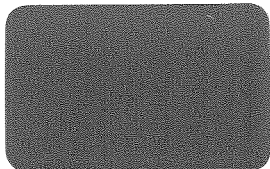


# RATIONEL BETONKONTROL

CONTROL OF CONCRETE  
WITH AN ENGLISH SUMMARY

G. M. IDORN



STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT · SÆRTRYK NR. 85  
I KOMMISSION HOS TEKNISK FORLAG KØBENHAVN 1957

**Bibliotekseksemplar** ex. 1  
Statens Byggeforskningsinstitut 01305 P

# Rationel betonkontrol

## Control of Concrete

Civilingeniør G. M. Idorn

### 1. Betonkontrollens grundlag

#### Fundaments of Control of Concrete.

693.5:69.058

*Statens Byggeforskningsinstitut har udgivet en »Vejledning i Betonkontrol«, som sammenfatter det væsentligste af det, der til dato er fremkommet på dette område. Herved har vejledningen fået et omfang – 122 sider – som måske vil skræmme nogle, men da interessen for emnet imidlertid er stor hos de mange, der beskæftiger sig med moderne betontechnik, vil bogen uden tvivl finde udstrakt anvendelse. Dens understregning af bl. a. de moderne statistiske synspunkter på betonkontrollen vil sikkert være medvirkende til, at vore normer for beton og jernbeton bringes up to date i en ikke for fjern fremtid.*

*»Vejledning i Betonkontrol« består af en indledende, teoretisk del og en praktisk del. Den praktiske del kan umiddelbart benyttes som opslagsbog, hvorimod det er vanskeligt at læse den teoretiske del, hvis man ikke har visse matematiske forudsætninger. Den første del er i alt væsentligt udarbejdet af civilingeniør B. Warris og cand. polit. P. Bredsdorff, og bogen iøvrigt i samarbejde mellem ingeniørerne N. M. Plum, B. Warris, P. Nerenst og G. M. Idorn. Ingeniør Idorn har lovet Beton-Tekniks redaktion at uddybe betydningen af de statistiske synspunkter nærmere, og i det hele taget orientere Beton-Tekniks læsere om de forskellige problemer, der opstår i forbindelse med opgaven betonkontrol.*

*Erik V. Meyer.*

Det er et almindeligt argument mod forøgelse af betonkontrollens omfang på arbejdspladserne, at udgifterne hertil er sikre, medens fordelene er tvivlsomme.

SBI's anvisning nr. 27: »Vejledning i betonkontrol« giver derfor ikke alene en samlet beskrivelse af metoder til betonkontrol, d. v. s. en »køgebog« for betonkontrollanter, men behand-

ler også baggrunden for kontrollantens daglige arbejde. Den henvender sig hermed til bygherrer, projekterende og entreprenører og diskuterer også de fordele, der opnås ved betonkontrol.

Der findes allerede her i landet en omfattende litteratur om betonkontrol, bl. a. adskillige artikler i »Beton-Teknik«.

Dansk Ingeniørforenings Be-

tonsektion har udfoldet en betydelig oplysningsvirksomhed omfattende håndbøger, kursus, betonblanketter m.v. Også Teknologisk Institut har bl.a. med kursus for håndværkere medvirket på dette område.

Disse hidtidige erfaringer er naturligvis udnyttet i SBI's nye vejledning. De metoder for udførelsen af kontrolarbejdet, der er beskrevet i bogen, er helt og holdent baseret på hidtil kendte og almindeligt benyttede fremgangsmåder. Der er ingen nye opfindelser.

Som nævnt beskrives imidlertid ikke blot, hvordan betonkontrollen skal foretages. Når dette problem er klaret, melder der sig et behov for oplysning om, hvad man skal kontrollere, og hvorledes de krav, som kontrollen skal sikre opfyldt, kan formuleres entydigt, således at betonkontrollanten nøjagtigt ved, hvad han skal foretage sig i det daglige arbejde. Endelig rummer problemet om formålet med at udføre betonkontrol mange spørgsmål af såvel teknisk som økonomisk natur.

Disse problemer er indgående diskuteret i vejledningens indledende kapitler, således at hele grundlaget for at foretage betonkontrol præsenteres før selve metodebeskrivelserne. Det skal fremhæves, at dette grundlag om-

fatter en vejledning i at vurdere måleresultater fra kontrolarbejdet på en rigtig måde. En hvilken som helst samling ubearbejdede eller forkert fortolkede måleresultater er jo ligeså lidt vejledende viden om beton, som en tilfældig bunke betonmaterialer er en bæredygtig konstruktion.

Vejledningens samlede indhold er resumeret i opstillingen figur 1. *Betonkontrollens forudsætninger* er det almene tekniske grundlag, som de folk i byggeriet, der arbejder med betonanlæg af blot nogenlunde væsentligt omfang, må tilegne sig, såfremt de ønsker at opnå tilfredsstillende betonkvaliteter på en økonomisk måde.

*Krav til betonegenskaber og betonfremstilling* skal formuleres rationelt og entydigt i projekt og betingelser og hermed i de aftaler, der sikrer samarbejdet mellem entreprenør og bygherre eller dennes repræsentanter.

*Tilrettelægning af betonkontrol* sker på dette grundlag på en sådan måde, at *betonkontrollens udførelse* kan realiseres i den nøjeste kontakt med betonfremstillingen på byggepladsen.

Endnu kortere kan denne hovedinddeling i 1) forudsætninger, 2) krav og 3) tilrettelægning og udførelse formuleres som

1. Betonkontrollens hvorfor,
2. Betonkontrollens hvad,
3. Betonkontrollens hvordan.

Alment grundlag	FORUDSÆTNINGER FOR BETONKONTROL
Projekt Betingelser Kontrakt	KRAV TIL BETONEGENSKABER OG BETONFREMSTILLING
Tilsyn	TILRETTELÆGNING AF BETONKONTROL UDFØRELSE AF BETONKONTROL :  <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">MATERIEL</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">MATERIALER</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">BETON</div> </div>

SBI 56

Fig. 1. Hovedopdeling af problemer ved betonkontrol.

*Basic problems of concrete control.*

*A distinction is made between the general background, the requirements of quality, and the planning and methods of control on the site.*

Denne inddeling kunne friste til at drage den konklusion, at »hvorfor« og »hvad« kun har interesse for en snæver kreds af teknikere og at kun »hvordan« vedrører den store kreds af folk i byggeriet, der kun eller overvejende beskæftiger sig med betonen på arbejdspladserne. Det er imidlertid en skematisk vurdering. Den tekniske udvikling berører alle, og den største del af Danmarks betonproduktion foregår på mindre byggepladser, som derfor samfundsøkonomisk har meget stor betydning.

Betonkontrollens grundlæggende problemer har derfor også interesse for »den brede del« af betonbyggeriets folk.

### Betonkontrollens forudsætninger.

Formålet med betonkontrol er at sikre, at den færdige beton opnår visse forud fastlagte egenskaber. Formålet med »Vejledning i betonkontrol« er at medvirke til, at disse egenskaber ved hjælp af betonkontrol opnås på den mest økonomiske måde.

De egenskaber, der ønskes opnået af betonen i bygværket og af bygværket som helhed, kan være meget forskellige, som f.eks. et æstetisk udseende, en vis styrke, tæthed og holdbarhed.

Den mest primitive form for kontrol kan bestå i en simpel besigtigelse af den færdige konstruktion ved en afleveringsfor-

retning. Kontrollen bliver på denne måde reduceret til et meget overfladisk og subjektivt skøn, og værdien af en sådan besigtigelse kan være overordentlig tvivlsom, eftersom betonbygværker i mange henseender ligner andre brugsgenstande derved, at manglerne ofte først viser sig med brugen.

Indenfor andre industrigrene benyttes i vor tid næsten udelukkende objektive kontrolmetoder på statistisk grundlag. Principerne herfra kan i vid udstrækning benyttes ved betonkontrol.

Industrien benytter navnlig to principielt forskellige kontrolformer.

I. *Kontrol ved modtagelse.* Køberen kontrollerer den færdige vare ved modtagelsen.

II. *Kontrol under fremstillingen.* Fabrikanten – eller undertiden køberen – kontrollerer varen under forløbet af dens fremstilling fra råmateriale til færdigt produkt.

#### Kontrol ved modtagelsen.

Kontrol ved modtagelsen svarer ved betonbyggeri til kontrol af den hærdnede beton i det færdige bygværk. Den kan foretages som en kontrol af al beton i bygværket (totalkontrol) eller som kontrol af tilfældigt udvalgte dele af bygværket (stikprøvekontrol).

