres:

at cementens kornkurve uden videre kan fås fra cementfabrikken — i hvert fald burde den uden videre være til at få²⁾ og

at man under alle omstændigheder alligevel bør kende cementens kornkurve, hvis man virkelig vil proportionere rationelt, så fremskaffelsen af kornkurven er ikke nogen sag og ekstra ulejlighed.

Endelig kan imod anvendelsen af gruskornkurven fremføres, at sådanne normalintervaller som f. eks. findes i fig. 1 bliver meget brede nedadtil, fordi de skal svare til alle mulige cementindhold. Det er her således, at et stort cementindhold skal bruges sammen med en lavtliggende gruskornkurve og omvendt, og selv om der kan gives visse regler herfor, medfører det dog en betydelig usikkerhed i brugen.

Dette forhold har man selvsagt ikke ved betonkornkurven. Samtlige de betoner, der svarer til de brede grusintervaller i fig. 1, kan afbildes ved en enkelt kurve som vist i fig. 2, og det siger sig selv, at dette både i praksis og ved teoretisk behandling er en betydelig fordel.

KORNKURVENS OPTIMALE BELIGGENHED

Bestemmelsen af betonkornkurvens rette beliggenhed er, hvis der skal tages hensyn til alle de forhold, der faktisk har betydning for beliggenheden, en såre indviklet ting.

¹⁾ At valget netop har truffet denne værdi, skyldes alene praktiske forhold — hovedsagelig at det i praksis er vanskeligt at separere mindre kornstørrelser — og den savner enhver teoretisk baggrund. Man kunne måske tidligere sige, at 0,125 mm med god tilnærmelse netop angav skellet mellem cement og grus — men nu, hvor man hyppigt anvender filler og/eller cement med malet inaktivt tilslag, er denne grænse uden motivering.

²⁾ Ellers kan ethvert kemisk laboratorium bestemme den f. eks. ved hjælp af Andreasens apparat (30 A 1).

Man kan i praksis, når man har rigelig komprimeringsenergi og et passende mørteloverskud i sin beton, som regel meget vel klare sig med meget simple tommelfingerregler eller færdige diagrammer som f. eks. fig. 2, men for at ingeniøren kan have en mere teoretisk indsigt i, hvad der ligger bag tommelfingerreglerne, og i givet fald danne sig et skøn over, hvad der vil ske, hvis reglerne ikke overholdes, skal dog i det følgende, under omtalen af de enkelte egenskaber både før og efter afbindingen, gives en omtale af kornkurvens virkning.

På dette sted følger blot en kort oversigt over de mest kendte »klassiske« kornkurver.

Fuller og Thompson.

Som resultat af deres undersøgelser i 1907 fandt Fuller og Thompson (o 7 F I), at betonkornkurven — hvis den tegnes i dobbelt-lineært system

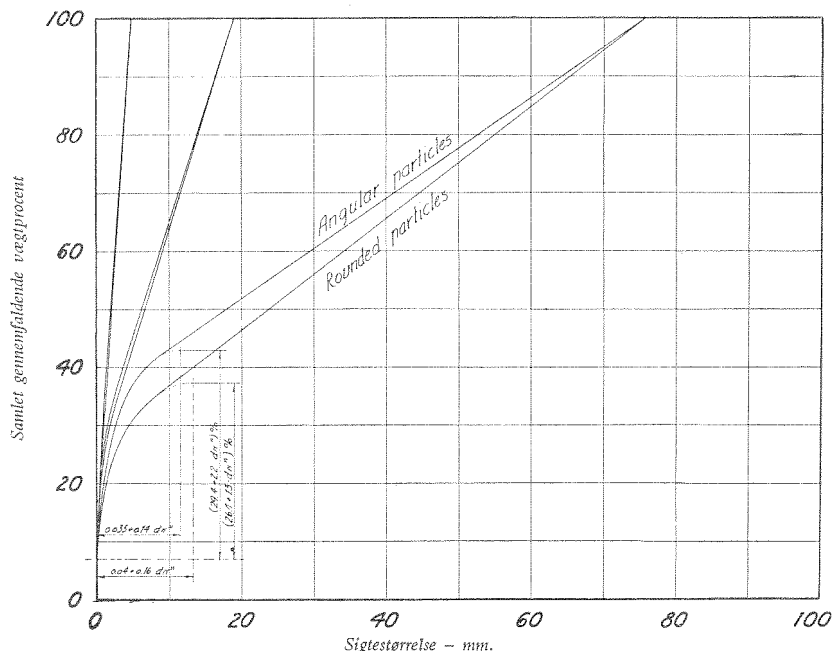


Fig. 3. Fuller og Thompsons elliptiske betonkornkurver for de max. kornstørrelser 4,76, 19 og 76 mm samt for runde og kantede materialer.

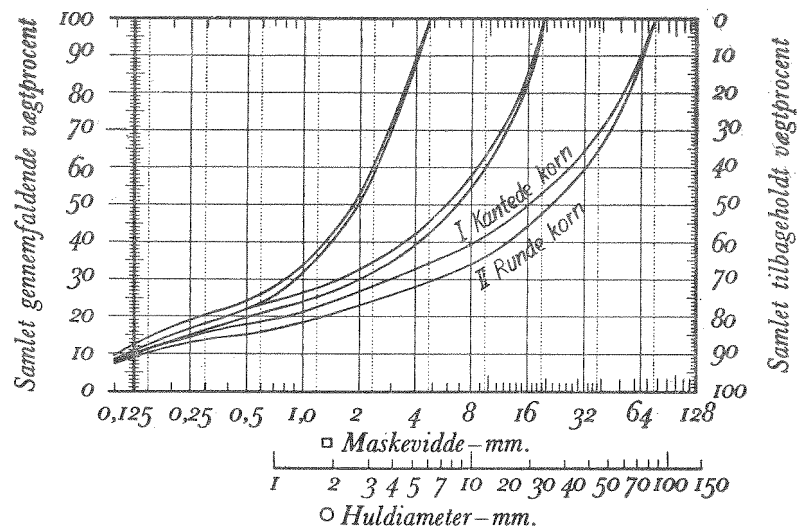


Fig. 4. Samme elliptiske kurver som i fig. 3 i et normalt diagram med logaritmisk absce-deling.

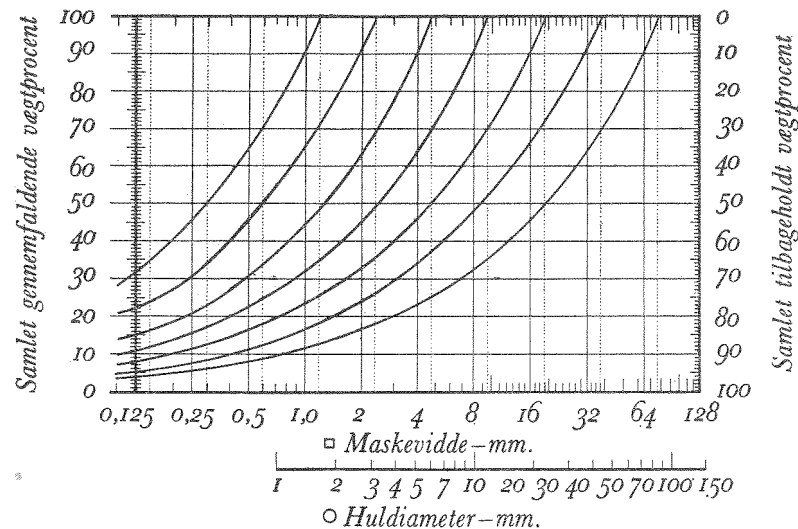


Fig. 5. „Fuller og Thompsons paraboliske betonkornkurver for max. kornstørrelser 1,19, 2,38, 4,76, 9,5, 19, 38 og 76 mm (Tyler sigter).

— fra 0 til ca. 1/10 af maximalkornstørrelsen bør bestå af en ellipse og derudover af en ret linie.

Sådanne kurver er vist i fig. 3. Af hensyn til sammenligneligheden er de endvidere i fig. 4 indtegnet i et alm. system med logaritmisk x-akse.

F. og T. blev selv opmærksom på, at deres kurver med tilnærmelse kunne erstattes af parabler med ligningen:

$$\sum p_n = \sqrt{\frac{d_n}{d_N}}$$

hvor $\sum p_n$ er det samlede gennemfald på sigten d_n for et materiale med størkornstørrelse d_N .

I fig. 5 findes til orientering indtegnet en række paraboliske »Fuller«-ste kurver.

Gennem tiderne er denne kurve efterhånden nået til at blive betragtet som en naturlov, og trods det, at F. og T. har udledt den som gældende for betonkornkurven, er den ved misforståelser i tidens løb blevet opfattet som norm for gruskornkurven. (50 P 2).

Weymouth.

Fuller og mange senere forskere, der har søgt at løse problemet om den rette kornkurve (23 T 1) (25 B 1) (30 A 1) (38 G 3) (39 H 3) (42 F 2) har hovedsagelig interesseret sig for den »teoretiske« tæthed, (50 P 2), hvormed menes, at man har set bort fra, om det komprimeringsarbejde, der krævedes for at opnå denne tæthed, stod i et rimeligt forhold til ulejligheden — og til praksis — og resultatet er derfor i almindelighed blevet, at disse kornkurver giver en for vanskelig bearbejdelig beton.

Da det, for de mængder af cement + vand, der almindeligvis anvendes, som tidligere nævnt måske overhovedet er tvivlsomt (42 L 1), om kornkurven har ret megen betydning for tætheden, bør spørgsmålet om den rette kornkurve langt snarere løses ud fra synspunktet bearbejdelighed, thi i praksis vil det som regel være bearbejdeligheden, der er bestemmende for tætheden.

I henhold til amerikaneren C. A. G. Weymouth (33 W 4) (38 W 2) er betingelsen for, at en beton er bearbejdelig, at den frie afstand mellem

kornene i enhver fraktion¹⁾ (f. eks. 16–8 mm) således som disse er lejret i den færdige beton er mindst så store, at kornene fra den følgende fraktion (f. eks. 8–4 mm) netop kan passere frit og fordele sig jævnt. Når dette ikke er tilfældet, opstår »partikel interferens« (»particle interference«), og bestemmelsen af grænsen for en god gradering består derfor i at finde det mængdeforhold mellem successive fraktioner, der lige netop forhindrer partikel interferens.

Ved anvendelse af sådanne fraktioner, hvor hver sigtevidde netop er halv så stor som den forrige (sammenlign tabel 2) har Weymouth fundet den mængde p %, der må være i hver fraktion (n) i forhold til den umiddelbart større ($n+1$), til:

$$p_n = p_{n+1} \cdot (1 \div d_o \cdot k)$$

hvor d_o er tætheden af fraktionen ($n+1$) i tør håndstampet tilstand, og k er konstant.

d_o vil normalt ligge i intervallet 0,50–0,65 (svarende til 50–35 % porevolumen), medens k efter Weymouths beregninger, og svarende netop til at den frie afstand mellem partiklerne i den ene fraktion er lig middeltørrelsen af den næste, er = 0,30²⁾.

Selv om det i almindelighed ikke vil have nogen større indflydelse, er der grund til at gøre opmærksom på, dels at d_o i praksis — af endnu ikke klarlagte årsager — varierer med fraktionens abs. kornstørrelse, således at der opnås et maximum omkring 0,5–2 mm, dels at man ved beregningen af k til 0,30 har undladt at tage hensyn til tykkelsen af cementvindhinden omkring kornene. Virkningen af denne limhinde vil selvfølgelig variere med fraktionens kornstørrelse. For f. eks. fraktion 0,25–0,125 mm vil den have reduceret k til ca. 0,20.

