

Forudbestemmelse af betons trykstyrke og anvendelser heraf paa byggepladser

Chr. Ostenfeldt

Tidsskrifter

BSM 1-2 Bygningsstatistiske Meddelelser

1929

FORUDBESTEMMELSE AF BETONS TRYKSTYRKE OG ANVENDELSER HERAF PAA BYGGEPLADSER.

AF *CHRISTEN OSTENFELD*,
Ingeniør i Firmaet Christiani & Nielsen.

Jærnbeton- og Betonkonstruktionerne har i Aarene efter Verdenskrigen gennemløbet en stærk Udvikling i de fleste civiliserede Lande. Aarsagerne dertil er mangfoldige.

Som en af de mest nærliggende kan nævnes de stadige Forbedringer af det teoretiske Grundlag, hvorpaa disse Konstruktioner hviler; Fremkomsten af nye Konstruktionstyper og Anvendelsen af nye statiske Virkemaader hører ind under samme Kategori.

Og den praktiske Anvendelighed af Teorien er bleven bekræftet helt igennem ved de talrige, i de senere Aar i mange Lande (særlig Schweiz, Amerika) gennemførte Maalinger paa færdige Jærnbetonkonstruktioner. Man er her igennem ved at naa til en intimere Forstaaelse af disse monolithiske Bygværkers Virkemaade, og man har faaet et bedre Begreb om den forhaandenværende Sikkerhed, der i visse Tilfælde ligger langt højere end nødvendigt, selv under Hensyntagen til de ved Beton uundgaaelige Variationer af Byggematerialet.

Samtidig med disse Bestræbelser af statisk eller konstruktiv Art har man skænket selve Konstruktionsmaterialet: Betonen, forøget Opmærksomhed. I Aarene fra 1920 til nu er der som bekendt udført en stor Mængde omfattende — og tildels meget kostbare — Betonundersøgelser. Disse Forsøgs Formaal har været at søge Klarhed over Indflydelsen af de mange Faktorer, der bestemmer Betonens Egenskaber, navnlig Styrken; men ogsaa Tætheden og Bestandigheden overfor Angreb af forskellige Art er bleven studeret. Langt de fleste af disse Studier er foretagne som Laboratorieforsøg; og visse af de fremkomne Resultater eller Regler er prægede heraf. Efterhaanden er den om disse Emner eksisterende Literatur saa omfattende, at det for en i Praksis staaende Ingeniør er vanskeligt at skaffe sig Overblik over, hvad der er brugeligt paa Arbejdspladsen, og til hvilke Metoder han skal gribe for at opnaa de tilstræbte tekniske og økonomiske Fordele.

Særlig eksisterer der en saadan Mængde Metoder — eller mere eller mindre vage Regler — til Forudbestemmelsen af Betonens Trykstyrke, at det er helt vanskeligt at vælge. Det skal her søges at karakterisere de mest betydende af de eksisterende Undersøgelser, særlig ud fra Synspunktet: den praktiske Anvendelighed paa en Beton- eller Jærnbeton-Arbejdsplads. Som Eksempel paa Gennemførelsen af en rationel og efter Byggepladsfordringer afpasset Betonkontrol skal til Slutning beskrives nogle Resultater fra Laboratoriet paa Firmaet Christiani & Nielsens Arbejdsplads i Cherbourg.

Forinden skal dog lige gøres opmærksom paa Cementkvalitetens Betydning for Jærnbetonens Udvikling i de forskellige Lande. Der gennemførtes 1924—26 en stor sammenlignende Undersøgelse af Züricher Laboratoriet.¹⁾ Der undersøgtes saa at sige alle Egenskaber af 23 schweiziske og 91 udenlandske Cements (fra 17 Stater). Cementserne deltes i 3 Klasser: 1) Aluminiumcement, 2) Specialcement og 3) Normalportlandcement. Som Resultat af Forsøgene indenfor hver af disse Klasser opstilledes en — maaske noget omtvistelig — »Rangforordning«, hvor Landene fulgte efter hinanden ordnede efter Cementkvaliteten; det var Trykstyrken (af Tærninger, 3 Dage gamle for Klasserne 1) og 2), 28 Dage for Klasse 3), der var det afgørende.²⁾

Danmark deltog i Kategorierne 2) og 3) med 1 Cement i hver (Velo og vistnok Norden). Undersøgelsen gav, at i Klasse 2) var Danmark Nr. 1 og Schweiz Nr. 2, og i Klasse 3) var Schweiz Nr. 1 og Danmark Nr. 2; Frankrig kom lige efter disse to Lande.

Styrketallene for den bekendte schweiziske Cementfabrik Holderbank er da ogsaa næsten utrolig høje, og der er med denne Cement opnaaet Betonstyrker, der berettiger meget højere Paavirkninger i Konstruktionen, end man sædvanligvis tillader.

¹⁾ Eidg. Materialprüfungsanstalt an der E. T. H. in Zürich. Prof. Dr. M. Ros: Ergebnisse vergleichender Prüfungen von schweizerischen und ausländischen Zementen entsprechend den schweiz. Normen.