Kontrol af hele bygværket vil i almindelighed være meget be- kostelig, i mange tilfælde umulig at gennemføre, og til enhver tid unødvendig. Hvis en sådan total kontrol f.eks. af styrke udføres som en prøvebelastning, kan resultatet blive delvis eller total ødelæggelse af konstruktionen, hvilket ikke er nogen ønskværdig udgang af en afleveringsforretning. Når det kan siges, at totalkontrol til enhver tid er unødvendig, skyldes det, at kontrol af et antal stikprøver, der er udtaget tilfældigt i bygværket, på fuldt tilfredsstillende måde kan benyttes til et skøn over kvaliteten af betonen som helhed. Antallet af prøver må dog naturligvis stå i et rimeligt forhold til den samlede betonmængde.

Stikprøvekontrol af færdig beton kan f.eks. foretages ved styrkeprøvning af udborede cylindre. Prøvelegemerne ødelægges ved prøvningen, og metoden kaldes derfor destruktiv.

Kontrollen kan også foretages f.eks. ved måling af betonens lyd hastighed et passende antal steder i konstruktionen. Dette er en ikke-destruktiv metode.

Såvel totalkontrol som stikprøvekontrol af færdig beton er besværlig og ofte uforholdsmæssig bekostelig.

Endvidere vil det i almindelighed være et kompliceret spørgs-

mål, hvad man skal gøre, såfremt kontrollen viser, at betonens kvalitet ikke opfylder de stillede krav. Bygværket kan jo ikke uden videre kasseres, og et afslag i prisen er i hvert fald ikke fra et teknisk synspunkt nogen tilfredsstillende løsning. Konklusionen bliver derfor den, at kontrol ved modtagelsen, d.v.s. af færdigt bygværk, ikke er hensigtsmæssig som basis for betonkontrol. Man bør i stedet kontrollere betonen under dens fremstilling.

#### Kontrol under fremstillingen.

Under betonfremstillingen kontrolleres råmaterialer, materiel og selve fremstillingsprocessen på en sådan måde, at man herudfra kan forudsige, hvilke egenskaber den færdige beton vil få.

For at nå så vidt, må kontrollen gennemføres på alle trin af produktionen. Det nytter f.eks. ikke at bestemme vandindhold i sand og sten, hvis man derefter undlader at aflæse den vandmængde, der tilsættes ved blandemaskinen. Det er også nødvendigt ved hver prøvning at sørge for et passende antal prøver.

Denne fremgangsmåde har den fordel, at man »undervejs« kan gribe regulerende ind i betonfremstillingen, f.eks. kassere humusholdigt grus, regulere vandtilsætning, udskifte slidte skovle

i blandemaskinen o.s.v. En sådan regulering kan ikke opnås, såfremt kontrollen alene består i prøvning af f.eks. 28 døgns terninger, fordi styrkeresultaterne kommer for sent – i mange tilfælde måske endda efter, at arbejdet er afsluttet.

På grundlag af disse betragtninger når man til følgende anbefalelsesværdige princip for betonkontrol på byggepladsen:

*Betonen, der forlader blanderen, skal være af en sådan kvalitet, at den – når den iøvrigt behandles efter de forskrifter, der ved det pågældende arbejde er givet med hensyn til komprimering og efterbehandling (lagring) – vil kunne opnå de i betingelserne forlangte egenskaber f.eks. styrke, tæthed o.s.v.*

Dette princip er illustreret skematisk i figur 2, der viser betonfremstillingens proces fra råmaterialer til færdigt bygværk.

Øverst er angivet *materialerne*: cement, vand, grus og eventuelle tilsætningsmidler. Materialernes egenskaber må kendes og kontrolleres. Kontrollen i næste fase af fremstillingen d.v.s. materialernes blanding, omfatter både overholdelse af fastsatte blandingsforhold og selve blandingen i blandemaskinen. Her skal således *materiellet*, vægte eller målebøve, vandtank samt blandemaskine kontrolleres.

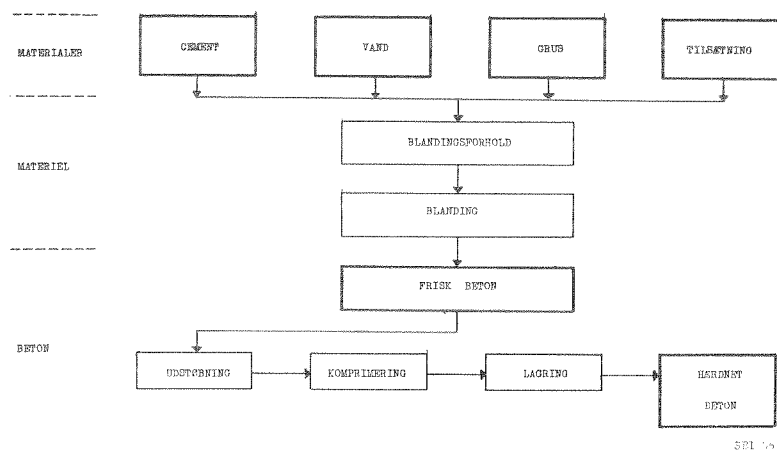


Fig. 2. Diagram for betonfremstilling.  
Diagram of the procedure of concreting, covering:  
1. Raw materials.  
2. Proportioning, mixing, and green concrete leaving the mixer.  
3. Placing, compaction and curing.  
4. Hardened concrete, i. e. the structure.

Vi er hermed nået frem til den friske beton, der tømmes fra blandemaskinen, og kontrol af dens egenskaber – bearbejdelighed, vand/cement forhold, luftindhold o.s.v.

Til sidst følger kontrol af udstøbning, komprimering og lagring, før betonen er således behandlet, at den *hårdnede beton* kan opfylde de stillede krav. I de fleste tilfælde vil det være hensigtsmæssigt som et led i kontrollen af den friske beton at udstøbe prøvelegemer til styrkeprøvning. Der kan herved fås resultater til sammenligning med de vurderinger af den færdige betons egenskaber, som er foretaget ud fra kontrol af materialer,

materiel og frisk beton. Der opnås med andre ord en mulighed for at opspore fejlkilder.

Præsentationen af den her anførte fremgangsmåde for kontrol af betonegenskaber på fremstillingsens forskellige trin rejser umiddelbart problemet om, hvorledes kontrolresultaterne fortolkes og udnyttes.

#### Vurdering af prøveresultater.

I »Vejledning i betonkontrol« er problemet om vurdering af prøveresultater behandlet ud fra den statistiske teori, der benytter matematiske beregningsmetoder. Her forsøges metoderne forklaret og anvendt ved hjælp af et eksempel.

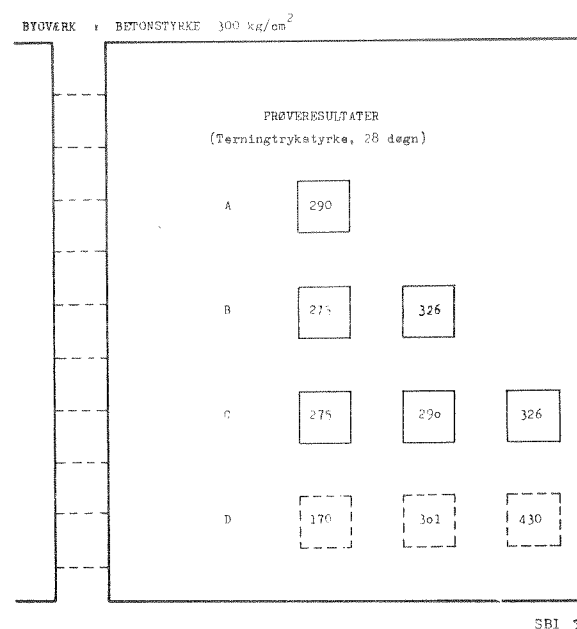


Fig. 3. Skematisk oversigt over kontrol af bygværk (søjle til venstre) ved hjælp af prøveterninger (antal og styrkeresultater til højre) i fire tilfælde. Een terning i tilfældet A, to i tilfælde B, tre i tilfælde C og D.

Schematic survey of control of a structure by means of test cubes.  
The structure is illustrated by the column, left. Numbers and compressive strengths of the cubes are shown, right.  
A shows one cube, B shows two cubes, C and D show three cubes each.