Såvidt vides har man ved de hidtil gjorte anvendelser af Weymouths metode (40 D 1) (41–3) ikke taget hensyn til virkningen af ovennævnte variationer i d_o og k , og de vil måske som regel også være betydningsløse, men der er dog grund til principielt at understrege, at de begge vil bevirke en ændring af kornkurvens form, når maximal-kornstørrelsen ændres.

¹⁾ Ved en fraktion menes en hvilken som helst del af støbematerialerne, der kan udskilles mellem to efter hinanden følgende sigtestørrelser.

²⁾ Det skal pointeres, at det hos Weymouth er en forudsætning, at også cementen er inkluderet i kornkurven.

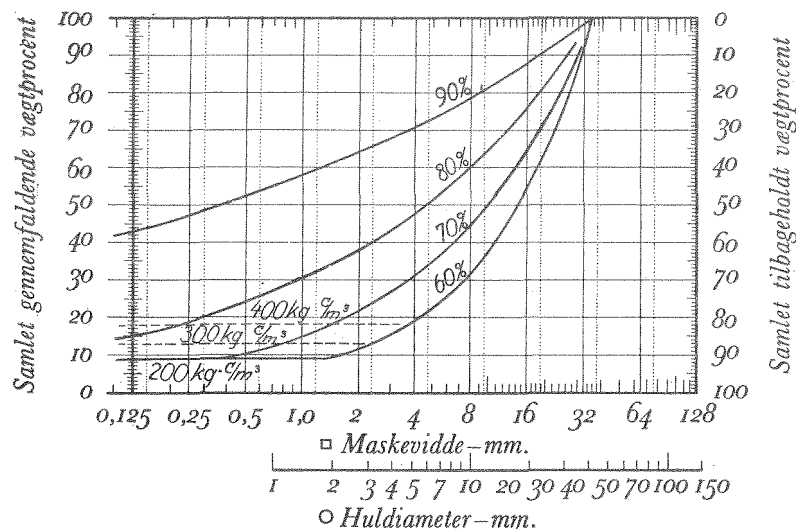


Fig. 6. „Procent“-graderinger eller „harmoniske“ graderinger, d. v. s. graderinger hvor mængden af hver fraktion er en konstant procent (G) af mængden af den følgende større fraktion, for max. kornstørrelse 32 mm og $G = 60, 70, 80$ og 90%

Ved anvendelse af særlig effektive komprimeringsmetoder (f. eks. vibring) vil det være muligt at reducere kravet om den fri afstand mellem kornene noget, hvorved k vil kunne antage værdier op til ca. 0,40.

For håndkomprimering vil

$$\text{»graderingsprocenten«} = G = (1 - d_0 \cdot k) \cdot 100$$

derfor med de angivne talværdier ligge i intervallet 80–85%, medens anvendelsen af f. eks. vibrering vil kunne reducere G til ca. 75%.

Betonekornkurver svarende hertil vil i de almindeligt anvendte koordinatsystemer se ud som på fig. 6. Hvis man anvender dobbelt logaritmisk inddeling, vil de samme kurver vise sig som rette linier.

For fuldstændighedens skyld skal der gøres opmærksom på, at også fullerkurverne fra fig. 5 hører til denne kategori af kurver. For gruset alene findes

$$G = 71\%$$

og incl. cement vil G være ca. 75–80% eller noget under partikel inter-

ferens grænsen, hvilket stemmer med de tidligere nævnte erfaringer gående ud på, at Fullers graderinger var vanskelig bearbejdelige.

Sammenlignet med den almindelige erfaring er Weymouths betonekornkurver ret højt beliggende, og man vil derfor normalt gå lige til den fundne grænseværdi af »graderingsprocenten« G , idet man herved, som det senere skal vises, vil holde betonens vandbehov så lavt som muligt.

Under særlige omstændigheder og hvor f. eks. kornkurven slår sådanne bugter, at den visse steder nærmer sig det vandrette, kan man imidlertid komme ud for værdier af G , der er meget nær ved 100%, og der er derfor anledning til også et øjeblik at se på, hvad dette betyder.

Efter Weymouth vil det sige, at den fri afstand mellem kornene i de større fraktioner bliver større end nødvendigt, eller med andre ord, at betonen — da de mindre fraktioner nu ikke kan fylde mellemrummene mellem de større — bliver porøs, og dette stemmer med erfaringer med tilslagsmaterialer bestående f. eks. af kun 2 størrelser lige store korn, hvorved der opnås en fortrinlig bearbejdelighed, men ringe tæthed.

Andre kurvesystemer.

En lang række andre forskere har gennem tiderne fremsat forslag til graderingsystemer, som det imidlertid her vil føre for vidt at komme ind på. Her skal blot henvises til den originale litteratur (23 T 1) (25 B 1) (30 A 1) (38 G 2) (39 H 3) (42 F 2) samt til (50 P 2), hvori der gives en samlet oversigt over alle mere betydende metoder.

Taget under eet synes de nævnte metoder at vise, at man til alle praktiske formål, og så længe man ønsker at anvende kontinuerte kornkurver, bedst og nemmest anvender graderinger, hvor forholdet mellem mængden af de forskellige konsekutive kornstørrelser (imellem sigter, hvis størrelse f. eks. stadig halveres) er konstant, det vil sige, at når f. eks. mængden af korn imellem 16 og 32 mm sigterne er 100 kg og imellem 8 og 16 mm sigterne 80 kg, så bør mængden af korn imellem sigterne 4 og 8 mm være $80 \times \frac{80}{100} = 64$ kg o. s. v.

En sådan kornstørrelsesfordeling kaldes en harmonisk gradering eller en procentgradering, og graderingsprocenten i det nævnte eksempel er 80 pct.

Ligningen for disse kurver er:

$$\sum p = \left(\frac{G}{100}\right)^{N-n}$$

hvor $\sum p_n$ er gennemfaldet på en sigte, der ligger $N - n$ pladser til venstre for den, der svarer til materialets størstekorn.

Denne ligning er identisk med den kendte:

$$\sum p_n = \left(\frac{d_n}{d_N}\right)^q$$

hvoraf Fullers ligning er et specielt tilfælde, hvor $q = 0,50$. Den almindelige sammenhæng mellem G og q fremgår af fig. 7. De ovennævnte graderingsligninger forudsætter, at betonens mindste kornstørrelse er $= 0$. I praksis vil dette kun med dårlig tilnærmelse være tilfældet, idet den mindste cementkornstørrelse, der forekommer i nogen mængde, er ca. $0,5 \mu$.

Der bliver derfor kun tale om et endeligt antal fraktioner, og kravet

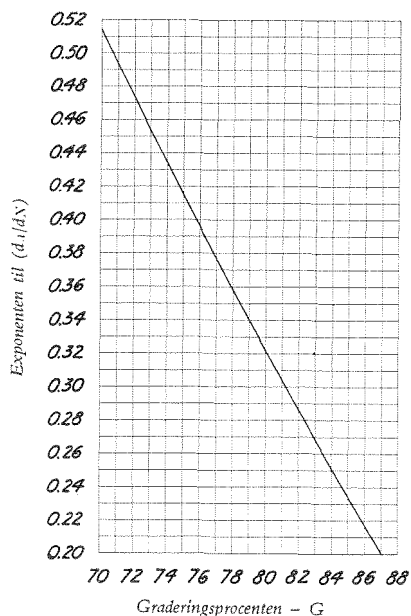


Fig. 7. Sammenhængen mellem graderingsprocenten G og exponenten til (d_n/d_N) i de paraboliske graderinger.

om, at

$\frac{p_{n-1}}{p_n}$ skal være konstant, fører derfor til en anden ligning for

harmoniske graderinger:

$$\sum p_n = \frac{\left(\frac{1}{G}\right)^n - 1}{\left(\frac{1}{G}\right)^N - 1}$$

hvor n er antallet af fraktioner fra den mindste til den, hvis gennemfald vi søger, og N er det samlede antal fraktioner. Det vil ses, at når N går mod uendelig, kan p_{N-1} beregnes til at være netop $= G$ svarende til den tidligere udledte formel. Iøvrigt henvises til den nærmere omtale af disse forhold i (50 P 2).

OVERHOLDELSE AF EN GIVEN KORNBURVE

Når man måske med noget besvær har fastlagt sin kornkurve f. eks. under proportioneringsforsøgene, er det selvfølgelig også meningen, at den skal overholdes.

Det er imidlertid såre vanskeligt nøjagtigt at definere, hvad der hermed menes. Har man som tidligere nævnt et passende mørteloverskud og rigelig komprimeringsenergi kan man faktisk tillade sig ret store sving og spring på kurven indenfor intervallet, f. eks. i fig. 1 — blot finhedsmodulen overholdes nøjagtigt — uden påviselige vanskeligheder.

Men selvfølgelig er det en forudsætning, at finhedsmodulen og dermed vandindhold holdes konstant, da ellers kvaliteten uvægerligt vil variere tilsvarende.

Har man en lavtliggende kornkurve, stor største kornstørrelse, vanskelig kornform, lille mørteloverskud og/eller begrænset komprimeringsenergi, bør der dog udvises forsigtighed, idet alle disse forhold forøger betonens følsomhed overfor ændringer i kornkurven.

Til specielle formål kan der meget vel anvendes helt diskontinuerte graderinger, altså beton bestående af blot nogle få partikelstørrelser, bl. a. f. eks. beton helt uden sand.

Som regel vil disse betoner være vanskelige at håndtere og let afblande, hvorfor de i almindelighed ikke kan tilrådes.

SAMMENHÆNGEN MELLEM KORNBURVE OG VANDBEHOV

Næst efter cementmængden er vandmængden langt den vigtigste størrelse at tage i betragtning ved betonsammensætning. Under normale støbeforhold, og hvor betonen beskyttes godt imod udtørring efter støb-

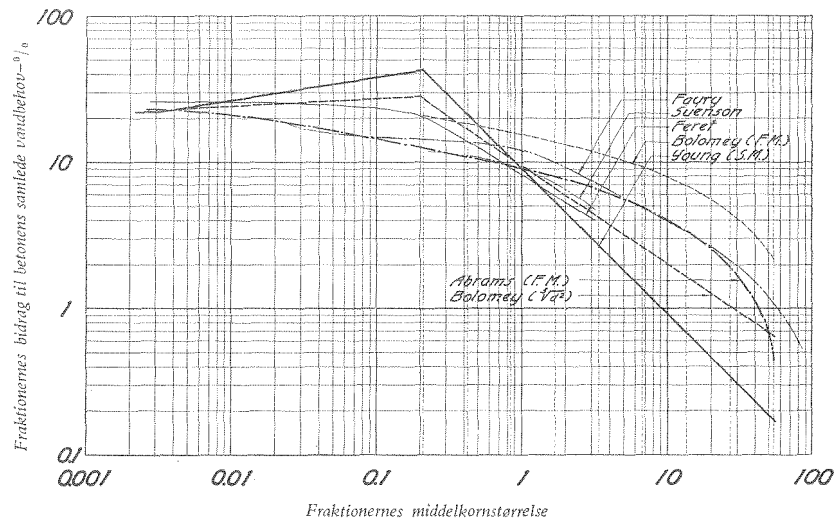


Fig. 8. Sammenhængen mellem fraktionernes middeldiameter og disses bidrag til betonens samlede vandbehov som angivet af forskellige autoriteter.

ningen, vil der som regel altid være tilstrækkeligt vand til, at cementen kan hærde og betonen opnå sin styrke, idet den vandmængde, der kræves for at give betonen en passende konsistens, som regel er $1\frac{1}{2}$ -2 gange så stor. Det vil derfor forstås, at fastsættelsen af vandmængden i praksis udelukkende sker under hensyn til opnåelse af en passende konsistens. For at betonen skal være støbelig kræves der, dels at samtlige tørstoffers overflader skal være overtrukket med en tynd vandhinde, dels at størstedelen af porerne mellem kornene skal være vandfyldte. Kornoverfladen og poremellemrummet varierer ret kraftigt med kornenes størrelse, men som det fremgår af fig. 8, der viser sammenhængen mellem de enkelte kornstørrelser og disses vandbehov bestemt af syv forskellige forskere,

er der dog en klar systematisk sammenhæng. Af figuren kan udledes følgende tabel:

Tabel 4.