²⁾ Materialprøveanstalten i Zürich har samtidig (1926) taget Initiativet til at foreslaa en Ændring i Cementprøve-maaden: at anvende Prismen (af plastisk Mørtel i Stedet for jordfugtige Tærninger; Forsøgene med plastisk Mørtel — og Anvendelsen af Ferefs Regel — gaar tilbage til 1892, da R. Feref, Directeur du Laboratoire des Ponts et Chaussées, Boulogne-sur-Mer, fremsatte sin Formel for Trykstyrken af plastiske Mørtler. Sagen optoges bl. a. af skandinaviske Ingeniører 1898—1901, og A. Foss forelagde ved Kongressen i Budapest 1901 en Forsøgsrække om samme Emne. Ved Materialprøve-Kongressen i New-York 1912 var Emnet Genstand for Rapporter af Schüle og Gary. Da Enighed ikke opnaaedes, besluttede man en ny international Undersøgelse (i 11 internationale og 10 tyske Laboratorier). Denne fuldførtes 1914, og den er Genstand for særlig Omtale i en Rapport (1926) fra Zürich; det foreslaaes altsaa her at forlade den gamle Metode.

Det falder i Øjnene, at Frankrig og Schweiz netop er blandt de Lande, hvor Jærnbetonen har gjort de største Fremskridt i de senere Aar.

Der skal nu gaas over til en Omtale af nogle af de vigtigste Metoder til Betonkontrol. Der tages navnlig Sigte paa Styrken af Betonen, mindre paa Tætheden, og slet ikke paa Svind, Bestandighed overfor Angreb af forskellig Art etc.

Af de Faktorer, der har Betydning for Styrken, er Cementens Kvalitet allerede omtalt. Cementmængden er i Praksis ofte fastlagt; men herom vil der senere blive Tale. Sandets og Stenenes geologiske Beskaffenhed er som Regel givet paa Forhaand — eller det er økonomiske Forhold, der her er bestemmende. Derimod er deres granulometriske Sammensætning en Egenskab, som man kan variere indenfor visse Grænser; herunder skal ogsaa forstaaes Fastsættelsen af Forholdet mellem Sand- og Stenmængden. Vandmængden har den største Betydning for Styrken.

Blandingsmaaden, Indbringelsesmaaden og »Lagrings« Art (Hærdningsforholdene) vil i Reglen være bestemt af praktiske Hensyn.

Endelig er Alderens Indflydelse paa Styrken en af de Ting, det er vigtigst at være underrettet om.

Granulometrisk Sammensætning.

Paa Arbejdspladsen maa man disponere over en Række Sand-Sigter, der tillader en hurtig Analyse efter Kornstørrelse. Man kan anbefale: 0,5 — 1,0 — 1,5 — 2,0 — 5,0 — 10,0 — 15,0 — 25,0 mm, til Sand- og Stenundersøgelse. Den foretagne Analyse optegnes som »Kornkurve«, og ved Bedømmelsen af denne kan man drage Nytte af de eksisterende Angivelser over »den bedste Kornkurve«:

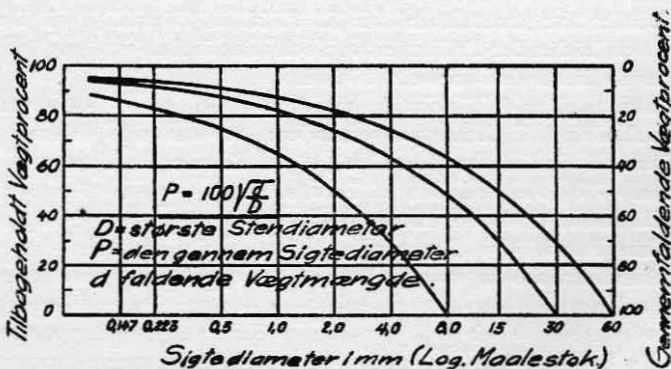


Fig. 1. Fullers Kurve svarende til $D = 8-30-60$ mm.

Fuller angiver (Fig. 1) den til en given Maksimumsdiameter D af Stenene svarende bedste Kurve at være

$$P = 100 \sqrt{\frac{d}{D}}, \quad P = \text{den gennem Sigte-Diam. } d \text{ faldende Vægtmængde.}$$

Formlen tillader altsaa at konstruere Kurven for hver ønsket Sigte-Diameter. Mindre Afvigelser fra Kurven har ofte kun ringe Betydning, og praktiske Forhold kræver undertiden, som ved vaad Beton, særlig meget fint Sand; men i det store og hele er Kurven særdeles brugelig.

Otto Graf angiver (Fig. 2) en »bedste Kornkurve« for Mørtlen, og han indbefatter Cementen i det fine Sand; en mager Mørtel skal indeholde mere fint Sand end en cementrig. Graf gaar — med en vis Ret — ud fra Mørtlens Kornkurve; thi er Betonen tæt og Stenene stærke, saa bestemmes Styrken af Mørtlens Kvalitet.