Figur 3 viser – meget skematisk – et betonbygværk bestående af et dæk eller en drager, båret af en søjle. Det kan f. eks. være en fabriksbygning. Der skal støbes en række søjler som den viste, og der forlanges ud fra beregningerne en betonstyrke på  $300 \text{ kg/cm}^2$ . (Vi skal i næste afsnit (side 18) diskutere, hvad der er ment med disse  $300 \text{ kg/cm}^2$ , men forudsætter her, at der menes 28 døgns trykstyrke af  $20 \times 20 \times 20 \text{ cm}$  terninger, fremstillet af beton, der er udtaget af de blandinger, søjlerne støbes med).

Fabrikkens ejer – bygherren – slutter aftale med murermester

Andersen\*) (tilfælde A, figur 3) om støbning foreløbig af en søjle. Andersen lover at lave pænt arbejde og som sikkerhed at støbe en prøveterning.

Denne terning viser en styrke på  $290 \text{ kg/cm}^2$ , se figur 3, og spørgsmålet er nu, hvad dette tal fortæller om betonstyrken. Det ligger ca. 3% lavere end den krævede styrke, hvilket efter murermesterens opfattelse sikkert er så lidt, at kravet kan siges at være opfyldt.

Denne konklusion er imidlertid

\*) Enhver navnelighed med eksisterende personer eller firmaer er i disse tænkte eksempler naturligvis helt tilfældig.

behæftet med en meget betydelig usikkerhed. Hvis betonportionen til terningen tilfældigvis består af særlig god beton, bedre end alt hvad der er anbragt i søjlen, eller terningen er udstøbt, stampet og lagret særlig omhyggeligt, kan betonen i søjlen reelt være meget dårligere.

Hvis betonen i terningen derimod er dårligere end den i søjlen, så er denne måske udført bedre og dyrere end krævet. Det vil bygherren ikke være tilfreds med, så fremt arbejdet udføres på regningsbasis. Er det et tilbudsarbejde, bør muremester Andersen blive utilfreds, når han gør sit årsregnskab op.

Resultatet af denne usikkerhed bliver let, at bygherren, når den næste søjle skal støbes, slutter aftale med muremester Bertelsen (tilfælde B, figur 3), der lover at støbe to prøveterninger. De giver styrkerne 275 og 326 kg/cm<sup>2</sup> som resultat, og muremester Bertelsen præsenterer det smukke middeltal på 301 kg/cm<sup>2</sup>. Imidlertid kan man let forestille sig, at en tredje terning havde givet en styrke enten lavere end 275 kg/cm<sup>2</sup> eller højere end 326 kg/cm<sup>2</sup>, og i så fald ville middeltallet blive væsentlig forrykket.

Endvidere kunne det være således, at den beton med den lave styrke er anbragt i søjlens farligst påvirkede tværsnit, og den stær-

keste beton, hvor påvirkningen er væsentlig mindre. De 275 kg/cm<sup>2</sup> opfylder i så fald ikke kravet. Omvendt kan de 326 kg/cm<sup>2</sup> tænkes at repræsentere betonen i det farligst påvirkede tværsnit, hvilket er en uøkonomisk overopfyldelse af kravet.

Bygherren vil selvfølgelig med rimelighed stadig mene, at han ikke ud fra den foretagne kontrol kan vurdere kvaliteten af det udførte arbejde med tilstrækkelig sikkerhed.

Om næste søjle slutes derfor aftale med det verdenskendte danske ingeniørfirma Christiansen & Co. (tilfælde C, figur 3), der lover at føre en effektiv betonkontrol under fremstillingen – og at støbe 3 terninger.

Disse giver det på figuren viste resultat: 275, 290 og 326 kg/cm<sup>2</sup> med et middeltal på ca. 297 kg/cm<sup>2</sup>. Afvigelserne fra middeltallet er henholdsvis 22 og 29 kg/cm<sup>2</sup>.

Læseren vil bemærke, at disse tre terningers styrker er givet samme værdier som de to terninger i tilfælde B plus den ene i tilfælde A. Vi kan altså tænke os prøvningen i tilfælde C »delt op« i A + B, og det ses umiddelbart, hvor langt bedre et grundlag for at vurdere styrken, Christiansen & Co. har med de tre resultater i en samlet serie, end både Andersen og Bertelsen, der ikke kan vide, om deres henholdsvis ene eller to ter-

ninger ville blive »yderværdier« eller »mellemværdier«, hvis de havde prøvet flere).

Kvalitetsmæssig forekommer styrkeresultaterne i tilfælde C umiddelbart meget tilfredsstillende, idet middeltallet kun er 1% mindre end den krævede styrke, og afvigelserne fra middeltallet er tilfredsstillende små. Men den effektive betonkontrol, der har muliggjort det pæne resultat, har måske også været dyr.

Vi lader derfor endelig bygherren få kontakt med entreprenørfirmaet Danielsen A/S (tilfælde D, figur 3), som hævder, at den krævede kvalitet kan opnås uden dyr betonkontrol og dog garanteres ved tre prøveterninger. De giver som vist resultaterne 170, 301 og 430 kg/cm<sup>2</sup>, og Danielsen A/S er tilfreds, eftersom middeltallet er 300 kg/cm<sup>2</sup>, d. v. s. bogstavelig talt det samme som opnået med den dyre kontrol i tilfælde C.

En sammenligning mellem C og D kan føre til enten den forkerte konklusion, at effektiv betonkontrol er overflødig, eller den rigtige, at middeltallet af et antal prøveresultater ikke alene giver tilstrækkelige oplysninger til vurdering af resultaterne.

I tilfælde D er afvigelserne fra middeltallet henholdsvis 130 og 130 kg/cm<sup>2</sup> altså væsentlig større end i tilfælde C. Betonkvaliteten er således langt mere uensartet i

tilfælde D. Denne uensartethed kaldes *spredningen*. Den kan beregnes matematisk ud fra middeltallet og de enkelte prøveresultaters afvigelser fra dette.

En beregningsmetode er vist i »Vejledning i betonkontrol«, side 19. En enklere og i almindelighed tilstrækkelig nøjagtig beregningsmetode er følgende:

Når et antal prøveresultater foreligger, trækkes det mindste resultat fra det største. Differensen

Tabel 1. Talfaktor T til beregning af spredning ved antal prøveresultater fra 2 til 20.

Antal prøveresultater	Talfaktor T
2*	0.89
3	0.59
4	0.49
5	0.43
6	0.39
7	0.37
8	0.35
9	0.34
10	0.33
11	0.32
12	0.31
13	0.30
14	0.29
15	0.29
16	0.28
17	0.28
18	0.27
19	0.27
20	0.27

\*) bør kun benyttes i tilfælde, hvor der foreligger et større antal dobbeltresultater af en prøvning.

ganget med en talfaktor T, der findes i tabel I ud for antallet af prøveresultater, er lig med spredningen (s).

Spredningen (s) angives ofte i procent af middeltallet (m) af samtlige prøveresultater, altså

$$\frac{s \cdot 100}{m} \% \text{ *)}$$

Tages styrkeresultaterne i tilfælde C ovenfor som eksempel, fås:

Største resultat – 326 kg/cm<sup>2</sup>  
 Mindsteresultat – 275 –  
 Differens – 51 –

Talfaktoren er ifølge tabel I for 3 resultater T=0.59.

Spredningen bliver således:

$$51 \cdot 0.59 = 30 \text{ kg/cm}^2$$

Omregnet i procent bliver spredningen:

$$s = \frac{30 \cdot 100}{297} = 10.1 \%$$

Det må bemærkes, at spredningsberegninger og iøvrigt sammenligning af prøveresultater kun gælder, når prøverne er udtaget tilfældigt af det materiale, der ønskes kontrolleret.

Ligeledes må det huskes, at såfremt terningerne i tilfældene B, C og D er udstøbt af samme blandsportioner, udtrykker resultaternes forskel kun variationer indenfor en blanding, d.v.s. uensartethed ved blandingen.

Ved kontrol på bygværkets be-

\*) I den statistiske teori kaldes spredningen for variationskoefficienten, når den udtrykkes i procent, men det ser vi bort fra her.

ton skal terningerne derfor udtages fra hver sin blanding.

### Spredningens betydning.

Stor spredning svarer til uensartet kvalitet af betonen, lille spredning til ensartet kvalitet. God kvalitet er derfor heller ikke alene opnået ved en middelkvalitet, der opfylder kvalitetskravene men ved en rigtig middelkvalitet og en lille spredning. I eksemplet ovenfor er betonen i tilfælde C således *bedre* end i tilfælde D, selvom middeltallet af prøveresultaterne er det samme hos begge entreprenører.