64/32	mm korn kræver ca.	1 kg vand pr. 100 kg
32/16	» » » »	2 » » » »
16/8	» » » »	3 » » » »
8/4	» » » »	4 » » » »
4/2	» » » »	6 » » » »
2/1	» » » »	8 » » » »
1/0,5	» » » »	10 » » » »
0,5/0,25	» » » »	14 » » » »
0,25/0,125	» » » »	18 » » » »
Cement	» » » »	24 » » » »

Når man kender de vægtmængder af de forskellige kornstørrelser, der indgår i en m^3 eller en blanding, kan vandbehovet beregnes ved hjælp af værdierne i ovenstående tabel.

Sætmål - cm

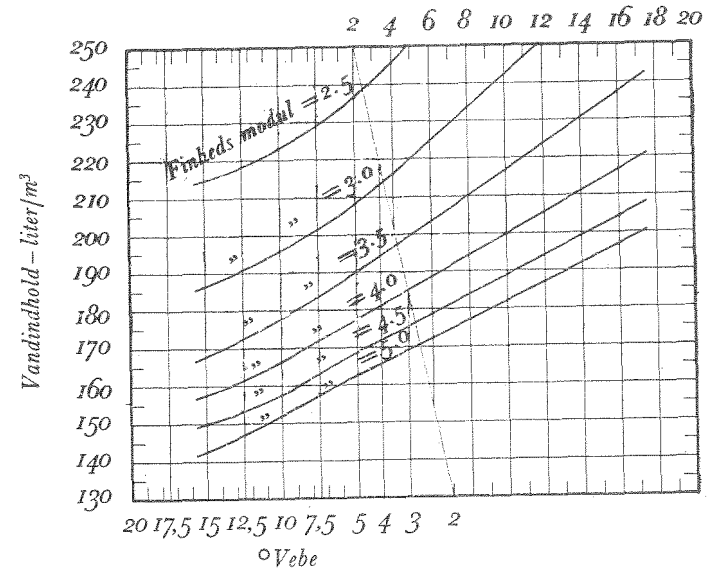


Fig. 9. Sammenhængen mellem Betonkornkurvens Finheds Modul FM_B , konsistens og vandbehov.

Fremgangsmåden er imidlertid oftest for omstændelig, hvorfor man i praksis som regel udnytter det forhold, at vandmængden på simpel måde er afhængig af betonkornkurvens F.M. Afhængigheden fremgår f. eks. af fig. 9, der svarer til middelgod kornform.

Ved brug af fig. 9 findes f. eks., at beton sammensat efter græsekornkurverne i fig. 2, svarende til 32 mm største kornstørrelse, der har F.M. = 4,41 for f. eks. 7,5 cm sætmål kræver ca. 184 liter vand pr. m³.

Figur 9 gælder som angivet kun for middelgod kornform. Er kornformen bedre, kræves mindre vand, og er den dårligere, kræves mere vand. Dette skyldes, at både overfladen og ganske særligt poremellemrummene er væsentlig større for de kantede end for de runde korn. Forskellen fra allerbedste til dårligste tilladelige kornform svarer til ikke mindre end ca. 25% vand, hvilket vil sige, at de i fig. 9 fundne vandmængder skal korrigeres indtil ca. 10-12% ned eller op, eftersom kornformen varierer.

Hvor ikke særlige forhold taler derimod, bør man helst anvende runde korn, idet den ekstra vandmængde, der tilsættes på grund af dårlig korn-

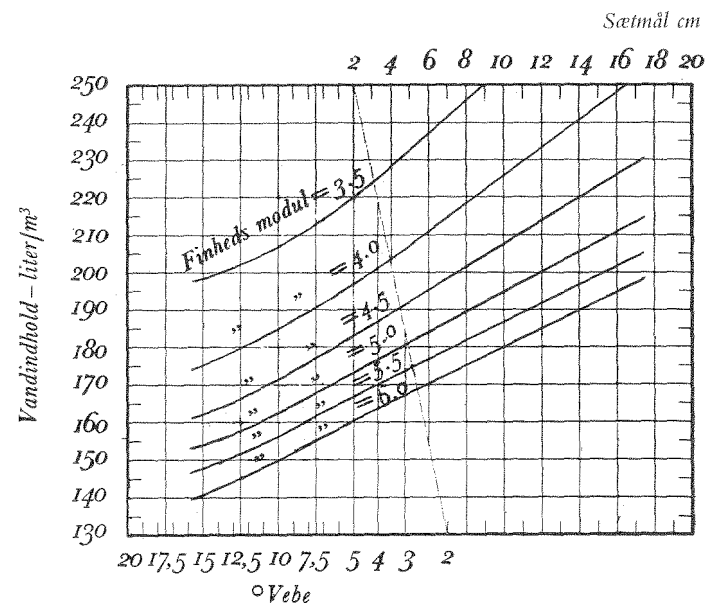


Fig. 10. Sammenhængen mellem Gruskornkurvens Finheds Modul FM_G , konsistens og betonens vandbehov.

form (og som ikke kan udnyttes af cementen), efter hærningen blot vil fordampe og efterlade porer i betonen, hvilket forringer dens kvalitet.

Kender man alene gruskornkurven, kan vandbehovet også med tilnærmelse skønnes ud fra dennes finheds modul ved anvendelse af en figur som f. eks. fig. 10, der er konstrueret ud fra fig. 9 under forudsætning af et vist middel cementindhold.

Da netop cementen, som det f. eks. fremgår af tabel 4, lægger beslag på det meste vand, vil det forstås, at det ovennævnte skøn vedr. cementindholdet medfører større usikkerhed på kurverne i fig. 10 end i fig. 9.

Iøvrigt advares mod de misforståelser og fejltagelser, der kan fremkomme ved at bruge fig. 9 og fig. 10 i flæng.

SAMMENHÆNGEN MELLEM KORNFORM OG VANDBEHOV BEDØMMELSE AF KORNFORMEN

Stenene

Hvis kornenes mindste udstrækning, tykkelsen, kaldes a , deres (herpå som regel vinkelrette) største bredde for b og endelig længden for c , vil det ses, at det eneste fællespræg kornene i en enkelt gruppe, der er udskilt ved sigtning, har, er bredden b , medens tykkelsen a kan svinde ind imod 0, og c kan vokse imod det uendelige uden indvirkning på sigteresultatet.

For at give den bedst mulige støbelighed bør grusets enkelte korn og sten være så nær kugleformede som muligt, d.v.s. $a = b = c$. Dette er naturligvis ikke altid opnåeligt, og man vil almindeligvis også kunne klare sig, selv om kornenes mindste tykkelse kun er halv så stor som middelbredden, d.v.s. $a/b = 0,5$, og kornenes største længde er dobbel så stor som middelbredden, d.v.s. $c/b = 2,0$, hvorimod fladere eller mere aflange korn ikke bør forekomme ved betonstøbning, da de giver en for ringe støbelighed.

Bestemmelsen af kornformen kan kun foretages for een kornstørrelsesgruppe ad gangen. Dette har også den praktiske fordel, at man kan konstatere, om de dårligst formede korn findes inden for en bestemt størrelsesorden og så få disse udskiftet.

Drejer det sig f. eks. om størrelsesgruppen 8-16 mm, er fremgangsmåden følgende:

$$\text{Middelbredden } b \text{ bestemmes som: } \frac{8+16}{2} = 12 \text{ mm.}$$

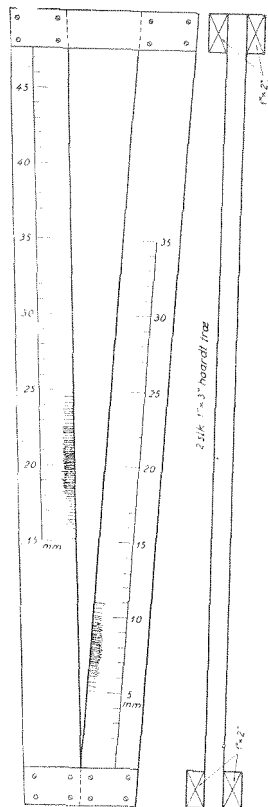


Fig. 11. Målespalte til bestemmelse af største og mindste udstrækning af sten-korn. Spaltens åbning skal være 1:10. Til måling af større korn kan fremstilles lignende større spalter.

De med kridt indtegnede 2.100 mærker hidrører fra en måling. Middeltallene af største og mindste dimension kan med ret stor sikkerhed skønnes til henholdsvis 20 og 8 mm.

På 100 tilfældigt udtagne sten måles mindste tykkelse a og største længde c . Dette kan hurtigt ske ved successiv nedføring af hvert enkelt korn i den på fig. 11 viste v-formede spalte; først på »tværs«, så de når så kort ned som muligt, og så på den smalleste led, så de når så langt ned som muligt. Hvor hvert enkelt korn stopper, sættes først til venstre og så til højre en kridtstreg. Når alle 2×100 mærker er anbragt, vil deres middelværdi som regel kunne skønnes pr. øjemål, og hvor dette ikke findes tilstrækkelig nøjagtigt, kan de til hver kridtstreg svarende værdier opnoteres, og middelværdierne beregnes. Lad os f. eks. antage, at middelværdierne er: $a = 8$ mm og $c = 20$ mm. Herved findes forholdene a/b og c/b til henholdsvis $8/12 =$

$0,67$ og $20/12 = 1,67$, d. v. s. at kornformen er anvendelig, idet $a/b > 0,50$ og $c/b < 2,0$.

Sandet

Det er på teknikkens nuværende stadi ikke muligt at angive simple metoder til klassifikation af sands kornform, og praktikerne må derfor indtil videre nøjes med den vurdering af kornformen, som iøvrigt ikke er så dårlig endda, der kan fås ved betragtning og beføling af sand, når man i et tyndt lag spreder det udover håndfladen.

Man vil på denne måde med rimelig sikkerhed kunne adskille følgende kornformer:

Tabel 5.

- | | |
|----------------------------|----------------------------|
| 1) afrundede - kuglerunde, | 3) skarpkantede - kubiske, |
| 2) » - aflange, | 4) » - aflange. |

BESTEMMELSE AF KORNFØRMENS INDFLYDELSE PÅ BETONENS VANDBEHOV

De i fig. 9 og 10 angivne vandbehov svarer som anført til middelgod kornform. Er kornformen en anden, vil man af tabel 6 kunne aflæse stenformens indflydelse og af tabel 7 sandformens indflydelse.

Tabel 6.

Stenkorrektionskoefficienter for vandbehov	a/b						
	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	
c/b	1,00	1,06	1,01	0,97	0,94	0,92	0,91
	1,2	1,07	1,02	0,98	0,95	0,93	0,92
	1,4	1,09	1,04	1,00	0,97	0,95	0,94
	1,6	1,11	1,06	1,02	0,99	0,97	0,96
	1,8	1,14	1,09	1,05	1,02	1,00	0,99
	2,0	1,17	1,12	1,08	1,05	1,03	1,02

For korn med afrundede kanter (sømaterialer) reduceres disse værdier ca. 2 pct., medens de for sten med helt skarpe kanter (knuste) forøges med ca. 2 pct.

Tabel 7.

Afrundede	–	kugleformede	: 0,90
Skarpkantede	–	kubiske	: 0,95
Afrundede	–	aflange	: 1,00
Skarpkantede	–	aflange	: 1,10.