Professor E. Suensons Sand- og Stenundersøgelser er jo tilstrækkelig bekendte her i Landet. Han angiver Sandets »Styrkefaktor«

$$3g + 2m + 1,4f; \quad \left\{ \begin{array}{l} g = \text{groft} \quad 5-2 \text{ mm} \\ m = \text{middel} \quad 2-\frac{1}{2} \text{ »} \\ f = \text{fint} \quad \frac{1}{2}-0 \text{ »} \end{array} \right\} \quad \left. \begin{array}{l} \text{Vægtprocent af} \\ g + m + f \end{array} \right\}$$

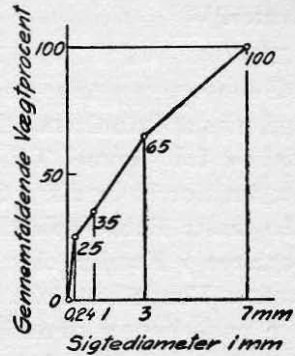


Fig. 2. Grafts »bedste Kornkurve« for Mørtel (incl. Cement).

og lægger altsaa Hovedvægten paa de grovere Korn.

Denne Formel har vel nok størst Gyldighed for ret tør Beton.

Abrams arbejder med Begrebet: Finhedsmodul, der beregnes ud fra Sigte-Analysen, analogt med Professor Suensons Styrkefaktor. Brugen af Tallet er dog noget kompliceret.

Forskellige Forfattere (Kortlang, Young o. fl.) indfører besværligere Kornkurver eller studerer Overfladen af Sandkornene for at dennes Størrelse at slutte sig til den fordelagtigste Sættning.

— Det skal nævnes, at Fastsættelsen af en bestemt Kornkurve har en Indflydelse paa Udbyttet af Betonen, og at saaledes det økonomiske Moment kan spille ind; imidlertid har Sandprisen ikke stor Indflydelse paa Betonprisen, og der vil da ofte være et ret stort Spillerum for Forbedringer af det naturligt forekommende Sand. Den Forøgelse af Betonstyrken, der kan opnaas ved en saadan kunstig Tilpasning til en »bedre Kornkurve« (f. Eks. ved Tilblanding til det naturlige Sand af en vis Mængde fint eller groft), er naturligvis varierende efter de lokale Forhold. Ved almindelig plastisk Beton har man ofte fundet 15—30 pCt.; ved vaad Beton turde Tallet ligge endnu højere.

En rationel Sandundersøgelse er nu Regel ved Udlandets vigtigere Byggepladser, og der ofres store Summer til Byggeinstallationer, der til-

lader den rette Blanding af Sandskomponenterne. Ved de sidste Aars større schweiziske Byggepladser for Broer og Spærremure var det saaledes en fast Regel at have et Laboratorium paa Pladsen. Ofte foretages kunstigt en Deling af Tilslagsstofferne; man arbejdede saaledes ved Spærremuren ved Barberine med 3, og ved den i Wäggital med 5 Komponenter.¹⁾

Vandmængden.

Dennes Indflydelse paa Styrken er velkendt fra talrige Forsøg og ses ligeledes af Formlerne til Forudbestemmelse af Styrken (se senere). Man skelner fra gammel Tid mellem Begreberne: jordfugtig, plastisk, flydende; imidlertid er disse Ord jo afhængige af et Skøn, og nu til Dags er den meste Beton »plastisk« — eller burde være det (selvom den transporteres i Render eller lignende). Det maa derfor anbefales at kontrollere Vandtilsætningen ved den nu ret almindelige »slump test«; den underbygger samtidig det praktiske Skøn over Betonens Forarbejdelse, og er ogsaa for Arbejdere og Formænd let forstaaelig. Man kan — for et givet Sand og Grus — ved Forsøg finde Relationen mellem Vandprocenten og »Slumpen« (se Fig. 7) og saaledes faa en Støtte for sit Skøn over den paa Arbejdspladsen anvendte Vandprocent.

Der anvendes i Udlandet undertiden andre Metoder: Flydeborde, Konsistensvægt o. a. navnlig amerikanske, Apparater. Der er dog næppe nogen Grund til at søge noget altfor kompliceret.

Abrams anvender et saakaldt Konsistenstal til Angivelser af Betonens Flydenhed; det er ret bekvemt at arbejde med.

Ved meget vaad Beton (tysk: Gussbeton) kan en lille Variation i Vandmængden være meget generende ved Betonens Transport gennem Renderne. Det er i saadanne Tilfælde af Betydning at regulere Vandtilførslen automatisk, ved en indstillelig Indretning; Indstilleligheden er nødvendig bl. a. paa Grund af Sandets vekslende Indhold af Fugtighed. Ved visse Arbejder forlanger Bygherren ligefrem den automatiske Vandtilsætning.

Forudbestemmelse af Betonens Trykstyrke.