Ensartethed i kvalitet, f. eks. betonstyrke, kan være af afgørende betydning for et bygværks funktioner. Hvis man i tilfælde D ovenfor tænker sig betonen med styrke 170 kg/cm<sup>2</sup> anbragt i det farligste tværsnit af søjlen, der er dimensioneret på grundlag af en styrke på 300 kg/cm<sup>2</sup>, er sikkerheden væsentlig ringere end forudsat.

Nu kan imidlertid ingen af de i de fire tilfælde viste terninger betragtes som direkte udtryk for betonstyrken i et tilsvarende element af betonen i søjlen. Beton i prøveterninger er *ikke* identisk med beton i konstruktionen, alene af den grund at hærdningsforhold i det lille isolerede prøvelegeme med meget stor overflade i forhold til rumfanget er helt anderledes end

bygværkets beton. Endvidere vil det være usikkerhed ved selve prøvningen.

De 170 kg/cm<sup>2</sup> kan derfor ikke uden videre placeres et bestemt sted i søjlen, men middeltal og spredning af et passende antal styrkeresultater kan give et begreb om styrkeniveauet og om ensartetheden til sammenligning med de styrker, man kan forvente udfra kontrol med betonen under fremstillingen, d.v.s. kontrol af materialer, materiel og frisk beton.

Tænker vi os nu, at der støbes

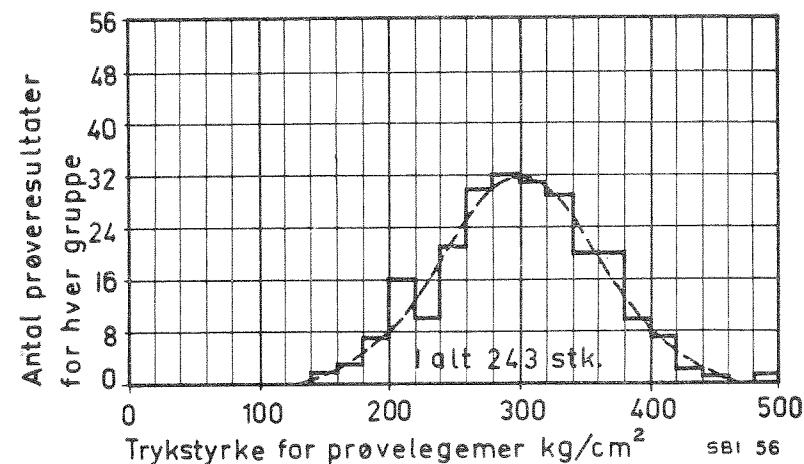
en række søjler af samme art med beton fremstillet under samme betingelser d.v.s. af samme materialer, med samme materiel o. s. v., og at der opnås et stort antal styrkeresultater, kan disse afbildes som vist i figur 4. Her er vandret afsat betonstyrken i intervaller på 20 kg/cm<sup>2</sup>. Lodret er afsat antallet af styrkeresultater i hvert interval, altså f. eks. 30 mellem 260 og 280 kg/cm<sup>2</sup>, 32 mellem 280 og 300 kg/cm<sup>2</sup> o. s. v.

I det viste eksempel er på denne måde indtegnet ialt 243 styrkeresultater. Resultatet bliver, som

Fig. 4. Fordeling af 243 trykprøveresultater. Resultaterne er opdelt i grupper, der hver omfatter samtlige styrker i intervaller på 20 kg/cm<sup>2</sup>. Antal resultater indenfor hver gruppe er afsat lodret over intervallet. Den punkterede kurve er den »udjævnedes« trappesfigur og kaldes fejlfordelingskurven. (Fra SBI særtryk nr. 32, »Betonkontrol«, af civilingeniør N. M. Plum).

Distribution of compressive strengths for 243 concrete specimens. The ordinate to the left indicates number of test results within the intervals of abscissa. (Compressive strength of test specimens in kg. per sq. cm.)

The Gaussian distribution is shown as dotted curve. (From: QUALITY CONTROL OF CONCRETE, ITS RATIONAL BASIS AND ECONOMIC ASPECTS, by N. M. Plum, PROCEEDINGS OF THE INSTITUTION OF CIVIL ENGINEERS, London, May 1953).



det ses, en »trappeformet« figur. Hvis »trappetrinene« udjævnes, fås den indtegnede klokkeformede kurve, der har sit højdepunkt over *middeltallet*.

Det ses, at såfremt styrkerne fordeler sig i et stort område på

styrken og kurven derfor blive høj og smal.

I figur 5 er vist to sådanne kurver, repræsenterende to styrkeprøvningsserier med samme middeltal men med spredningerne henholdsvis 10% og 20%. Denne

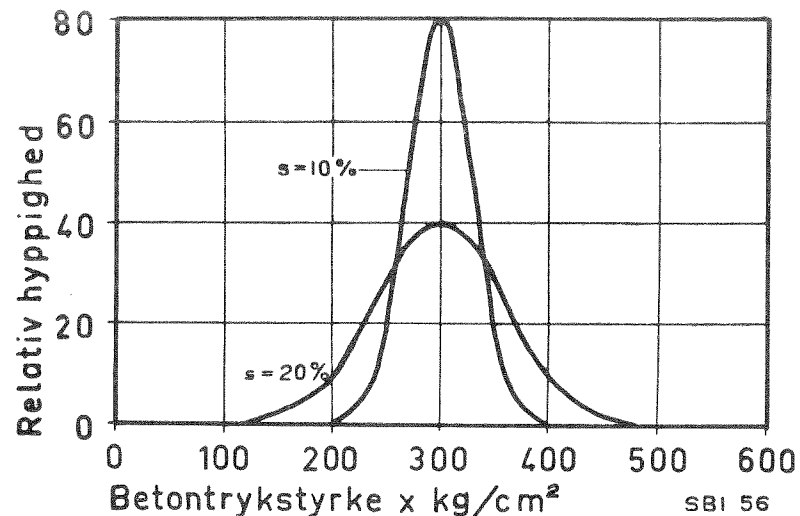


Fig. 5. Fejlfordelingskurver for to prøveserier med samme antal resultater, samme middeltal men forskellige spredninger, henholdsvis 10 og 20%. Med lille spredning samles resultaterne mest om middeltallet. (Fra SBI særtryk nr. 32, »Betonkontrol« af civilingeniør N. M. Plum).

The Gaussian distribution curve for two test series with the same number of results, and the same mean, but with a standard deviation, which is respectively 10 and 20 percent of the mean. (From: BETONKONTROL, by N. M. Plum. BETON OG JERNBETON, 1953, No. 1.).

begge sider af middeltallet, d.v.s. at kvaliteten er uensartet, vil kurven blive bred og lav. Dette udseende svarer til *stor spredning*. Er spredningen lille, d.v.s. kvaliteten ensartet, vil et meget stort antal af samtlige resultater ligge i intervallerne nærmest middel-

figur illustrerer diskussionen ovenfor angående C og D og viser, at middeltallet alene ikke giver den fulde sandhed om kvaliteten.

Dette forhold træder endnu tydeligere frem, når man ikke på kurverne nøjes med at betragte

spredning og middeltal, men også ser på de mindste opnåede styrker svarende til de punkter, hvor kurverne når den vandrette akse til venstre for middeltallet. (Teoretisk er det ikke rigtigt, at kurverne, der kaldes fejlfordelingskurver, når den vandrette akse, men vi tillader os denne tilnærmelse her).

Mindsteværdien bliver naturligvis lavest, hvor spredningen er størst – jævnfør ovenfor tilfælde C og D.