I det ovennævnte eksempel med $a/b = 0,67$ og $c/b = 1,67$ findes stenkorrektionskoefficienten til 1,04, og hvis det drejer sig om skarpkantede-kubiske sandkorn, findes sandkorrektionskoefficienten til = 0,95, d. v. s. i middeltal¹⁾ er for alt gruset:

$$\frac{1}{2} \cdot (1,04 + 0,95) \approx 1,00,$$

således at fig. 9 og 10's værdier i dette tilfælde kan anvendes uden korrektion.

SAMMENHÆNGEN MELLEM SANDETS VOLUMEN OG FUGTIGHEDSINDHOLD

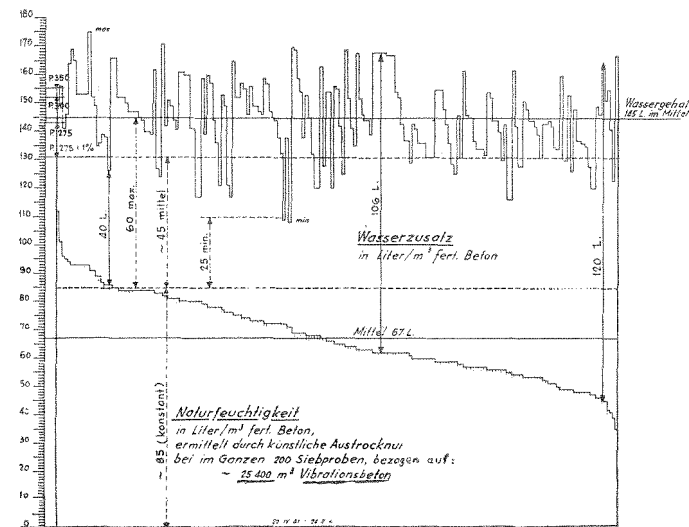
Det vand, der indgår i betonen, kommer fra to forskellige »kilder«, nemlig dels det, der tilsættes ved blandemaskinen, og som almindeligvis udgør 50–75% af hele mængden, dels det, der findes i sandet, og som normalt udgør ikke mindre end 25–50% af totalmængden.

Måske vil en og anden betvivle rigtigheden af disse procenter, og jeg vil derfor som støtte for mit standpunkt gerne vise fig. 12, som jeg har modtaget fra en stor byggeplads i Schweiz. Som det ses, anvendtes vibrationsbeton med et totalt middelvandbehov på 145 l/m³. Heraf var fra 112–35 l/m³ (i middel 67 l/m³ eller 46%) indeholdt i sandet, og den frie vandtilsætning svingede mellem 40 og 120 l/m³ med en middelværdi på 78 l/m³ eller 54%.

Det ses af disse tal, at der er al grund til at ofre den vandmængde, der findes i sand, opmærksomhed, og denne opmærksomhed bliver ikke mindre, når det erindres, at sandets volumen varierer meget kraftigt med vandindholdet — smlg. fig. 13 — således at der hver gang fugtighedsprocenten ændres, må afvejes en anden sandmængde.

¹⁾ Uanset den mindre sand- end stenmængde i gruset indgår de to koefficienter med samme vægt i formlen på grund af sandets større vandbehov.

Fig. 12. Resultater fra undersøgelse af det faktiske vandindhold i 200 betonblandinger. Forneden er ved en stadig faldende trapelinie angivet vandindholdet i sandet. Foroven angiver „sky-skraber“-linien betonens samlede vandindhold. Meddelt af ing. O. F. Ebbell, Basel.



Når man kender sit sand og dets svelningskurve, kan denne sandkorrektion iværksættes f. eks. ved hjælp af en tabel som nedenstående.

Tabel 8.

Det frie støbevand til en blanding skal reduceres — l	% fugtighed i sandet							
	1	2	3	4	5	6	7	
% fugtighed i stenene	1	6	9	11	13	16	18	20
	2	9	12	14	16	19	21	23
	3	13	18	18	20	23	25	27
Samtidig bliver den virkelige sandmængde at afmåle til en blanding — l								
	145	152	159	164	175	180	186	

Det bemærkes dels, at denne tabel kun gælder under bestemte forudsætninger og altså må regnes ud i hvert nyt tilfælde, dels at de store variationer i vandreduktion: 6–27 l samt i sandmængden: 145–186 l tydeligt illustrerer betydningen af, at disse korrektioner foretages omhyggeligt.

Forud for anvendelsen af enhver ny sandsort bør man foretage en bestemmelse af sandets svelningskurve f. eks. således:

Godt 2 liter grus henstilles i et par timer oversvømmet med vand og tørres derefter omhyggeligt ved udbredning i et tyndt lag, til overfladefugtigheden netop er forsvundet, d. v. s. at gruset er i en sådan tilstand, at det, hvis det blandes i beton, netop hverken suger frit støbevand til sig eller selv afgiver vand til dette. I denne tilstand fyldes det i 3 lag i et 2000 cm³ måleglas, og hvert lag komprimeres med 25 slag af et 50 cm langt rundjern 7 mm. Efter komprimeringen afrettes overfladen med en dertil indrettet skraber, og rumfanget aflæses og opnoteres.

Herefter tilsættes 2 pct., d. v. s. 40 cm³ vand.

Tilsætningen skal ske med højst 10 cm³ ad gangen og under kraftig omrøring. Når tilsætning og omrøring er tilendebragt, komprimeres betonen med 50 stød af stamperen, og efter afretning af overfladen aflæses volumenet.

Nu tilsættes atter 2 pct. = 40 cm³ vand og så fremdeles ialt indtil 10 pct.

Sluttelig undersøges fugtigheden i sandet for kontrol, f. eks. ved indampning af 1 kg til netop overfladetør tilstand på en pande over en primus. Vægttabet i gram angiver direkte fugtighedsforholdet i promille.

Findes f. eks. på grund af fordampning kun et vandindhold på 9 pct., formindskes alle værdierne 2, 4, 6 og 8 til 9/10 af disse værdier, d. v. s. 1,8, 3,6, 5,4, og 7,2 pct.

Resultaterne af forsøget optegnes i et diagram som fig. 13.

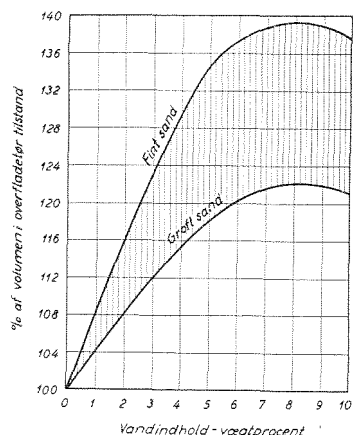


Fig. 13. Sammenhængen mellem sands vandindhold og svelning.

Den friske betons egenskaber.

BEARBEJDELIGHED

Som betegnelsen »bearbejdelighed« almindeligvis anvendes, dækker den over en mangfoldighed af egenskaber, der kun for en overfladisk betragtning er ens.

For at skabe ensartede forhold må der derfor indføres mere præcise definitioner, og i den anledning anvendes der her følgende betegnelser:

Konsistens: hvormed menes den indre egenskab hos betonen, der måles f. eks. ved sætmål, og som udelukkende er afhængig af betonens sammensætning, og

Kompakthed: hvorved menes forholdet mellem det samlede absolutte volumen af alle betonens bestanddele og betonens ydre rumfang, og som afhænger af såvel konsistensen som udstøbningsmodstanden (d. v. s. formens snæverhed og armeringens tæthed) og komprimeringsmetoden. Er der f. eks. 3 pct. porer i betonen er dens kompakthed 0,97.

Det vil heraf være klart, at der, afhængigt af udstøbningsmodstand og komprimeringsmåde kræves helt forskellige konsistenser for at opnå en given kompakthed, og fastlæggelse af den til givne omstændigheder svarende »bearbejdelighed« må derfor foregå i to trin:

- 1) Valg af kompakthed.
- 2) Hermed overensstemmende valg af konsistens.

KOMPAKTHED

Med hensyn til kompaktheden foretages der kun sjældent en rationel bestemmelse. Almindeligvis må kompaktheden lige efter komprimeringen ikke være mindre end ca. 0,97, og efter det overflødige vands fordampning ikke mindre end ca. 0,90.

Når de ydre omstændigheder såsom formens snæverhed, armeringens tæthed og komprimeringsmetoden er fastlagte, bør man foretage forsøg med forskellige konsistenser (sætmål eller vebe) for at bestemme hvilken, der under disse forhold giver den ønskede kompakthed. Almindeligvis bliver dette dog for omstændeligt, og den erfarne formand kan da som regel også, når kornkurven ikke afviger alt for meget fra det normale,

med nogenlunde sikkerhed på øjemål afgøre hvilken konsistens, der passer til de foreliggende forhold.

Til støtte for denne afgørelse findes i normerne (DS 411) side 18 en tabel, der angiver en skønmæssig sammenhæng mellem konstruktionens art, komprimeringsmåde og konsistensen.

Tabellen skulle under middelforhold nogenlunde tilsikre, at der opnås en kompakthed på mindst 0,97, men da den ikke tager hensyn til den indflydelse, kornkurvens beliggenhed og kornformen har på sammenhængen mellem konsistens og kompakthed, vil det forstås, at man ikke under alle forhold kan være sikker på, at den således valgte konsistens giver den ønskede kompakthed.

Drejer det sig om større arbejder, bør man derfor ved forsøg i en typisk forskalling foretage en direkte bestemmelse af kompaktheden.

KONSISTENS

Sammenhængen mellem konsistens, kornkurvens beliggenhed (udtrykt ved FM) og vandbehovet fremgår af de allerede viste figurer 9 og 10. Når sæt målet er fastlagt, gælder det om under proportioneringen at sammensætte betonen, således at dette overholdes med den mindst mulige vandmængde.

Det fremgår af fig. 9 og 10, at man for en given konsistens får den mindst mulige vandmængde ved at anvende det størst mulige FM. I henhold til f. eks. fig. 2 betyder dette, at kornkurven skal ligge så lavt som muligt, og at største kornstørrelse skal være så stor som muligt.

Med hensyn til muligheden for at sænke kornkurven må det imidlertid siges, at ganske vist falder vandbehovet, når kurven sænkes, men dette gælder kun, indtil den har nået en vis nedre grænse, der afhænger af komprimeringsmåden, og det er netop denne nedre grænse, der er udtrykt ved beliggenhederne af kurverne i fig. 2.

Har man middel-materialer, ses den laveste kornkurve for 32 mm størstekorn af fig. 2 at være en betonkornkurve med $FM = 4,41$. En sådan beton har iflg. fig. 9 et vandbehov på 184 l/m^3 . Foretager man en forsøgs-mæssig kontrol af fig. 9 med f. eks. betoner med $FM_B = 3,50, 3,75, 4,00, 4,25$ og $4,50$, vil man eksempelvis finde de fem kurver, der er vist i fig. 14.

Af disse kan en beton med $FM_B = 4,41$ og 7,5 cm sæt mål skønnes at have et vandbehov på 192 l/m^3 .