For snart 40 Aar siden fremsatte R. Feret (se ovenfor) sin Formel for Trykstyrken σ_B af Mørtel og Beton:

$$(1) \quad \sigma_B = K \cdot \left(\frac{c}{1-s-g} \right)^2;$$

her er

$$\left. \begin{array}{l} c = \text{Cementens absolute Volumen} \\ s = \text{Sandets} \quad \gg \quad \gg \\ g = \text{Stenenes} \quad \gg \quad \gg \end{array} \right\} \text{ i en Rumhed 1.}$$

¹⁾ Stadelmann: Gussbeton; Erfahrungen beim schweizerischen Talsperrenbau. Zürich 1926.

det absolute Volumen er $\frac{\text{Vægten}}{\text{Vægtfylden}}$; man har altsaa for en Rumenhed (1 m³ eller 1 Liter.):

$$(2) \quad 1 = c + s + g + H_2O + \text{Porer};$$

for Vandet (H_2O) er Vægtfylden = 1; Porerne er vægtløse.

Formlen udsiger altsaa, at σ_B er lig Produktet af:

K , en Konstant, der kun afhænger af Cementmærket og af Betonens Alder,

og Parentesen $\left(\frac{c}{1-s-g}\right)^2$, der karakteriserer en Beton med et givet K ,

idet den afhænger af Cementdosagen og af Vandmængden, ganske direkte; men ogsaa den granulometriske Sammensætning og Forarbejdelsen kommer indirekte til Udtryk i Formlen. Den alsidige Opbygning er Formlens Styrke, og den har ved en Mængde Forsøg vist sig fuldt anvendelig under saa at sige alle Forhold.

Ved de praktiske Anvendelser drejer det sig altsaa om at faa bestemt Feret-Konstanten K for de Aldre, der interesserer; dette kan gøres ved nogle Forforsøg (f. Eks. med Prøvebjælker). Nogle Udbytteforsøg (Fyldning af et givet Tærningemaal med Beton, til Udregning af det nøjagtige Blandingsforhold) er praktiske for at finde Afhængigheden mellem Parentesværdien og Vand samt Cementdosagen. (Ofte foretrækkes det simpelthen at beregne Parentesen, uden Forsøg; men det »lokale Sands« Indflydelse bestemmes dog bedre ved Udbytteforsøget). Nogle optegnede Kurver (Fig. 9) tillader derefter at benytte Ferets Formel til at forudsige Trykstyrken ved alle de Cementmængder og Vandtilsætninger, som man maatte ønske.

Naturligvis maa man regne med de Tilfældigheder, som altid forekommer ved et Materiale som Beton, men indenfor den deraf bestemte Ramme (15—20 pCt.) passer Formlen særdeles godt.

— Det skal nu vises, at man udfra Feret's Formel let udleder et Par af de andre, i Brug værende Formler. Formlen (1) omskrives ved Hjælp af (2) til

$$(3) \quad \sigma_B = K \cdot \left(\frac{c}{c + H_2O + \text{Porer}}\right)^2;$$

antages det nu — som en Tilnærmelse — at Porerne = 0, faas

$$(4) \quad \sigma_B = K \cdot \left(\frac{c}{c + H_2O}\right)^2 = K \cdot \left(\frac{\frac{c}{H_2O}}{\frac{c}{H_2O} + 1}\right)^2,$$

og man ser, at i denne sidste Formel afhænger Parentesen kun af Forholdet Cement:Vand.

Abrams's Teori¹⁾ begynder med at fastslaa Finhedsmodulens bestemmende Indflydelse paa Vandmængden; og han sætter herefter Styrken afhængig af »water-cement ratio«, (altsaa netop det omvendte af Cement:Vand) som eneste variable; det kan da efter det foregaaende ikke forbyse, at hans Forsøg ogsaa stemmer med en vis Tilnærmelse, maaske knap saa godt som *Ferets*. Som rimeligt er, gælder *Abrams* Teori ikke for tør Beton, heller ikke for en for mager Beton; kort sagt Bortkastelsen af PoreLeddet betyder en Tilnærmelse. *Abrams* angiver en Række Kurver og Tabeller til Brug for Praksis, og hans Metoder er meget udbredte.

*Otto Graf*²⁾ indfører ligeledes Forholdet Vand:Cement, og hans Formler kan derfor heller ikke siges at frembyde noget væsentligt nyt. Han gaar, som før omtalt, ud fra Mørtlen og sætter (noget varierende)

$$\sigma_B = K \cdot \left(\frac{A}{B^{2\alpha}} + C \right);$$

heri er K , A , B og C Konstanter, der maa bestemmes ved Forsøg, og α Forholdet $\frac{\text{Vand}}{\text{Cement}}$, efter Vægt.

Graf's Forsøg »spred« meget; men hans Regler benyttes ofte i Tyskland.