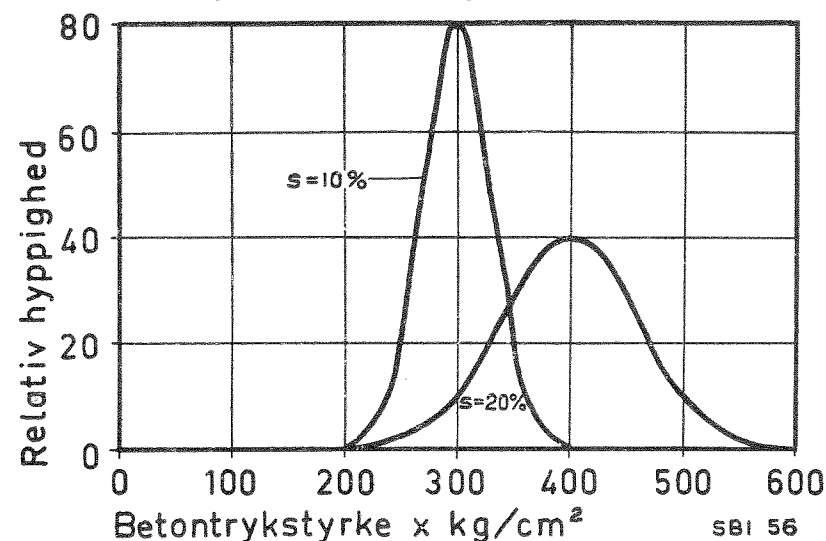
Kræves det nu f. eks. ud fra hensyn til en konstruktionsbæreevne,

at en bestemt *mindstestyrke* skal overholdes, ses det af figur 6, at for at opfylde et sådant krav, må der, såfremt spredningen er stor, opnås et højere middeltal af samtlige resultater, end det er nødvendigt, hvis spredningen er lille. Ellers omvendt: fremstilles ensartet beton, kan der, når en *mindstestyrke* er krævet, arbejdes med en lavere middelstyrke, end hvis der fremstilles mere uensartet beton.

Dette forhold demonstrerer betonkontrollens betydning meget klart.

Middelstyrken afhænger nem-

Fig. 6. Fejlfordelingskurver for to prøveserier med samme antal resultater, spredning henholdsvis 10 og 20% og samme mindsteværdier (tilnærmet). For at opnå samme mindsteværdi for  $s = 20\%$  og  $s = 10\%$  må middeltallet være størst i første tilfælde. The Gaussian distribution curve for two test series with the same number of results, the standard deviation being respectively 10 and 20 percent of the mean and the same (app.) minimum limit of results. In order to obtain the same (app.) minimum limit of results for both standard deviations, 10 and 20 percent, the mean must be the higher in the latter case.





lig groft taget af cementmængden pr. m<sup>3</sup> beton (i virkeligheden af vand/cement forholdet samt hærdningsomstændigheder o. s. v. men i princippet af cementmængden, der er den styrkegivende faktor), medens spredningen først og fremmest afhænger af betonkontrollen, på den måde at spredningen kan formindskes (betonen blive mere ensartet), når der gennemføres en effektiv kontrol under fremstillingen.

En entreprenør har således to muligheder i et tilfælde, hvor en mindstestyrke skal garanteres:

- I. At spare cement ved at gennemføre en effektiv betonkontrol under arbejdets udførelse.
- II. At spare kontrol og benytte et større cementindhold i betonen.

Valget mellem disse to muligheder kan ikke gøres generelt men må træffes i hvert enkelt tilfælde ud fra arbejdets art og omfang, hvilket materiel og hvilke materialer, der er til disposition o. s. v.

I det væsentlige vil det imidlertid være således, at ved større arbejder kan det ofte betale sig at gennemføre betonkontrollen og opnå en besparelse i cementforbrug.

Ved mange mindre arbejder, der ikke økonomisk kan bære en omfattende kontrol, er det umiddelbart måske mest økonomisk

at kompensere for den større spredning ved et større cementforbrug.

Den tekniske udvikling fremover vil dog uden tvivl gå i den retning, at en stadig større del af betonfremstillingen vil ske under anvendelse af effektiv kontrol. – Den samfundsmæssige konsekvens heraf vil utvivlsomt ikke blive en formindskelse af cementforbruget i Danmark, men i stedet en forøget anvendelse af beton som byggemateriale.

Ved den praktiske anvendelse af de her gennemgåede principper må man gøre sig klart, at ingen bygherre kan forlange en absolut mindsteværdi f. eks. af styrke overholdt, og ingen entreprenør kan garantere absolut at holde sine styrker over en sådan grænse. Hertil er fejlkilderne for mangfoldige. Prøveteknikkens love medfører, at en krævet mindstestyrke kan overholdes med en tolerance på f. eks. 1, 2, eller 5%, d. v. s., at kun henholdsvis 1, 2, eller 5% af styrkerne falder under mindsteværdien.

Når mindstestyrken med toleranceprocent er fastsat ud fra konstruktive hensyn m. v., og entreprenøren har beregnet, med hvilken spredning på styrken arbejdet kan udføres – erfaringer fra betonkontrol ved tilsvarende arbejder kan benyttes hertil – kan den nødvendige middelstyrke bereg-

nes ved hjælp af enkle formler eller ud fra et diagram, der er angivet i »Vejledning i betonkontrol«, side 23.

På grundlag af middelstyrken kan derpå betonproportioneringen foretages på sædvanlig måde.

Det er ikke let at imødekomme et umiddelbart ønske om opgivelse af, hvilke spredningsprocenter, man i praksis kan regne med for betonstyrker under varierende »grader« af teknisk indsats.

Som en foreløbig orientering kan det dog angives, at ved store arbejder med gennemført kontrol af større mængder ensartet beton har spredninger på ca. 8–12% vist sig at være absolut opnåelige.

Ved mindre arbejder eller ved arbejder, der som helhed gennemføres med en mere primitiv teknik, vil der vel i mange tilfælde kunne regnes med spredninger på ca. 15–25%. Det er dog ifølge sagens natur vanskeligt at give generelle anvisninger netop for forhold, der betinger stor spredning, bl. a. fordi det hidtidige erfaringsmateriale fortrinsvis omfatter byggepladser, hvor en meget ensartet kvalitet er tilstræbt ved hjælp af omfattende betonkontrol.

Et eksempel på den økonomiske betydning af lille spredning opnået ved effektiv betonkontrol er givet i »Vejledning i betonkontrol« på side 27. Ved et større betonarbejde var forlangt en mind-

stestyrke på 350 kg/cm<sup>2</sup> med en toleranceprocent på 1 (d. v. s. det tolereredes, at indtil 1% af styrkerne i prøvelegemer faldt under mindsteværdien). Arbejdet kunne gennemføres med en spredning på 40 kg/cm<sup>2</sup> i kraft af en omhyggelig betonkontrol. Den nødvendige middelstyrke under disse omstændigheder blev 445 kg/cm<sup>2</sup>.

Ved en arbejdsudførelse med ringe kontrol måtte der her regnes med en spredning på ca. 80 kg/cm<sup>2</sup>, hvilket ville svare til en nødvendig middelstyrke på 535 kg/cm<sup>2</sup>.

Denne nødvendige forøgelse af middelstyrken med ca. 20% kan regnes at svare til en forøgelse af cementmængden på ca. 20%. Fordyrelsen herved ville være ca. 7 kr./m<sup>3</sup> beton, eller i dette tilfælde et beløb, der langt oversteg udgifterne til betonkontrol.

Styrken af 28-døgns terninger er ovenfor benyttet som eksempel ved gennemgangen af det statistiske grundlag for vurdering af prøveresultater. Dette grundlag er imidlertid det samme ved enhver prøvning, der giver talværdier til bedømmelse af egenskaber, f. eks. også såfremt en række sigteanalyser foretages til bestemmelse af gruskornkurvens finhedsmodul og dennes variation, ved bestemmelser af nøjagtighed ved vandtilsætning, betonens vand-cementforhold o. s. v. De til-

ladelige – eller opnåelige – spredninger ved de forskellige prøvninger er omtalt i »Vejledning i betonkontrol«. Her vil en detaljeret gennemgang føre for vidt.

I stedet skal opmærksomheden til slut henledes på, at mulighederne for at udnytte kontrolresultater i praksis ikke alene er betinget af, at resultaterne vurderes rigtigt, og prøvningen udføres, så vurderingen kan foretages.

Kontrollens nødvendighed må også fremgå af de krav, der i betingelser og kontrakt stilles til betonegenskaberne, ellers bliver betonkontrol kun en overflødig udgift på det enkelte arbejde.

Det næste afsnit indledes derfor med en behandling af problemer ved formulering af krav til betonegenskaber og betonfremstilling.

## 2. Krav til betonen

### Requirements for concrete properties

Den ingeniør, som omhyggeligt og måske endda ved hjælp af skriftskabelon skriver »Beton 1: 2½:3½«, »Betonstyrke 300 kg/cm²« eller endnu enklere blot »Beton 300« på en bygningstegning, har hermed formuleret et krav til betonens kvalitet. Hvis disse angivelser rummer de væsentligste – eller eneste – krav til betonen, er det imidlertid ikke gjort særlig godt.