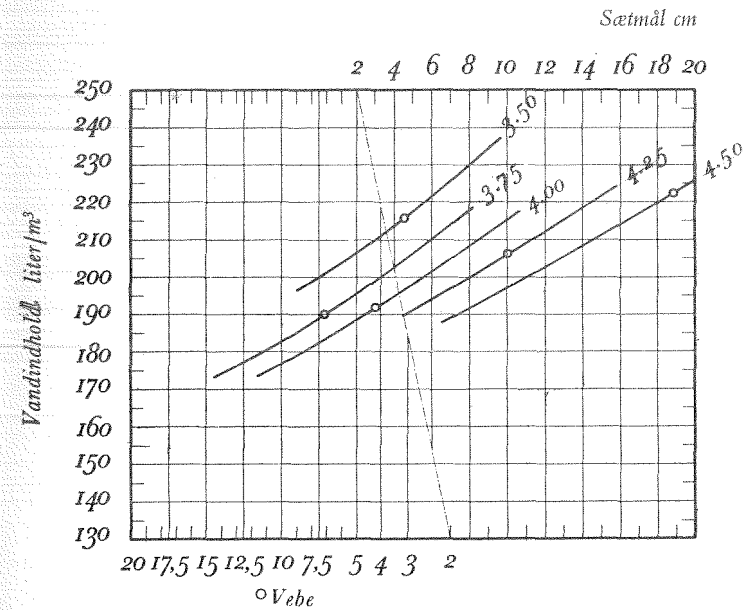


Fig. 14. Kurver fra forsøgs-mæssig bestemmelse af sammenhængen mellem kornkurve (udtrykt ved FM_B) konsistens og vandindhold. De indcirklede punkter angiver betoner med samme kompakthed. Sammenlign fig. 15.

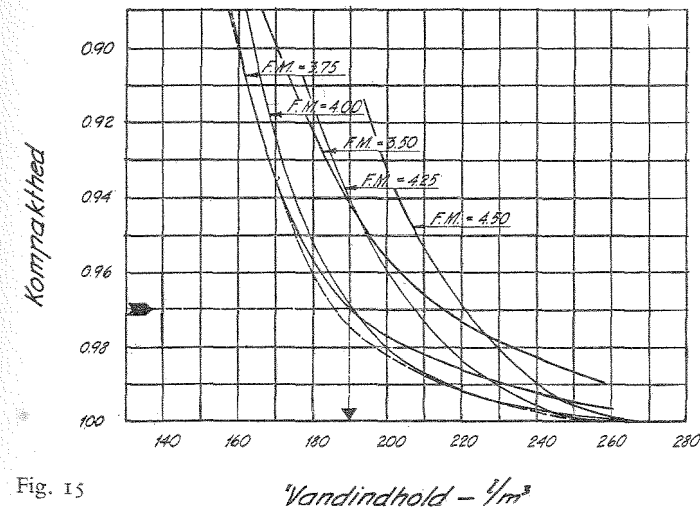


Fig. 15

Sammenhængen mellem vandindhold og kompakter for fem forskellige betoner

Som ovenfor nævnt er det imidlertid ikke altid givet, at man med denne beton får den ønskede kompaktthed, og det vil derfor i mere betydningsfulde tilfælde være rigtigt at udstrække de ovennævnte konsistensforsøg til også at omfatte en samtidig bestemmelse af kompakttheden.

Et sådant sæt forsøgsresultater ses eksempelvis gengivet i fig. 15, hvoraf ved interpolation kan udledes, at de fem betoner for sætmålet 7,5 cm vil give:

Tabel 9.

FM _B	Sætmål cm	Kompakt- hed	Vandbehov. l/m ³
3,50	7,5	0,978	228
3,75	7,5	0,985	216
4,00	7,5	0,981	207
4,25	7,5	0,957	198
4,50	7,5	0,905	191

I tabellens sidste kolonne er indført de tilsvarende vandbehov — sammenlign fig. 14.

Det fremgår af tabellen, at medens de tre første betoner giver større kompaktthed end nødvendigt, giver de to sidste for ringe. Ønsker man netop den krævede kompaktthed 0,97, findes denne på den vandrette linie 0,97 i fig. 15, hvor man for de fem betoner vil finde vandbehovene 190, 192, 207, 215 og 222 l/m³.

Ordnes resultaterne efter stigende FM_B, som i tabel 9, findes:

Tabel 10.

FM _B	Sætmål cm	Kompakt- hed	Vandbehov. l/m ³
3,50	5	0,970	215
3,75	0	0,970	190
4,00	3	0,970	192
4,25	10	0,970	207
4,50	19	0,970	222

hvoraf altså fremgår, at med de forhåndenværende materialer er den stejleste kornkurve, man kan tillade sig at anvende, når vandbehovet af hensyn til økonomien skal være minimum, den med FM_B = 3,75, og ikke som man

af de mere generelle oplysninger i normernes tabel 3 og fig. 9 og 2 kunne tro, en med FM_B = 4,41.

Man vil, om ikke før, så her indvende, at det dog var en forfærdelig omstændelig måde at komme til det mindst mulige vandbehov på. Jeg skal gerne indrømme, at det er temmelig indviklet, men det må heroverfor fastholdes, at hvis man ønsker at bevare brugen af konsistensen, kan det dårligt — hvis det skal ske helt rationelt — ske simplere. Men samtidig træder det jo klart frem, at det er netop opretholdelsen af begrebet konsistens, der komplicerer forholdene, og at man ved at gå uden om dette kan simplificere proportioneringen væsentligt, ved blot direkte at foretage kompakthedsbestemmelsen som i fig. 15.

VANDUDSKILLELSE

I den frisk udstøbt beton vil de fine partikler, der er opslemmet i vandet, langsomt synke mod bunden, medens det klare vand samles øverst, og denne proces vil med stadig aftagende hastighed fortsætte, indtil der har fundet en ret betydelig komprimering af det bundfældede sted, eller indtil processen — hvad der normalt vil være tilfældet — går i stå på grund af cementens afbinding, hvorved jo cementlimen stivner. (39 P 4).

For en given cement vil sammenhængen mellem c/v og vandudskillelsen fremgå af fig. 16.

Forsåvidt sedimentationen kan foregå uhindret som f. eks. i ren cementlim, vil den som nævnt forårsage en komprimering og altså en forbedring

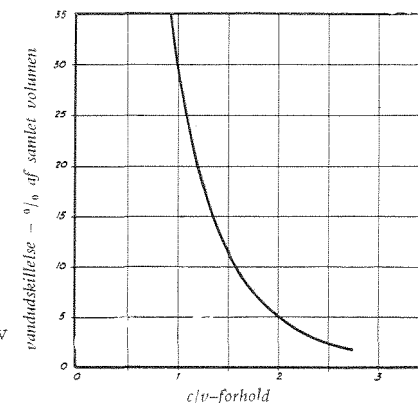


Fig. 16. Typisk sammenhæng mellem c/v og vandudskillelse.

af betonkvaliteten. I beton vil tilsætningen af gruset som regel have den virkning, at sedimentationens frie forløb vanskeliggøres, hvilket f. eks. kan iagttages ved en tydelig formindskelse af den øjensynlige vandudskillelse (og sedimentation), og resultatet vil være en forringelse af kvaliteten, idet det vand, der forhindres i at nå op til overfladen, vil danne ansamlinger på undersiden af alle større korn og armering, hvorved den indre sammenhæng og tæthed bliver brudt.

Den grafiske sammenhæng mellem en betons trykstyrke og vandudskillelse vil ses på fig. 17.

MIDLER IMOD VANDUDSKILLELSE

Ved rationel betonsammensætning må det derfor almindeligvis være målet at begrænse vandudskillelsen, og dette kan ske både ved at reducere den frie vandmængde og ved en forøgelse af partiklernes samlede overflade.

Som regel kan vandmængden ikke reduceres nævneværdigt, og hovedsagen bliver derfor at forøge mængden og/eller overfladen af de fine korn. Det vil her vise sig ulige fordelagtigere at forøge den specifikke overflade end mængden, og til orientering vedføjes følgende tabel visende den cementfinhed, der kræves ved forskellige c/v-forhold for at reducere sedimentationen til 0,000.1 cm/sec., hvilket er den værdi, der i praksis svarer til højeste tilladelige sedimentation (39 P 4) (45 S 1) (49 V 3).

Tabel 11.

c/v = 3,80	1.000 cm ² /g ¹⁾
» = 3,00	1.500 »
» = 2,40	2.000 »
» = 1,90	2.500 »

Ved de alm. anvendte cementfinheder (= 1.600–1.800 cm²/g) ses der altså at indtræde skadelig vandudskillelse ved c/v < 2,8–2,5. Sammenlign også fig. 16.

¹⁾ Der skal udtrykkelig gøres opmærksom på, at tallene i denne og de følgende tabeller svarer til de bestemte cementsorter etc., hvormed forsøgene er udført, og derfor kun kan anvendes til orientering, da afvigelserne under andre forhold kan være betydelige.

I almindelighed vil c/v være betydelig mindre, og da det af økonomiske grunde ikke af denne årsag er forsvarligt at ofre mere cement eller at finmale denne yderligere, må man se sig om efter andre meget finkornede tilslagsstoffer, »filler«, der kan begrænse vandudskillelsen.

Der eksisterer mange forskellige sådanne tilslag med finheder ned til 5.000–10.000 cm²/g, og hvilket man vil vælge afhænger af forholdet mellem pris og finhed samt naturligvis af, om »filler« et iøvrigt er kemisk egnet til at blandes i beton. Selv om det kunne være fristende fra et vandudskillelses-synspunkt, bør man være varsom med de meget fine materialer, da de i større mængder kan virke uheldigt på betonens volumen-bestandighed etc.

Til orientering kan meddeles følgende forsøgsresultater (41 T 1) over sammenhørende værdier af c/v og det fillerindhold (6.800 cm²/g), der kræves for helt at undgå vandudskillelse, samt den trykstyrkeforøgelse — for samme c/v — der opnåedes:

Tabel 12.

c/v = 2,00	0% ¹⁾ filler	
» = 1,67	30%	» + ca. 10% styrke
» = 1,25	45%	» + » 25% »
» = 1,00	55%	» + » 35% »
» = 0,85	60%	» + » 45% »

Se iøvrigt fig. 18.

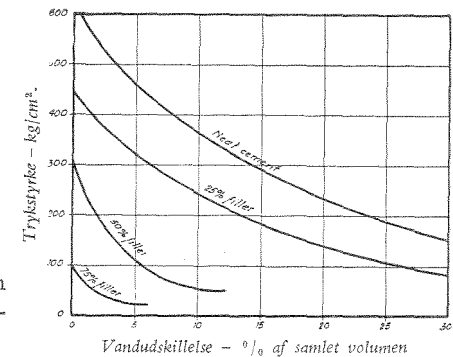


Fig. 17. Typisk sammenhæng mellem fillerindhold, vandudskillelse og trykstyrke.

¹⁾ % af cementvægten.

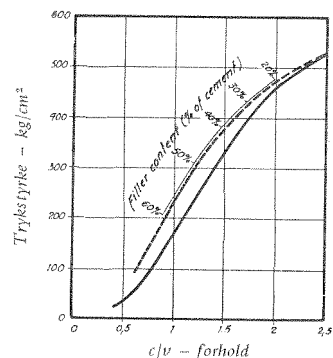


Fig. 18. Typisk illustration af fillerindholdets forbedring af styrken for konstant c/v .

For at bibeholde konsistensen må man, når der tilsættes filler, naturligvis forøge v , men når betonkornkurven holdes uforandret, bliver forøgelsen normalt kun ubetydelig. Ved de ovennævnte materialer og f. eks. 200 kg c/m^3 fandtes, som det fremgår af fig. 19 ved tilsætning af 100 kg filler/ m^3 kun en stigning i v fra 170 til 180 l/ m^3 (41 T 1).

For at holde c/v konstant kræves der altså ifølge ovenstående forsøgsresultater et merforbrug på 6% cement, eller hvis man ikke ønsker dette, vil forøgelsen af v , hvis fillerets virkning ikke medregnes, teoretisk medføre en styrketilbagegang på indtil 10%. Sammenholdt med den faktiske styrketilvækst = ca. 30% ses der altså i begge tilfælde at opnås en væsentlig bedre udnyttelse af cementen, hvilket forhold bl. a. var baggrunden for E-cementen i Sverige og S-cementen her i landet.