Professor *Suenson*³⁾ sætter Styrken proportional med Brøken

$$\left(\frac{c}{c + H_2O + \text{Porer}} \right)^m,$$

hvor m er en Eksponent, der bestemmes ved Forsøg. I og for sig har det maaske ikke altfor stor Betydning, om Eksponenten er 2 eller noget forskellig derfra; thi bestemmer man paa Byggepladsen Proportionalitetskonstanten K ved at gaa ud fra en bestemt Eksponent: 2 (som *Feret*), saa vil Brugen af en saaledes beregnet Konstant af sig selv give den rigtige Trykstyrke, naar Formlen altid benyttes paa samme Maade, d. v. s. med samme Eksponent 2, og kun indenfor det af Forsøgene dækkede Omraade.

Talbot og *Richart*⁴⁾ angiver en fra *Feret* ret forskellig, men for Ar-

1) *Duff. A. Abrams*: Bulletin 1 og 9 fra »Structural Materials Research Laboratory, Lewis Institute, Chikago«.

2) *Graf*: Der Aufbau der Mörtels im Beton. 1923.

3) *E. Suenson*: Betonkontrol; Ing. 1926, No. 13 og Ing. 1929, No. 7.

4) *Talbot* og *Richart*: The Strength of Concrete, its Relation to the Cement, Aggregate and Water.

bejdspladsforhold noget udviklet Fremgangsmaade. Ræsonnementet er følgende:

a) Trykstyrken σ_B er en Funktion af $\frac{c}{c+p}$ eller af $\frac{c}{p}$, hvor p er Vand + Luftporer (i Overensstemmelse med *Feret*); altsaa kan man sætte

$$\sigma_B = f\left(\frac{c}{p}\right);$$

p er afhængig af baade Vandmængden og Forholdet Sand : Cement.

b) Ved varierende Vandmængde varierer altsaa ogsaa Funktionen $f\left(\frac{c}{p}\right)$; dannes $f\left(\frac{c}{p}\right)$ for »mindste praktisk anvendelige« Vandmængde: »basic water content«, faas σ_B for andre Vandmængder ved Multiplikation af $f\left(\frac{c}{p}\right)$ med en Reduktionsfaktor $\rho < 1$, der tages fra en empirisk Kurve.

c) Da Mørtlen mere end udfylder Stenenes Porer, er Mørtlens Porevolumen bestemmende for Betonens.

d) Hvis Porerne p_m kendes for Mørtlen, kan Porerne p_B for Betonen, da beregnes og ved Indsættelse i Formlen a) bruges til at finde Betonens Styrke.

e) Det drejer sig herefter kun om at kende Mørtlens Porer p_m for »basic water content«; og dette Kendskab maa man skaffe sig ved Forsøg, idet $p_m = f_1\left(\frac{s}{c}\right)$ bestemmes for alle Forhold Sand : Cement. De til et saadant givet Forhold svarende Porer p_m giver ved Omregning p_B , der indsættes i Formlen a) gældende for »basic water content«; og det heraf fundne σ_B multipliceres med ρ for at give det endelige $\sigma'_B = \rho\sigma_B$.

— — — Ved praktisk Brug maatte altsaa først de under b) og e) nævnte Kurver etableres; men hertil kræves en ret udviklet Forsøgsteknik. Af denne Grund vil Metoden da næppe blive meget benyttet, trods dens forskellige tiltalende Egenskaber, navnlig dens Kombination af Kurver, der svarer til de foreliggende konkrete Forhold.

— Der er her kun omtalt de mest bekendte og anvendelige af de fremkomne Metoder.

Af den uhyre omfattende Literatur skal dog endnu nævnes Offentliggørelserne fra: Bureau of Standards i Washington, af American Concrete Institute, af Deutscher Ausschuss für Eisenbeton, hvoraf flere omhandler det foreliggende Emne.

— Endnu et vigtigt Spørgsmaal hører herhen, nemlig Trykstyrkens Tilvækst med Alderen. De foregaaende Regler og Formler gælder alle for en bestemt Alder; Proportionalitetskonstanten K er

altsaa afhængig af Alderen, d. v. s. ligefrem proportional med Ordinatere til Betonens Hærdningskurve:

$$\text{sættes for 7 Dage} \quad \sigma_B^7 = K_7 \left(\frac{c}{1-s-g} \right)^2$$

$$\text{og for 28 Dage} \quad \sigma_B^{28} = K_{28} \left(\frac{c}{1-s-g} \right)^2,$$

$$\text{faas naturligvis} \quad \frac{K_7}{K_{28}} = \frac{\sigma_B^7}{\sigma_B^{28}};$$

Man kan altsaa bestemme K (ved Forsøg, som omtalt) for de Aldre, der interesserer.

Imidlertid er det ofte nemmere (om end mindre paalideligt, særlig da Cementerne er saa forskellige), at forudsætte en empirisk Formel til Fastlæggelse af Styrketilvæksten; som f. Eks.:

$$\sigma_B^{28} = \sigma_B^7 + 30 \sqrt{\sigma_B^7} \text{ (Slater; i Proc. Am. Concrete Inst. 1926);}$$

for andre Forhold end de af Slater forudsatte kræves der andre Konstanter; men det vil aldrig være vanskeligt at finde en omtrentlig Formel.