Bygherren er ikke ud fra blandingsforhold mellem cement, sand og sten, udefinerede styrkekrav eller blot en typebetegnelse sikret, at den hærdnede beton opnår de egenskaber, som må være forudsat i projektet.

Entreprenøren kan ikke på

grundlag af sådanne angivelser tilrettelægge en betonfremstilling, der er rationel i både teknisk og økonomisk henseende.

Endelig kan den tilsynsførende blive stillet over for meget store vanskeligheder, såfremt det bliver hans opgave ud fra betonkontrolresultater at vurdere, om disse upræcise kvalitetskrav er opfyldt.

Beton 1:2½:3½

Et forud fastsat blandingsforhold mellem cement, sand og sten er meget lidt vejledende med hensyn til den færdige betons styrke, tæthed og andre egenskaber. Som bekendt afhænger styrke og tæthed fortrinsvis af beto-

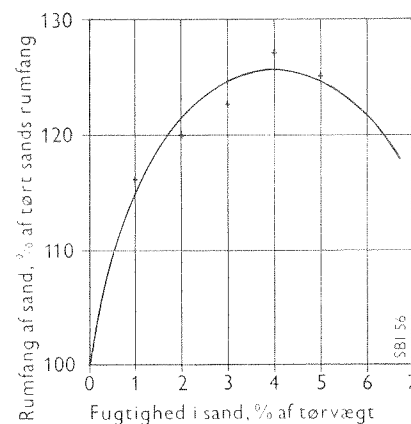


Fig. 7. Svelningskurve for en sandprøve, d. v. s. den kurve, der viser sammenhæng mellem sandets fugtighed (i % af tørvægt) og rumfang. Det bemærkes, at svelningskurven varierer med sandets kornkurve.

Swelling curve for a sample of sand, i. e. the relationship between humidity (percent of dry weight) and volume of the sample. The curve depends on the particle size distribution of the sand.

nens vand-cement-forhold (liter vand pr. kg cement). Til cementens hærdning forbruges en vandmængde, der svarer til et vand-cement-forhold på ca. 0.25–0.30. Resten af vandet tjener kun til at gøre den friske betonmasse tilstrækkelig smidig og bearbejdelig.

Den nødvendige vandmængde for at få en fastsat bearbejdelighed – stiv til beton, der vibreres, blødere til håndstamping – afhænger overvejende af grusets kornkurve, og mest af sandets.

Hvis vandmængden nu under et støbearbejde holdes konstant, medens sandets kornkurve varierer, vil konsistensen variere, og betonen blive uensartet komprimeret.

Hvis konsistensen holdes konstant, og sandets kornkurve va-

riierer, må vandmængden reguleres. I så fald vil vand-cementforholdet variere og dermed den færdige betons styrke og tæthed.

Er blandingsforholdet som ovenfor på forhånd opgivet ved rumfangsblandingsforhold, må det yderligere tages i betragtning, at sandets rumfang kan være stærkt varierende, afhængig af, om sandet er tørt eller fugtigt. Selv om der afmåles nøjagtigt fra blanding til blanding, og det er en konstant mængde fugtigt sand, der benyttes, kan det være en stærkt varierende mængde tørt sand, som vist på figur 7, der viser sammenhæng mellem en sandprøves rumfang og vandindhold. Både det virkelige blandingsforhold mellem de faste stoffer og vand-cement-forholdet kan under disse forhold variere betydeligt på ukontrolleret måde.

Forud fastlæggelse af rumfangsblandingsforhold er derfor en overordentlig grov tilnærkelse til begrebet kvalitetskrav til hærdnet beton.

#### Betonstyrke 300 kg/cm<sup>2</sup>

Forsåvidt forekommer det mere hensigtsmæssigt – i hvert fald når der er tale om bærende konstruktioner – at stille krav om en bestemt styrke af den hærdnede beton, f.eks. som nævnt 300 kg/cm<sup>2</sup>. Betonstyrken betinger jo i mange tilfælde bæreevnen af konstruktionen og indgår i beregninger af spændvidder, dimensioner o.s.v. Byggherrens interesse er, at konstruktionen kan benyttes til sit formål, d.v.s. at søjlen kan bære etageadskillelsen, at gulvet kan bære maskinerne m.m. Det kan principielt set være ham ligegyldigt, med hvilken grussammensætning, cementmængde eller bearbejdningsmetode dette opnås, såfremt kvalitetskravet til den færdige beton er udtrykt præcist og entydigt.

Det er der imidlertid ikke tale om, hvis der blot står »Betonstyrke 300 kg/cm<sup>2</sup>« på tegningerne eller i beskrivelsen.

Er der ment styrke af betonen i det færdige bygværk eller styrken af prøvelegemer?

Hvilken prøvemethode skal benyttes til at bestemme styrken? Der kan benyttes mange forskel-

lige, og resultater opnået på een måde kan ikke uden videre sammenlignes med styrkeresultater, opnået på andre måder.

Hvilke dimensioner skal prøvelegemerne have, hvordan skal de fremstilles og lagres, hvor lang tid efter fremstillingen skal de prøves, og hvordan skal prøvningen udføres? Udover dette rent praktiske om prøvningen, som arbejdspladsen (betonkontrollanten) må have afgjort, må der i forvejen være tænkt på vurderingen af prøveresultaterne som nærmere omtalt i afsnit I.

Endelig må det være fastlagt, hvor mange prøvelegemer, der skal støbes pr. gang, og hvor ofte det skal ske.

Det ses altså, at det tilsyneladende enkle og letforståelige krav: »Betonstyrke 300 kg/cm<sup>2</sup>« i virkeligheden er temmelig upræcist og derfor rummer mange muligheder for uens fortolkninger.

#### Beton 300

Nogle mener hermed betonstyrke 300 kg/cm<sup>2</sup>, andre at betonen skal fremstilles med 300 kg cement pr. m<sup>3</sup> beton. Det kan være pinligt, hvis den projekterende mener det ene og entreprenøren det andet, og uoverensstemmelsen først opklares, når arbejdet er i gang eller fuldført. Menes der cementindhold pr. m<sup>3</sup>

beton, kan der herom siges omrent det samme som ovenfor om rumfangsblandingsforhold. Nemlig at der kan fremstilles beton af overordentlig ringe kvalitet, selv om cementindholdet er så relativt stort som 300 kg pr. m<sup>3</sup> beton.

#### Formulering af krav

*Ethvert krav i kontrakt eller betingelser til materials, materiels og betons egenskaber skal beskrives entydigt.* Stilles der f.eks. krav til styrken, må det gøres klart, hvilken styrke, der menes.

*Det må angives, hvilken målemetode, der skal benyttes.* Lerindhold i sand, luftindhold i beton og andre egenskaber kan hver for sig måles med forskellige metoder og hjælpemidler. Det er ikke sikkert, at to forskellige metoder giver samme resultater eller resultater, som overhovedet kan sammenlignes.

*Der må fastsættes en talværdi for den beskrevne egenskab, f.eks. som middeltal eller som mindsteværdi, og der må angives regler for, hvorledes prøveresultaternes talværdier skal vurderes i forhold til den forud fastsatte værdi.*

Disse betingelser for at formulere krav til betonen på en fornuftig måde er kort sammenfattet i nedenstående tabel 2.

Mange vil måske mene, at så indgående overvejelser for at stille betingelser til betonarbejdet stiller så omfattende krav til manden på tegnestuen, at det hele bliver altfor besværligt. Nu er disse besværligheder jo ikke opfundet af vejledningens forfattere. I virkeligheden er problemerne hidtil i mange tilfælde ganske vist blevet holdt uden for projekteringen, men til gengæld præsenterer de sig uvægerligt på byggepladsen under arbejdets ud-

Tabel 2

Definition	Beskrivelse af egenskab
Prøvemethode	Beskrivelse af målemetode
Talværdi	Bestemmelse af middeltal eller mindsteværdi
Afvigelser	Angivelse af regler for vurdering af prøveresultater i forhold til den krævede talværdi

førelse og må diskuteres og afgøres ved støbestedet eller på byggemøder.

Teknikkens udvikling indenfor byggeriet stiller imidlertid på mange områder problemet således, at arbejdspladsen må aflastes for disse grundlæggende problemer, der bør være klaret, før arbejdet påbegyndes.

Heller ikke henvisninger til normerne er tilstrækkelige til at undgå den detaljerede planlægning af betonkravene som en del af projekteringen.

Normerne tager ikke sigte på den enkelte arbejdsplads særlige forhold.