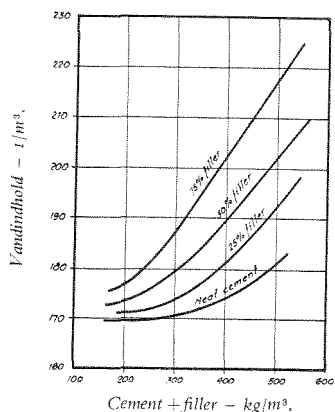


Fig. 19. Typisk sammenhæng mellem en betons vandbehov og forholdet mellem cement og filler.

For en ordens skyld skal der gøres opmærksom på, at denne tilsætning af kemisk inaktivt filler ikke må forveksles med Puzzolan-cementerne (f. eks. den danske Molér-cement), der fremstilles ved tilsætning af finmalede materialer, som imidlertid er kemisk aktive, og bl. a. bibringer betonen større modstandsdygtighed mod udvaskning og kemiske angreb. Det skal endelig påpeges, at fordelene ved tilsætning af inaktivt filler er nøje forbundet med dets pris.

Der skal i denne forbindelse gøres opmærksom på, at vaskning af støbesandet, hvorved netop partikler af fillerstørrelse fjernes, ikke er en ubetinget fordel, medmindre disse fine partikler besidder andre — for betonen skadelige — egenskaber.

BEVARING AF BETONENS HOMOGENITET

Det er ved materialernes transport og lagring vigtigt at sørge for, at der ikke foregår afblanding. Hvor materialerne glider i render, bør man derfor have opmærksomheden henvendt på, at disse er symmetriske, og at materialerne, hvor de forlader renderne, ikke af vind, inerti eller tyngdekraft bliver afblandet. Det frie fald gennem luften bør derfor reduceres til det mindst mulige, og der bør ved rendens ende anbringes en plade, der bremser materialernes fart og får dem til at falde lodret ned. Den lodrette bevægelse, der overhovedet kan være tale om ved hjælp af skrå render, bør ikke være over et par meter; er højden større, bør der anvendes helt lukkede cylindriske og nøjagtigt lodrette rør af ikke for stor diameter, men heller ikke på denne måde bør man lade materialerne falde mere end 4-5 meter. Materialerne bør transporteres således, at de udsættes for de færrest mulige stød under transporten, for bortset fra sliddet på materiellet medfører stødene en ikke ubetydelig sønderdeling af materialerne, og deraf følgende forandringer i kornsammensætningen.

Det er ikke på dette sted muligt i alle detaljer at give regler for, hvorledes afblanding under transporten modvirkes, og der skal blot i almindelighed gøres opmærksom på, at det særlig er ved omladningerne, at faren lurer. Som et eksempel skal nævnes, at hvor materialerne forlader enden af et transportbånd, må der tages ganske særlige forholdsregler bestående af en stødplade og en mindre silo, hvis ikke centrifugalkraften omhyggeligt skal sortere materialet efter kornstørrelse.

Den hærdnede betons egenskaber.

STYRKE

TRYKSTYRKE

Cement/vand-forholdet (c/v) 's betydning.

Ifølge Feret afhænger en betons trykstyrke entydigt af forholdet

$$c / (c + v + l)$$

hvor c er det absolutte cementvolumen, v og l vand- og luftporevolumenet. Afhængighedens art fremgår nærmere af fig. 20.

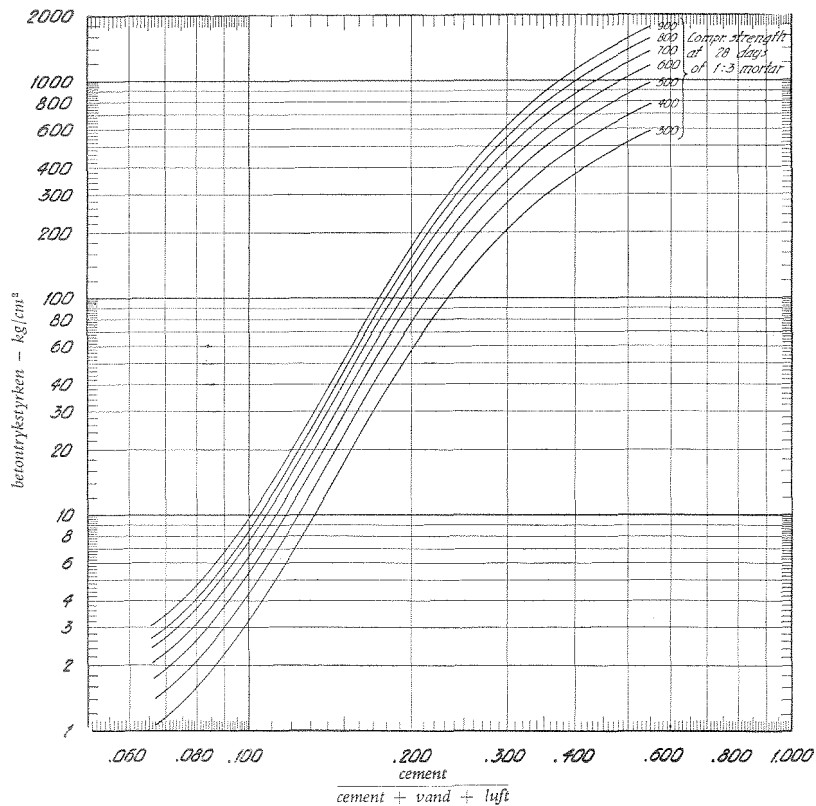


Fig. 20. Sammenhængen mellem Feret forholdet $\frac{c}{c+v+l}$ og betons trykstyrke for forskellige mørteltrykstyrker.

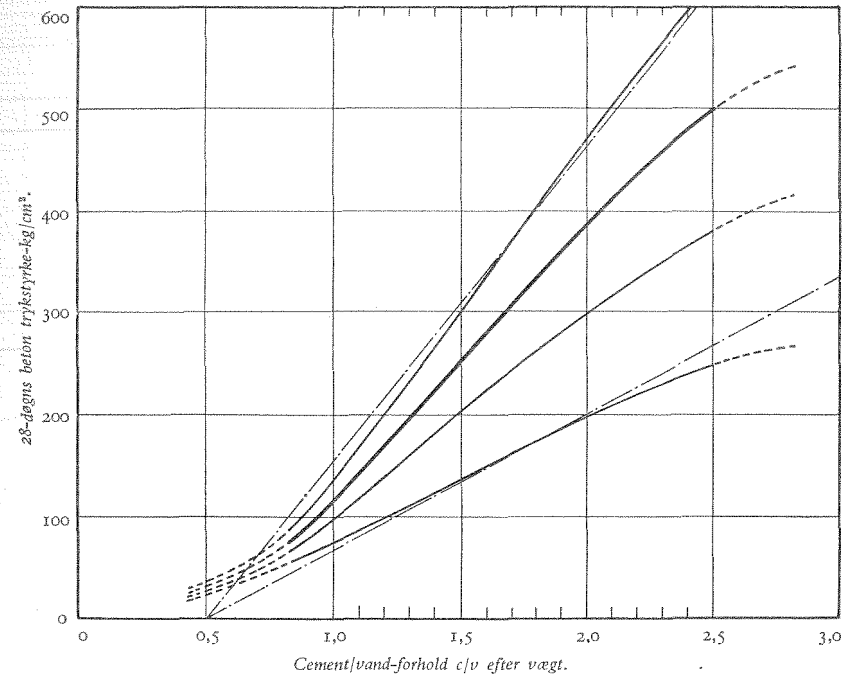


Fig. 21. Sammenhængen mellem betons trykstyrke og c/v -forhold for fire forskellige cementkvaliteter. (Den tykke kurve svarer omtrent til dansk Portlandcement). De to tynde stiplede linier angiver sammenhængen efter Bolomeys ligning:

$$\sigma = k \cdot \left(\frac{c}{v} - 0,5 \right)$$

Når en beton er ordentligt komprimeret, så mængden af luftporer er forsvindende, afhænger dens trykstyrke alene af forholdet mellem cementmængden og vandmængden samt naturligvis af cementens kvalitet.

I fig. 21 er vist sammenhængen mellem c/v -forhold og betons trykstyrke efter 28 døgns lagring ved anvendelse af forskellige cementser.

Det fremgår af figuren, at indenfor det c/v område (mellem ca. 1,5 og 2,0), hvor man normalt arbejder, stiger styrken næsten retlinet for stigende c/v -forhold, dvs. stigende cementindhold og/eller faldende vandindhold.

Eksempelvis vil det findes, at med et cementindhold på 300 kg/m^3

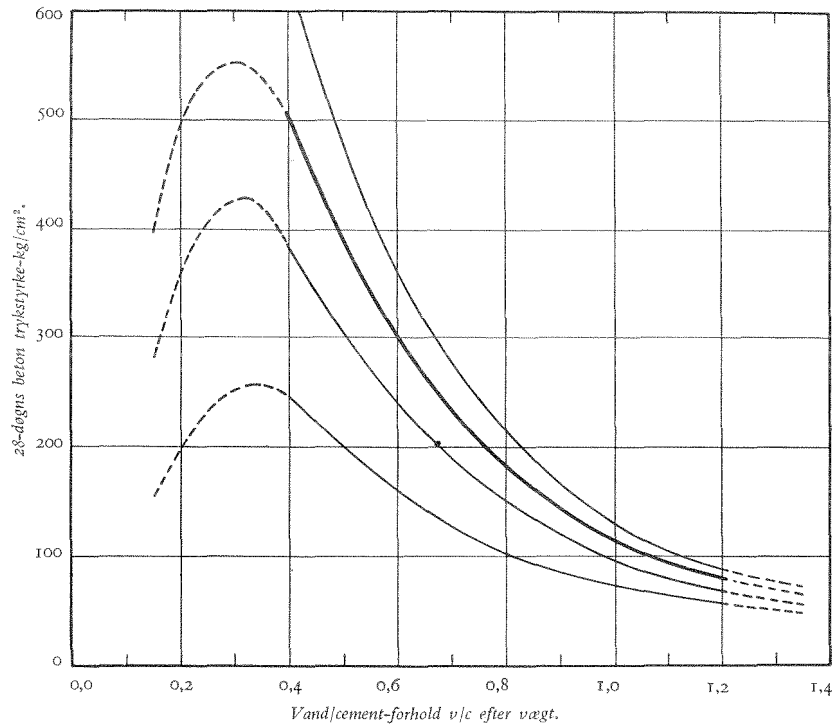


Fig. 22. Sammenhængen mellem betons trykstyrke og v/c-forhold for fire forskellige cementkvaliteter. (Den tykke kurve svarer omtrent til dansk Portlandcement).

falder 28 døgns-styrken for Portland-beton fra 385 til 250 kg/cm², når vandmængden forøges fra 150 l/m³ (c/v = 2,0) til 200 l/m³ (c/v = 1,5).

Kurverne kan med fordel anvendes til forudbestemmelse af en betons styrke ud fra c/v-forholdet, men det skal udtrykkeligt pointeres, at deres gyldighed er betinget af, at betonens konsistens er god, så kompakheden ikke bliver ringere, end kurverne forudsætter. Det skal for fuldstændighedens skyld tilføjes, at da Zielinski (09 Z 1) i 1909 opdagede, at man i almindelighed med god tilnærmelse kan se bort fra luftporerne, anvendte han det omvendte forhold: v/c til at udtrykke styrken, hvorved fremkommer de velkendte hyperbelkurver, der er vist på fig. 22. Efter fremkomsten af de næsten retlinede kurver (fig. 21), som det synes nemmere at

anvende, er der opstået megen diskussion, om man skal forlade det møjssommeligt indarbejdede v/c til fordel for c/v. (45 M 13), (49 P 20), (49 M 16), (49 M 17). Stillingen er i dag den, at man i de nye »fælles«-regler er enedes om at anvende dem begge.