Eksempel paa Betonkontrol gennemført paa en Arbejdsplads.

De følgende Angivelser er hentede fra Firmaet Christiani og Nielsens Byggeplads i Cherbourg. Betonen anvendes her til Bygning af en ny Havnebanegaard og til en foran denne liggende Kajmur.

Laboratoriets Udstyr bestod af et Sæt Sandsigter, en Decimalvægt (100 kg), en nøjagtig Vægt (1 kg), en Slumpkegle med Tilbehør, samt de

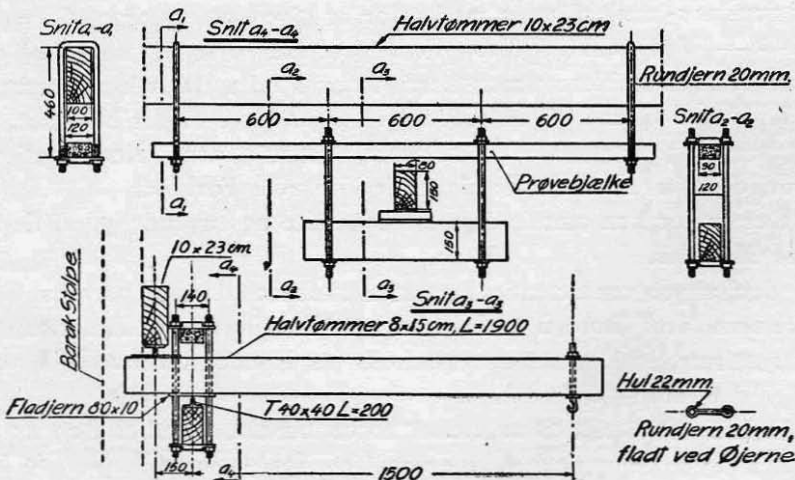


Fig. 3. Prøveapparat til danske Prøvebjælker.

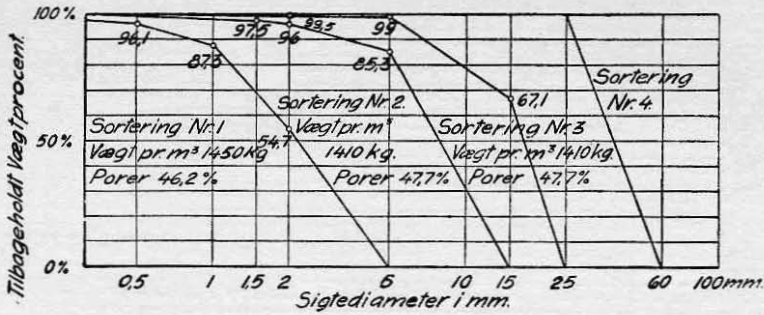


Fig. 4. Kornkurver for de 4 anvendte Sand- og Sten-Sorteringer.

nødvendige Redskaber, Forme, Hylde o. s. v. Der arbejdedes med de danske Prøvejælker, der ogsaa til længere Forsøgsrækker viste sig fortrinligt egnede. De belastedes i et Vægtstangsapparat som vist paa Fig. 3.

Undertiden udførtes Bøjningsforsøg med uarmerede Bjælker (6,5 × 9 × 80 cm), der indspændtes i den ene Ende, belastedes i den anden. Desuden gennemførtes nogle Tæthedsforsøg med Betonen til Caisson'erne.

— De til Betonen anvendte Grussorter er fremstillede paa Fig. 4, der viser Kornkurverne for de 4 adskilte Komponenter¹⁾: 1—5 mm, 5—15 mm, 5—25 mm, 25—60 mm. Nogle med dette Grus opnaaede Udbyttetal ses i Fig. 5, og Styrketallene fremgaar af Hærdningskurverne, Fig. 6, hvor ogsaa Slump'en er angivet. Slumpkurverne for samme Grus er vist Fig. 7.

Til Forudbestemmelse af Betonstyrkerne anvendtes *Feret's* Metode, idet Konstanterne K bestemtes (ved Prøvejælker) for 3, 7, 14, 28 og 90 Dage (Fig. 8). Alle Punkter er Middeltal for 2 Bjælker, og ved disse Forforsøg udregnes den nøjagtige Parentesværdi $\left(\frac{c}{1-s-g}\right)^2$, og denne samt Forsøgets σ_B bestemte da Hældningen af den rette Linie, der fremstillede Forsøgsresultaterne. Det ses af Figuren, at Spredningen ikke var større end tilladeligt. — Fig. 9 viser de af de udførte Forforsøg beregnede Kurver for $\left(\frac{c}{1-s-g}\right)^2$, for hver Vandprocent og Betondosage.