Lad os eksempelvis se på omfang af prøvning i denne forbindelse.

### Omfang af prøvning

For styrkeprøvning kræver DS 411 (s. 30–31) følgende:

»Klasse B: Det tilrådes, at der udføres mindst 3 prøver for hver 150 m<sup>3</sup> eller påbegyndt 150 m<sup>3</sup> beton«.

»Klasse A: Der skal udføres mindst 3 prøvelegemer (terninger eller bjælker) for hver 150 m<sup>3</sup> eller påbegyndt 150 m<sup>3</sup> beton.....«

Hvis et arbejde er af en sådan karakter, at der ialt måske skal støbes nogle tusinde m<sup>3</sup> beton, men fordelt over så lang tid, at der støbes mindre end 150 m<sup>3</sup> pr. uge, må der tilføjes bestemmelser om, at der for eksempel skal støbes

mindst 3 terninger pr. arbejdsuge. Ved et andet arbejde støbes måske gennem måneder 20 m<sup>3</sup> beton pr. time. Dette vil stille helt andre krav end ved en mindre koncentreret betonproduktion til hyppigheden af sætmålsbestemmelser, sigteanalyser, fugtighedsbestemmelser m.v. for at muliggøre rettidige indgreb og ændringer i betonegenskaberne og dermed sikre en ensartet kvalitet.

Problemerne om kontrollens omfang kan og bør klares inden arbejdets påbegyndelse. Den, der skal foretage betonkontrollen, må foruden den her omtalte vejledning have projektets lokale »køgebog« i hånden med et detaljeret prøvningsprogram.

I »Vejledning i Betonkontrol« er i tabel 7 givet en oversigt over krav til betonfremstilling (i tilslutning til omtalen i teksten, side 39–56). Denne tabel kan direkte benyttes som arbejdsgrundlag ved udarbejdelse af prøvningsprogrammer.

De forskellige prøvninger er inddelt i hovedgrupper — materialer, materiel og beton — men er desuden karakteriseret ved romertal I, II og III. Disse gruppebetegnelser kan kort beskrives således:

Gruppe I omfatter prøver af egenskaber, der varierer meget, og hvis variationer har betydelig indflydelse på betonkvaliteten.

Endvidere hører hertil simple kontrolmetoder på prøvninger, der ikke er særlig pålidelige. Prøver i gruppe I foretages daglig eller pr. 10 m<sup>3</sup> beton.

Gruppe II omfatter prøver af egenskaber, der kun varierer lidt, og som er af mere underordnet betydning. Endvidere nogle mere besværlige prøvninger, der er kontrol på målinger i gruppe I. Prøver i gruppe II foretages ugentlig eller pr. 100 m<sup>3</sup> beton.

Gruppe III omfatter justeringsprøver eller prøver til godkendelse af egenskaber, som ikke ændres nævneværdigt under forløbet af et enkelt betonarbejde. Prøver i gruppe III foretages månedligt eller pr. 1000 m<sup>3</sup> beton.

I omstående Tabel 3 er vejledningens tabel 7 gengivet i en forenklet udgave. Det er her kun vist, hvorledes de forskellige prøvninger af egenskaber ved materialer, materiel og beton fordeler sig i grupperne I, II og III.

I den originale tabel i vejledningen er desuden 1) henvist til vedkommende tekstafsnit i bogen, 2) givet en kort definition af den egenskab, der måles, 3) givet retningslinier for vurdering af de målte egenskaber hvor dette er muligt og 4) henvist til bestemmelser i DS 411 eller til erfaringer fra praksis i tilfælde, hvor normbestemmelser ikke foreligger. I

disse sidstnævnte tilfælde må retningslinierne i meget bogstavelig forstand opfattes som vejledende.

Lokalt betingede forhold kan meget vel gøre det hensigtsmæssigt at afvige fra vejledningens forslag, og det bør i denne forbindelse bemærkes, at intet vil være mere velkommen, end at folk fra praksis offentliggør deres tilsvarende erfaringer og synspunkter, således at disse problemer senere kan tages op til en bredere diskussion og fastlæggelse af mere autoritative bestemmelser.

Iøvrigt skal generelle retningslinier for omfang af prøvning ved ethvert (større) arbejde afviges i 2 tilfælde.

For det første skal der i den indledende periode af støbearbejdet udtages relativt mange prøver, indtil en vurdering af variationer i egenskaberne af materialer og beton kan foretages, således at middeltal og spredning for de forskellige målinger kan vurderes tidligt. For det andet skal prøvning udover det fastlagte program altid ske, såfremt man får mistanke om eller konstaterer fejl ved betonfremstillingen, således at de fornødne ændringer kan ske tidligst muligt.

### Registrering af måleresultater

Bagsiden af en tændstikæske eller væggen i formandsskuret er

Tabel 3. Oversigt over prøvning af betonegenskaber.

	GRUPPE I dgl. eller pr. 10 m <sup>3</sup> beton	GRUPPE II ugl. eller pr. 100 m <sup>3</sup> beton	GRUPPE III mdl. eller pr. 1000 m <sup>3</sup> beton
MATERIALER	Sand og sten – fugtighedsindhold <sup>1)</sup>	Cement Sand Sand og sten – normstyrke – humusindhold – kornvægtfylde og neddykningskoefficient <sup>1)</sup>	Sand – lerindhold – fillerindhold – kornform Sand og sten – fysisk kvalitet – kalkindhold
MATERIEL			Afmåling af vand Afmåling af sand og sten Blanding
BETON	Frisk beton – vand-cement-tal <sup>2)</sup> – konsistens – luftindhold	Hærdnet beton – styrke	

<sup>1)</sup> ikke medtaget i vejledningen. Er mellemlid ved <sup>2)</sup>.

ikke egnet til udregning eller registrering af prøveresultater ved betonkontrol.

Hvis kontrollen skal udnyttes, og resultaterne kunne vurderes, må alle notater foretages systematisk. Bedst orden i tingene får man ved at benytte trykte blanketter, hvori kun selve måleresultaterne skal noteres og beregningerne, der alle er meget enkle, indføres. Dansk Ingeniørforening har allerede for ca. 7 år siden udsendt en række trykte blanketter til brug ved betonproportionering, herunder en blanket A3 til kornkurvebestemmelse. I nær fremtid udsendes tre nye blanketter til benyttelse ved betonkontrollen. De bliver udarbejdet, så de i udformningen svarer nøje til de, der allerede foreligger. En blanket, gengivet i udkast som fig. 8, omfatter *daglig kontrol*, d.v.s. gruppe I i Tabel 3, side 22. En anden, gengivet i udkast som fig. 9, omfatter *ugentlig kontrol*, d.v.s. gruppe II, dog med undtagelse af 1) kornkurvebestemmelse, hvortil særlig blanket som nævnt findes, 2) humusprøve, som ikke udtrykkes i tal og 3) cements normstyrke, der foreligger i særlig attest fra en prøveanstalt. Den tredje blanket, gengivet i udkast som fig. 10, omfatter prøvning af materiel, d.v.s. afmålingsnøjagtighed af vandtank, afvejningsnøjagtighed af vægte for

sand og sten samt bestemmelse af den friske betons ensartethed, d.v.s. kontrol af blandemaskinens blandevevne.

Benyttelse af blanketterne giver overskuelighed og orden i det daglige arbejde for betonkontrollanten og dokumentation ved krav om ændringer ved betonfremstillingen.

Både betonkontrollanten og den ledende tekniker, der måske ikke hver dag er på arbejdspladsen, har imidlertid udover denne »dagbogsregistrering« brug for en vurdering af kontrolresultaterne for det samlede arbejde.

Dette opnås bedst ved at udnytte de enkelte resultater fra blanketterne til samlede grafiske fremstillinger.

I vejledningen er på side 74 vist en sådan oversigt, her gengivet som fig. 11. Den er udarbejdet af civilingeniør P. Nerenst og omfatter en otte ugers periode af et større arbejde.

Hvis målingerne fra dag til dag optegnes på denne måde, har man altid et overblik over, om alt foreløber programmæssigt eller ændringer er nødvendige, – og når et arbejde er afsluttet stof til eftertanke med henblik på planlægningen af nye arbejder samt til en interessant artikel i »Beton-Teknik«.