Alderens (lagringstidens) betydning

Under gode lagringsforhold (d.v.s. 15–20°C og beskyttet mod fordampning) — når beton af Portland-cement allerede i løbet af ca. 3 døgn det halve af sin endelige styrke. Herefter aftager styrkeilvæksten gradvis, og efter 28 døgn regnes den at have nået fuld styrke. For så tidligt som muligt at danne sig et begreb om betonens styrke prøver man den ofte allerede efter 7 døgn. I fig. 21 angiver den næstnederste kurve de syv døgns styrker, man må kræve, for at man kan påregne de med tyk streg indtegnede 28 døgns styrker.

Kornkurvens betydning

Grusets kornkurve har ikke nogen direkte indflydelse på betonens styrke, men vil i almindelighed, hvor der ikke er tale om en beton med meget stort overskud af mørtel, have en ret betydelig indirekte indflydelse, idet variationer i kornkurven, som det tidligere er omtalt, medfører ændringer i vandindholdet og dermed som regel i c/v-forholdet, hvoraf styrken afhænger.

Når man derfor endnu af og til ser trykstyrken stillet i afhængighed til grusets kornkurve, er det altså en i og for sig korrekt, men indirekte og lidet formålstjenlig udtryksmåde.

Cementmængdens betydning

Cementmængden alene har heller ikke nogen direkte indflydelse på betonens styrke, idet denne som nævnt afhænger af c/v-forholdet. Hvis cementmængden forøges — f. eks. på grund af en ønsket større kemisk modstandsdygtighed og betonens støbelighed — hvoraf vandindholdet afhænger — holdes konstant, medfører dette naturligvis en stigning af c/v-forholdet og dermed af styrken, og det vil derfor således under givne

omstændigheder være muligt at udtrykke styrken som en funktion af cementmængden, men det vil også her forstås, at det er en indirekte og lidet formålstjenlig udtryksmåde.

TRÆKSTYRKE

Betonens trækstyrke udgør almindeligvis ca. 10 pct. af trykstyrken, og den varierer med blandingsforholdene på praktisk taget samme måde som trykstyrken. Den tillægges ofte noget mindre betydning end trykstyrken, idet man f. eks. i jernbeton regner med, at armeringen vil optage trækspændingerne. Dette synspunkt er imidlertid ganske fejlagtigt, idet en god trækstyrke er en forudsætning for, at såvel armerede som uarmerede konstruktioner ikke revner, og det må anses for et meget vigtigt formål at forhindre revnedannelse, idet revnedannelse som regel er udgangspunktet for betonens nedbrydning.

Foruden trykstyrken og trækstyrken har også forskydningsstyrken, adhæsiionsstyrken og udmattelsesstyrken interesse, men det er dog for specielt til at omtales nærmere her, det skal blot anføres, at god tryk- og trækstyrke næsten automatisk vil medføre, at de andre styrker er tilstrækkelige.

HOLDBARHED

Under betegnelsen holdbarhed er sammenfattet en lang række egenskaber som f. eks. kompaktthed, vandtæthed, kemisk modstanddygtighed, frostsikkerhed, volumenbestandighed, slidfasthed, ildfasthed og skudsikkerhed, og betonen er kun under alle forhold holdbar, hvis enhver af disse egenskaber er tilfredsstillende. I store træk er det imidlertid de samme ting, der betinger variationer i alle disse egenskaber, og det er derfor først og fremmest naturligt at redegøre for, hvorledes man sikrer sig en passende kompaktthed, idet god kompaktthed, som den afhænger af de almindelig kendte faktorer såsom f. eks. cement- og vandindhold, kornkurve og komprimeringsmåde, næsten automatisk vil medføre, at de øvrige holdbarhedsegenskaber er tilfredsstillende.

Det må for fuldstændighedens skyld lige her indskydes, at man i den allerseneste tid er begyndt at arbejde med tilsætningsmidler til betonen,

der fremkalder indtil 3-5 pct. meget fine luftporer i denne, og stik imod den klassiske teori, der dog kun hidtil har beskæftiget sig med de større porer, bevirker dette fin-porevolumen en betydelig forbedring af betonens vejrbestandighed.

I praksis medfører dette dog ingen ændringer i det klassiske krav om en så stor kompaktthed som muligt, og de efterfølgende anvisninger på at opnå dette bør og kan uden videre følges, thi forholdet er stadig det, at de større luftporer er skadelige og bør modvirkes som beskrevet, og ønsker man at gøre brug af finporer, må disse tilsættes på særlig måde. De kan ikke fremstilles ved blot at fire på de klassiske krav til kompaktthedens sikring.

KOMPAKTHEDEN

Vandindholdets betydning

Fig. 23 illustrerer sammenhængen mellem kompakttheden og vandindholdet for en given beton. Det vil ses, at for den givne komprimeringsmåde stiger den initiale kompaktthed i begyndelsen kraftigt med stigende vandindhold, derefter langsommere, og for et vandindhold, der er $1\frac{1}{2}$ -2 gange det normale, bliver den initiale kompaktthed = 1,00, d.v.s. at al luften er uddrevet. I praksis har den initiale kompaktthed dog mindre interesse, her drejer det sig om den endelige kompaktthed, d.v.s. forholdet mellem samtlige betonmaterialernes volumen, efter at det ikke kemisk bundne vand er fordampet, og betonens ydre volumen. Den endelige kompakttheds afhængighed af vandindholdet er vist ved den nedre kurve i figuren. Det vil ses, at denne udviser et udpræget maksimum — for en

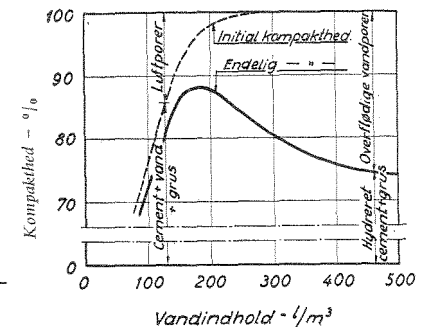


Fig. 23. Typisk sammenhæng mellem betons kompaktthed og vandindhold.

vandmængde, der ret nær svarer til den, der fås ved brug af fig. 2 og 9 — og når kurven falder brat af til venstre, skyldes det her ret store luftporevolumen, og dens fald til højre skyldes det her overflødige, senere fordampende vand.

Det vil føre for vidt her at gøre rede for, hvorledes den vandmængde, der svarer til maksimum kompakthed, bestemmes, og hvad den er afhængig af, og som nævnt er den ret nær den samme, som bestemmes af konsistens- og styrkehensyn. Kurven er blot vist for at klargøre kompakttheden og dermed holdbarhedens ømfindtlighed for variationer i vandtilsætningen.

I praksis kan man ved betonproportionering sikre sig en passende holdbarhed ved at drage omsorg for, at *c/v*-forholdet ikke bliver mindre end den værdi, der kan udledes af tabel I i DS 411.

Kornkurvens betydning

Hvis komprimeringsenergien er ubegrænset, vil kompaktheden tiltage, jo lavere kornkurven er beliggende. I praksis er der imidlertid ret snævre grænser for den energi, der kan anvendes på komprimeringen, og resultatet bliver derfor, at kornkurven, som allerede erkendt af Fuller og senere motiveret af Weymouth (se side 22), kun kan sænkes til et vist niveau, idet en yderligere sænkning af kornkurven, hvortil svarer, at materialet bliver for groft og »stridt«, med den begrænsede energimængde blot vil føre til, at materialerne lejres løst og uordentligt. Vedrørende en praktisk anvendelig grænse henvises til fig. 1, der indeholder intervaller svarende til almindelig håndkomprimering, og i forbindelse med hvilke det allerede er nævnt, at anvendelse af mere effektiv komprimering, f. eks. vibrering, vil medføre en sænkning af intervallerne.

Vandtæthed

Ved udførelse af vandtæt beton skal man særlig iagttage:

- 1) at betonen bliver så kompakt som muligt,
- 2) at betonen ikke svinder og revner straks efter støbningen, og
- 3) at alle fuger udføres med størst mulig omhu.

Vedrørende størst mulig kompakthed henvises til det på foregående side

sagte. Det gælder særligt om, at eventuelle porer er små, idet små porer fører relativt meget mindre vand end store, og at porerne ikke står i forbindelse med hinanden.

Man bør ikke, som det tidligere har været forsøgt, tilsætte betonen særlig store mængder cement eller filler, idet dette kan skade volumenbestandigheden og frostbestandigheden. Der bør arbejdes med størst muligt *c/v*-forhold, og *c/v* bør, hvis der anvendes alm. Portland-cement, under ingen omstændigheder være under 1,5–1,6. Ved udstøbningen bør inhomogenitet og stenreder med megen omhu undgås, og komprimeringsenergien bør være så stor som muligt.

For at undgå svind og revnedannelse lige efter støbningen må beton, der skal være vandtæt, våd-lagres særlig omhyggeligt. For de almindelige *c/v*-forhold, der anvendes i praksis, kan vådlagret beton være to–tre gange så tæt som tør lagret beton.

Kemisk modstandsdygtighed

Betons holdbarhed overfor kemiske vædske er meget forskellig, men efterfølgende tabel giver en nogenlunde anskuelig fremstilling af forholdene.

Tabel 13.

Angreb af:	Virkning
Ajle, urin	0–1
Benzin, petroleum og olie	0
Fiskeolie og talg	1
Gips	3
Havvand	1
Humussyre	1
Mælk	0–1
Natrium- og kalciumhydroxyd	2
Salmiak	1
Salt	0–1
Soda	0–1
Sprit	0
Sukkeropløsning	2
Syrer: uorganiske	3
» » organiske	1–2
Tjære og karbolineum	0–1
Uorganiske salte	1–2
Vandglas	0

0 betyder intet angreb, 1 lettere angreb, 2 middelsvært angreb og 3 fuldstændig ødelæggelse.

Til beskyttelse imod disse angreb gælder det først og fremmest om at have en tæt og cementrig beton.

Ønsker man en virkelig effektiv beskyttelse, må betonens overflade bestryges eller beklædes med midler, der ikke angribes. Eksempelvis skal her — ordnet efter voldsomheden af det angreb, der skal modstås — nævnes: Fluoatering, vandglas, linolie, harpiks, fernis, bitumen og beg, tegl, glas og bly.

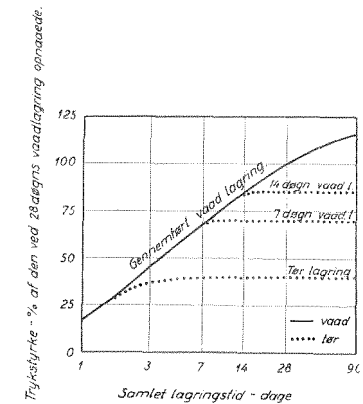
VÅD-LAGRING

Når betonen er færdigkomprimeret, bør den i en periode, indtil den nødvendige styrke er nået, beskyttes mod udtørring, og hvor det er tvivlsomt, om dette kan gøres helt effektivt, tilføres fugtighed. Denne våd-lagring er nødvendig:

- 1) fordi cementens hærdning og dermed styrkeudviklingen er betinget af, at den nødvendige vandmængde er til stede, der henvises i denne forbindelse til fig. 24, der viser styrkens forløb med alderen under forskellige lagringsformer. Det fremgår helt klart af denne figur, at en afbrydelse af våd-lagringen efter få dages forløb medfører en betydelig reduktion af den endelige styrke, samt at våd-lagringen med fordel kan fortsættes i adskillige uger,
- 2) fordi betonen, hvis man straks tillader udtørring, vil svinde indtil 3 cm pr. 10 m, hvilket svind kan få højst ubehagelige følger og kan imødegås ved våd-lagringen, der medfører en modsvarende udvidelse,
- 3) fordi lufttørringssvindet ikke må sætte ind, før betonen har nået en sådan trækstyrke, at den ikke revner p.g.a. svindspændingerne. Enhver, der har betragtet beton, kender det system af fine revner, en dårligt lagret betonoverflade udviser, og som er en sikker forløber for forvitring.