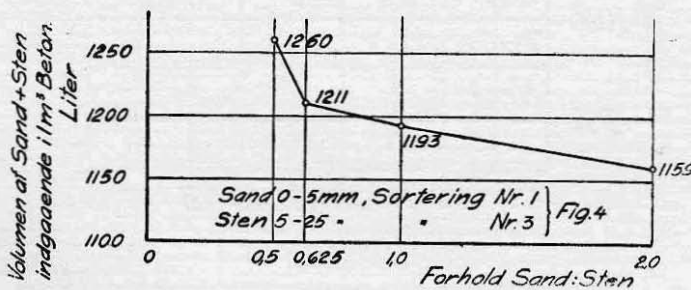


Fig. 5. Udbyttetal, svarende til forskellige Kornkurver.

¹⁾ Ved Knusning fremstillede Granitsand og Sten.

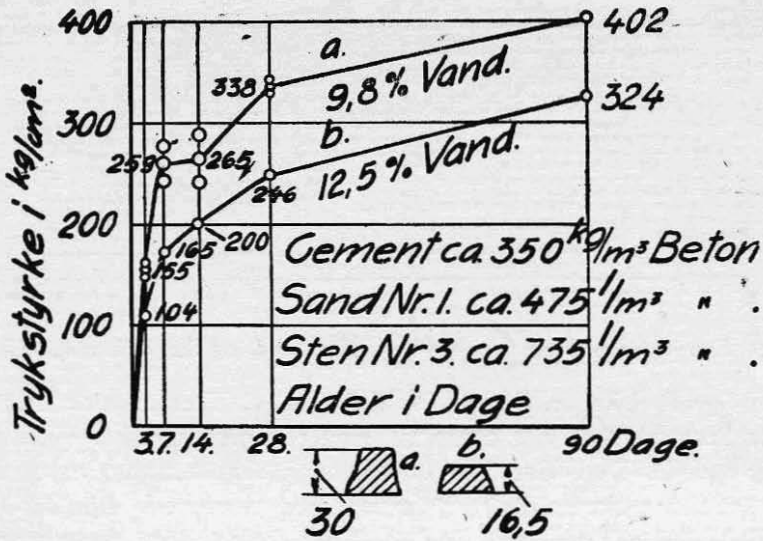


Fig. 6. Hærdningskurver for Beton.

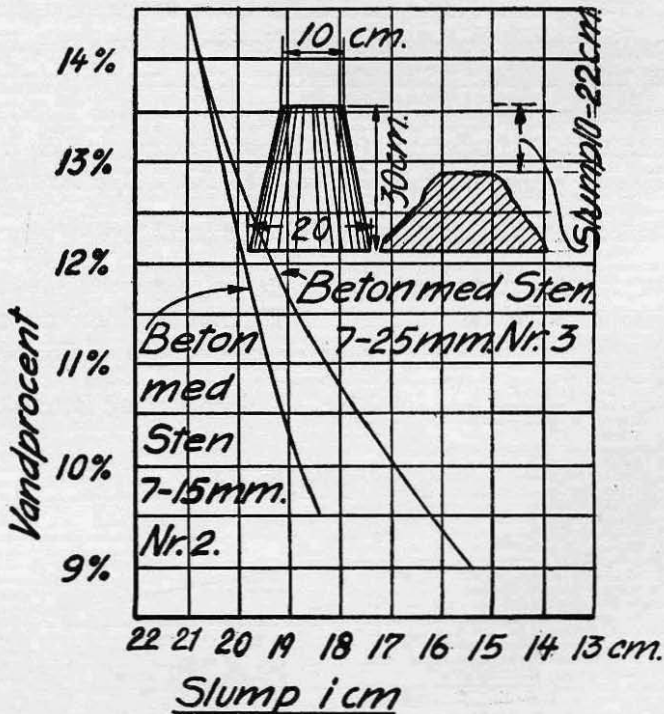


Fig. 7. Slumpkurver.

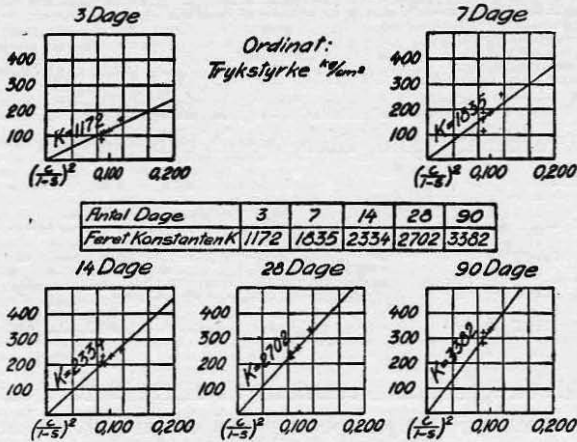


Fig. 8. Bestemmelse af Feret-Konstanten K.

De to Figurer 8 og 9 er, som det vil ses, fuldt tilstrækkelige til i hvert Tilfælde at vælge f. Eks. den Cementdosage, der skal til for at opnå en Beton af given Styrke i en given Alder, eller til at skønne over Indflydelsen af en Variation af en hvilken som helst af Komponenterne.

Imidlertid anvendtes disse Resultater ogsaa paa anden Maade:

Ved Støbningen af vigtige Konstruktioner, hvis Afforskalling var forbundet med en vis Risiko, tog Laboratoriets Personale 2 Prøvebjælker og en Slump-Prøve. Denne sidste gav, ved Fig. 7, en Idé om Vandprocentens Størrelse, medens den nøjagtige Cementdosage udregnedes af det forbrugte Antal Sække og det støbte Betonvolumen. Disse to Angivelser tillod da Bestemmelsen af den Trykstyrke, Betonen burde have efter 7 Dages Forløb. Den ene Prøvebjælke blev knækket netop efter 7 Dage og sammenlignedes med den beregnede Styrke; og det konstateredes da straks, om Betonen var normal. Den anden Prøvebjælke belastedes umiddelbart inden Konstruktionens Afforskalling.

Løvrigt gav Prøvebjælkerne en udmærket Kontrol med al den støbte Beton, idet unormale Resultater straks gav Anledning til at efterforske Grunden hertil (f. Eks. Ødslen med Cement; Støbning med for meget Vand o. a.).

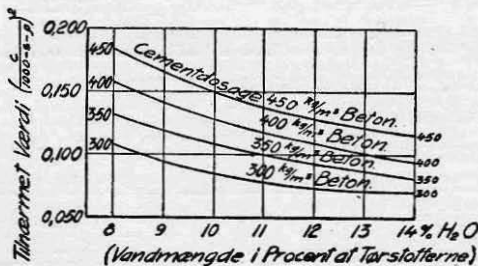


Fig. 9. Bestemmelse af Parentesværdien.

Til Slutning kun endnu et Par Bemærkninger af mere almindelig Karakter.

Det vilde være ønskeligt, om man kunde enes om altid at anvende ens Betegnelser for de ved Betonfremstillingen brugelige Begreber:

Mængden af Cement, Sand, Sten, Vand burde angives pr. m^3 færdig Beton, saaledes:

Cement	i kg	pr. m^3 Beton,	f. Ex.	400 kg	C/m^3 Beton	
Sand	i liter	» » »	,	»	450 l/m^3	»
Sten	i liter	» » »	,	»	750 l/m^3	»
Vand	i liter	» » »	,	og i $\frac{0}{100}$	af Vægten af de tørre Stoffer:	
						Cement + Sand + Sten.

Med vor Tids indgaaende Kendskab til rigtig Betonfremstilling burde det ogsaa være muligt, i højere Grad end det nu er, at bestemme den tilladelige Paavirkning i Jærnbetonkonstruktionerne som Funktion af en garanteret Betonstyrke, Cementdosagen burde slet ikke være fastlagt paa Forhaand; denne Styrke skulde saa eftervises af Entreprenøren. Med de fleste af de nugældende Normer vil det ikke være muligt at udnytte de fortrinlige Cements, som ofte staar til Raadighed. I Frankrig tillades det at gaa op med tilladelig Paavirkning til 28 pCt. af Trykstyrken efter 90 Dage; i Praksis gaas der dog sjældent saa højt (f. Eks. vilde $\sigma_B = 400$ kg/cm^2 , Fig. 6, give $\sigma_{till.} = 112$ kg/cm^2). Men denne Bestemmelse opfordrer Ingeniørerne til at udfinde nye og stadig dristigere Konstruktioner, og den virker saaledes ansporende i det hele taget.

At der her kunde trænges til en mere elastisk Fremgangsmaade ses ogsaa ved Sammenligning mellem de tilladelige Paavirkninger i de forskellige Lande og Normstyrkerne for Cementen; de sidste varierer ca. 100 pCt. Verden over, medens de tilladelige Paavirkninger næsten er ens overalt. Den endnu større Variation af Cementkvaliteten gør ogsaa en Fastsættelse af Dosagen ganske ulogisk. Kun enkelte Lande tillader en svag Variation af $\sigma_{till.}$ i Forhold til σ_B . Saaledes Tyskland: $\sigma_{till.} = \frac{1}{3} \cdot \sigma_B$, men samtidig $\sigma_{till.} < 60$ kg/cm^2 (denne Bestemmelse gælder for trykkede Dele). I Danmark siger Normerne fra 1908: $\sigma_{till.} = 0,22\sigma_B$ og Normerne fra 1921:

$$\sigma_{till.} = 40 + \frac{1}{3}(\sigma_B - 200) \leq 60 \text{ kg/cm}^2.$$

I glædelig Modsætning til de fleste andre Lande foreskriver Normerne ikke Cementdosagen, selvom Praksis dog maaske ikke har turdet følge Normerne paa dette Punkt.

De fleste Steder foreskrives saaledes ikke blot Styrken, men ogsaa Cementdosagen, og herved er man inde paa en Dobbeltthed, der vel næppe er absolut nødvendig. I Virkeligheden vilde det i mange Tilfælde ikke være saa stort et Skridt, som mange sikkert tænker, at stryge den givne Cementmængde, og nøjes med at forlange en bestemt Styrke, d. v. s. en bestemt Sikkerhed; navnlig, hvis Betonkontrollen paa Byggepladsen samtidig sættes i System.