Det er vanskeligt at angive nøjagtige varigheder for våd-lagringen, idet denne jo afhænger kraftigt af de klimatiske forhold og af det resultat, man

Fig. 24. Betonstyrkens afhængighed af våd-lagringens varighed.



ønsker at opnå fra et økonomisk og et holdbarheds synspunkt, men det kan derimod med sikkerhed siges, at den hidtidige praksis for våd-lagringens varighed med fordel kan revideres fuldstændigt, hvilket klart turde fremgå ved betragtning af fig. 24.

Våd-lagring udføres i praksis på 2 principielt forskellige måder, nemlig enten derved at betonen vandes med længere eller kortere mellemrum og i mellemtiden beskyttes nødtørftigst mod fordampning med stråmætter, et tyndt sandlag og lignende, eller derved at betonoverfladen forsegles med en membran, der umuliggør fordampning; denne sidste metode praktiseres derved, at betonen enten overtrækkes med vandtæt papir, der klæbes i overlapingerne, eller derved at betonen snarest muligt efter komprimeringen påsprøjtes en hinde af asfalt eller lignende, der ved omhyggelig udførelse så godt som fuldstændigt og i hvert fald tilstrækkeligt er i stand til at hindre fordampningen. Disse påsprøjtningmidler, der nu er ved at vinde indpas herhjemme, udføres også i lyse farver og enkelte endda således, at de en månedstid efter påsprøjtningen under vejrligets indflydelse af sig selv skaller af igen.

Litteratur

De i litteraturfortegnelsen foran artiklen stående numre refererer til *Statens Byggeforskningsinstituts* kartotek over betonlitteratur.

- 07 F 1 The Laws of Proportioning Concrete. W. B. Fuller and S. E. Thompson. Proc. A. S. C. E. 1907. Vol. XXXIII. Papers and Discussions. Vol. No. III. Pages 222-298.
- 09 Z 1 Die Entwicklung der Erhärtung der Roman- und Portlandzemente im Brei, im Mörtel und im Beton. Constantin Zielinszki. I.A.T.M. Kongres København 1909. Paper no X 12, 54 sider.
- 18 A 1 Design of Concrete Mixtures. Duff. A. Abrams. Bull. No. 1. Struc. Mat. Research Lab. Lewis Inst. Chicago. Dec. 1918.
- 23 T 1 The strength of concrete, its relation to the cement, aggregates and water. Talbot and Richart. Bulletin 137. Eng. Experiment Station. University of Ill. Urbana. October 1923.
- 25 B 1 Détermination de la résistance à la compression des mortiers et bétons. J. Bolomey. Bulletin technique de la Suisse romande. 1925. No. 11, 14, 15 and 17. (Translated in German in: Schweizerische Bauzeitung, July 1926. Band 88).
- 27 L 1 Le béton rationnel. J. Leclerc du Sablon. Ann. des Ponts et Chaussées. Paris 1927. Vol. 97. 1^{er} partie No. 8. Pages 149-212.
- 30 A 1 Om Relationen mellem Kornsammensætning og Mellemrum i Produkter af løse Korn. A. H. M. Andreasen and Johs. Andersen. Ingeniøren. Copenhagen, 1930. No. 9. Pages 99-107.
- 33 W 4 Effect of Particle Interference in Mortars and Concretes. C. A. G. Weymouth. Rock Products. February 1933. Page 26.
- 38 G 2 Stress strain Characteristics of mortars and concretes. H. J. Gilkey and G. Murphy. Proc. ASTM. Philadelphia 1938. Vol. 38, Part I. Pages 318-326.

- 38 G 3 The grading of aggregates and workability of concrete. W. H. Glanville, A. R. Collins and D. D. Mathews. Dept. of scientific and ind. research and ministry of transport. Road Research techn. paper No. 5. London H. M. S. O. 1938.
- 38 W 2 Designing Workable Concrete. C. A. G. Weymouth. Eng. N. R. New York, Dec. 1938. Vol. 121. Page 818.
- 39 H 3 Das Beton A. B. C. A. Hummel. 3rd. Edition. Berlin 1939. (Chem. Lab. für Tonindustrie).
- 39 P 4 The Bleeding of Portland Cement Paste, Mortar and Concrete. T. C. Powers. Proc. A. C. I. Detroit, June 1939. Vol. 35. Pages 465 and 480-1.
- 40 D 1 The application of some of the Newer Concepts to the Design of Concrete Mixes. W. M. Dunagan. Proc. A. C. I. Detroit, June 1940. Vol. 36. Page 649.
- 41 - 3 Betongtekniska Anvisningar.
No. 1. Almänna anvisningar för betonggjutning.
- 2. Betonggjutning vintertid.
- 3. Proportionering av betong.
- 4. Betongkontroll.
- 5. E-cement-betong.
- Statens Industri-Kommission, betongtekniska byrån. Stockholm 1941. (Seelig & Co.).
- 41 T 1 Om vattenseparation och fillerverkan i betong. L. Themner and B. Bouvin. Betong. Stockholm 1941. Häft 4. Page 277.
- 42 F 2 Le béton. J. Faury. Paris, 1942. (Dunod).
- 42 L 1 Zur Frage der praktischen Bedeutung der vollkommenen Frischbetonverdichtung. H. Lenhard. Zement. Berlin, March 1942. Heft 11/12 and 13/14. Pages 123 and 143. With comments by W. Kronsbein, June 1942, Heft 23/34, Page 253, and by G. H. Klinkmann, July 1942. Heft 27/28, Page 310.
- 45 M 8 Et internationalt Grovhedstal. Erik V. Meyer. Ingeniøren. Copenhagen, September the 22nd 1945. Vol. 54. No. 30. Pages B. 95-B. 96.
- 45 M 13 Vattencementtal eller cementvattental. Harald Møller. Stockholms Tekniska Instituts tidning. 1. aargang. Nr. 3. Side 7-11. Stockholm dec. 45.

- 45 S 1 Further Studies of the Bleeding of Portland Cement Paste. H. H. Steinour. Portl. Cem. Ass. Bulletin No. 4. Chicago, December 1945. 88 pages.
- 49 M 16 Från vattencementtal til cementvattental. Harald Möller. Byggnadsvärlden. 40. aarg. Nr. 43. Side 389-91. Stockholm okt. 49.
- 49 M 17 Bør vi anvende v/c -forholdet eller c/v -forholdet. Erik V. Meyer. Ingeniøren. 58. aarg. Nr. 49. Side 979-80. København dec. 49.
- 49 P 20 Bør vi anvende v/c -forholdet eller c/v -forholdet. Niels M. Plum. Beton og Jernbeton. 1. aarg. Nr. 2. Side 48-60. København sept. 49.
- 49 V 3 The direct and continuous measurement of bleeding in portland cement-water mixtures. Rudolph C. Valore jr., James E. Bowling and R. L. Blaine. ASTM. Philadelphia, 1949. Reprint. No. 44. 18 pages. With 7 references to literature.
- 50 P 2 The predetermination of water requirement and optimum grading of concrete under various conditions. Niels M. Plum. The Danish National Institute of Building Research. Building Research Studies No. 3. Copenhagen, 1950. 96 pages. With 173 references to literature.

Betonegenskabernes afhængighed af materialernes sammensætning og disses indbyrdes afhængighed

Materialernes indbyrdes afhængighed	13
Definitioner	13
Kornstørrelsesfordeling (kornkurve)	14
Gruskornkurven	14
Betonkornkurven	16
Kornkurvens optimale beliggenhed	19
Fuller og Thompson	20
Weymouth	22
Andre kurvesystemer	25
Overholdelse af en given kornkurve	27
Sammenhængen mellem kornkurve og vandbehov	28
Sammenhængen mellem kornform og vandbehov	31
Bedømmelse af kornformen	31
Stenene	31
Sandet	33
Bestemmelse af kornformens indflydelse på betonens vandbehov	33
Sammenhængen mellem sandets volumen og fugtighedsindhold	34
Den friske betons egenskaber	37
Bearbejdighed	37
Kompakthed	37
Konsistens	38
Vandudskillelse	41
Midler imod vandudskillelse	42
Bevaring af betonens homogenitet	45
Den hærdnede betons egenskaber	46
Styrke	46
Trykstyrke	46
Cement/vand-forholdet (c/v)'s betydning	46
Alderens (lagringstidens) betydning	49
Kornkurvens betydning	49
Cementmængdens betydning	49
Trækstyrke	50
Holdbarhed	50
Kompakthed	51
Vandindholdets betydning	51
Kornkurvens betydning	52
Vandtæthed	52
Kemisk modstandsdygtighed	53
Våd-lagring	54
Litteratur	56

(fortsat fra omslagets 2. side)

(Anvisninger)

- Nr. 2: *Foreløbig vejledning i betonstøbning om vinteren*, udarbejdet af Dansk Ingeniørforenings arbejdsgruppe for beton og jernbeton. 1948. 83 s. A₅. Kr. 4,—.
- Nr. 3: *Akustisk regulering af gymnastiksale*, Poul Becher. 1950. 4 s. A₄. Kr. 1,—.
- Nr. 4: *Vinterbyggeriets ABC*. 1949. 16 s. A₅. (Gratis).
- Nr. 5: *Bedre varmeisolering er billigere*. 1950. 47 s. A₄. Kr. 3,—.
- Nr. 6: *Fugt i nye huse* (plakat til ophængning). 1949. A₄. Kr. 5,— pr. 100 expl.

Særtryk

af artikler i tidsskrifter o. lign., omhandlende Institutets arbejde eller forfattet af Institut tet eller dets med arbejdere. Enhedspris for alle særtryk: kr. 1,—.

- Nr. 1: *Økonomisk varmeisolering, en kortfattet oversigt*, Poul Becher. 1949. 9 s. A₄.
- Nr. 2: *Byggestandardisering*, Mogens Voltelen. 1949. 6 s. A₄.
- Nr. 3: *Luftstråler fra ventilationsåbninger*, Poul Becher. 1949. 6 s. A₄. (Udsolgt).
- Nr. 4: *Om betydningen af hurtig tildækning af beton støbt om vinteren*, Erik Rastrup. 1950. 8 s. A₅. (Udsolgt).
- Nr. 5: *Kælderydremure af Geobeton*, H. Ewaldsen. 1950. 8 s. A₅. (Udsolgt).
- Nr. 6: *Valg af cement ved betonstøbning om vinteren*, Poul Nerenst. 1950. 7 s. A₅. (Udsolgt).
- Nr. 7: *Vinterbyggeri i en provinsby og vinterbyggeri på landet*, Asger Schmelling. *Vinterbyggeri i Stockholm*, O. Gerner Hansen. 1950. 12 s. A₄.
- Nr. 8: *Er vore bygninger rationelt dimensionerede, når hensyn tages til såvel anlægs- som vedligeholdelsesomkostninger?*, Niels M. Plum. 1950. 9 s. A₄.
- Nr. 9: *Betonegenskabernes afhængighed af materialernes sammensætning*, Niels M. Plum. 1950. 45 s. A₄.
- Nr. 10: *Varmetabet gennem plane tværdelte vægge*, Poul Becher. 1950. 8 s. A₄.
- Nr. 11: *Om anvendelse af lydastighed i beton til bestemmelse af dens øvrige egenskaber*, Johs. Andersen og Poul Nerenst. 1950. 28 s. A₅.

Årsberetninger

om Institutets virksomhed og administration.

- Nr. 1 for finansåret 1947—48.
- Nr. 2 for finansåret 1948—49.

De med pris forsynede publikationer kan fås gennem boghandelen eller Teknisk Forlag, Vester Farimagsgade 31, København V.