PRØVNING AF FRISK BETON				DAGLIG KONTROL			
Proportionering		Betonrecept		Grussammensætning		Provestøbning	
B 1 nr. 2		B 4 nr. 2		B 3 nr. 7			
<b>LUFT- OG VANDMÆNGDE (Pyknometermetode)</b>				<b>VANDMÆNGDE (Beregning)</b>			
<b>Rumvægt af beton</b>				<b>Fugt i sand</b>			
1 Kar + lag + beton	g	12083	-	1 Glas + lag + sand	g	4000	-
2 Kar + lag (kar nr. 2)	g	2420	-	2 Glas + lag (glas nr. 2)	g	1678	-
3 Beton [1 + 2]	g	9663	-	3 Sand + luft [1 + 2]	g	-	2322
4 Rumfang af kar (kar nr. 2)	ml	4112	-	4 Glas + lag + vand + sand	g	6786	-
5 Rumvægt af beton [3 + 4]	kg/l	$\frac{9663}{4112}$	2,350	5 Glas + lag + vand (glas nr. 2)	g	5388	-
<b>Rumvægt af »luftfri« beton</b>				<b>Vandmængde</b>			
6 Glas + lag + beton	g	3922	-	Fugt i materialer		Vægt pr. sats, kg	Fugtighedsindhold, %
7 Glas + lag (glas nr. 1)	g	1678	-	Sand (bl. nr. 7)	416	3,1	12,9
8 Beton i luft [6-7]	g	-	2244	Ærteslen (bl. nr. 7)	208	1,5	3,1
9a Glas + lag + vand + beton (1. gang)	g	6707	-	Neddesten (bl. nr. 7)	416	1,1	4,6
9b Glas + lag + vand + beton (2. gang)	g	6708	-	Tilførsel ved vandtank		l	59,0
10 Glas + lag + vand (glas nr. 1)	g	5388	-	11 Vandmængde pr. sats	l	-	79,6
11 Beton under vand	g	-	1320	12 Cementmængde pr. sats	kg	-	170,0
12 Rumfang af beton [8 - 11]	ml	-	924	13 v/c-tal [11.12]		$\frac{79,6}{170,0} = 0,47$	
13 Rumvægt af »luftfri« beton [8 - 12]	kg/l	$\frac{2244}{924} = 2,428$		<b>Luftindhold</b>			
<b>Vandmængde</b>				<b>Luftindhold</b>			
14 $(\Sigma uP) \times [8.11]$		$757 \times \frac{2244}{1320} = 1290$		Aflæst på diagram		%	3,2
15 EP		1210		Metode: press-ur meter		%	3,6
16 Vandmængde pr. sats [14+15]	l	80		Vandmængde, middel		l	79,8
17 Cementmængde pr. sats	kg	170		Luftmængde, middel		l	34,0
18 v/c-tal [16.17]		$\frac{80}{170} = 0,47$		Vand + luft		l	113,8
							$\frac{c}{v+l} = \frac{170}{113,8} = 1,48$
							Setmål, en/vebø $8\frac{1}{2}$

Fig. 8. Forslag til blanket for daglig kontrol af frisk betons vandindhold, luftindhold og konsistens.  
Design of form for daily control of water content, air content and consistency of green concrete.

PRØVNING AF FRISK BETON				UGENTLIG KONTROL			
FUGTIGHED, NEDDYKNINGSKOEFFICIENT OG KORNVÆGTFYLDE							
		Sand		Ærteslen		Neddesten	
1 Glas + lag + vand + grus	g	-	-	3160	-	-	-
2 Glas + lag + lørt grus	g	-	3632	3113	3113	-	-
3 Fugt i grus [1 + 2]	g	-	-	47	-	-	-
4 Fugtighedsindhold $[(3+2) \times 100]$	%	-	-	1,5	-	-	-
5 Glas + lag	g	-	1678	-	1678	-	-
6 Tørt grus i luft [2 + 3]	g	-	1954	-	1435	-	-
7 Glas + lag + vand + grus	g	-	6598	-	6273	-	-
8 Glas + lag + vand	g	-	5388	-	5388	-	-
9 Grus under vand [7 + 8]	g	-	1210	-	885	-	-
10 Neddykningskoefficient [9.6]		$\frac{1210}{1954} = 0,619$		$\frac{885}{1435} = 0,617$			
11 Rumfang af tørt sand [6 + 9]	ml	-	744	-	550	-	-
12 Kornvægtfylde [6.11]	kg/l	$\frac{1954}{744} = 2,627$		$\frac{1435}{550} = 2,610$			
<b>STYRKE</b>							
Prøvelegeme	Mrk.	Afsendelsesdato	Prøvningsdato	Proportionering Bl. nr.	Vand, luft, bearbejdelighed Bl. nr.	Grus Bl. nr. A3 nr.	Andre prøver Type, reference
Termin	1,2,3	27.8	1.9	1	27	13	
Cementafmålingen er kontrolleret: 28.8 atw							

Fig. 9. Forslag til blanket for ugentlig bestemmelse af kornvægtfylde og fugtighedsindhold i grus.  
Design of form for weekly determination of specific gravity and humidity of aggregates.

## KONTROL AF BLANDEEVNE

Blandertype: *Kaiser* Blandetid: 90 sek.

### SKEMA I

Materiale	Blandingsforhold	
	%	f = materiale < 0,25 mm %
1 Sand	40	4,67
2 Ærtesten	20	0,20
3 Hårdesten	40	0,40
4 Samlet tilslag	100	2,07
5 Luftindhold	3,4	-

### SKEMA III

Cementindhold kg/m <sup>3</sup>	Middeltal $\bar{x}$	Afvigelse fra middeltal $\Delta$	$\Delta^2$
276	293	-17	289
304		+11	121
298		+5	25
-	-	-1	435

$$s = \sqrt{\frac{\sum \Delta^2}{2}} = \sqrt{\frac{435}{2}} = 14,8 \text{ kg/m}^3 \quad \frac{s \cdot 100}{\bar{x}} = \frac{14,8}{293} = 5,0 \%$$

### SKEMA II

Beskrivelse	Enhed	1. prøve		2. prøve		3. prøve	
1 Glas + låg + beton	g	3716	-	4108	-	3693	-
2 Glas + låg	g	1076	-	1076	-	1076	-
3 Beton i luft [1 + 2]	g	-	2640	-	3032	-	2617
4 Glas + låg + beton + vand	g	5330	-	5546	-	5306	-
5 Glas + låg + vand	g	3786	-	3786	-	3786	-
6 Beton i vand [4 + 5]	g	1544	1544	1760	1760	1520	1520
7 Grus > 0,25 mm i vand	g	1303	-	1457	-	1263	-
8 Grus [7] × 100: (100 - f)	g	1331	-	1488	-	1290	-
9 Cement i vand [6 + 8]	g	213	-	272	-	230	-
10 Cement i luft [9]: 0,68	g	313	-	400	-	338	-
11 Rumfang af luftfri beton [3 + 6]	ml	-	1096	-	1272	-	1097
12 Rumfang af beton = 1,034 × [11]	ml	1133	-	1315	-	1134	-
13 Cementindhold 10 <sup>3</sup> × [10]: [12]	kg/m <sup>3</sup>	276	-	304	-	298	-

## KONTROL AF VANDTANK

Type: *vertical* Normal indstilling: 55

### 1. BESTEMMELSE

1 Skalaindstilling kg	2 Bruttovægt vand + beholder kg	3 Beholderens vægt kg	4 Vandets nettovægt kg	5 Afvigelse fra skalaindstilling, 10 $\Delta$ kg	6 Kvadratet på afvigelse, 10 <sup>2</sup> $\Delta^2$ kg <sup>2</sup>
55	69,5	14	55,5	+5	25
	70,0		56,0	+10	100
	69,0		55,0	0	0
	69,5		55,5	+5	25
	69,0		55,0	0	0
			$\bar{x} = 55,4$	20	$\sum 10^2 \Delta^2 = 150$

$$s = \frac{1}{10} \sqrt{\frac{\sum 10^2 \Delta^2}{4}} = \frac{1}{10} \sqrt{\frac{150}{4}} = 0,6 \text{ kg vand}$$

Spredning i % af skalaværdi = 1,1

Korrigeret skalaindstilling = 55,5

$$\text{Korrigeret spredning i \% af skalaværdi} = \frac{100}{10 \cdot 55,5} \sqrt{\frac{75}{4}} = 0,8$$

Fig. 10. Forslag til blanket for månedlig kontrol af blandedevne og vandtanke's nøjagtighed.

Design of form for monthly control of the accuracy of water containers and the quality of mixers with respect to the homogeneity of the green concrete.

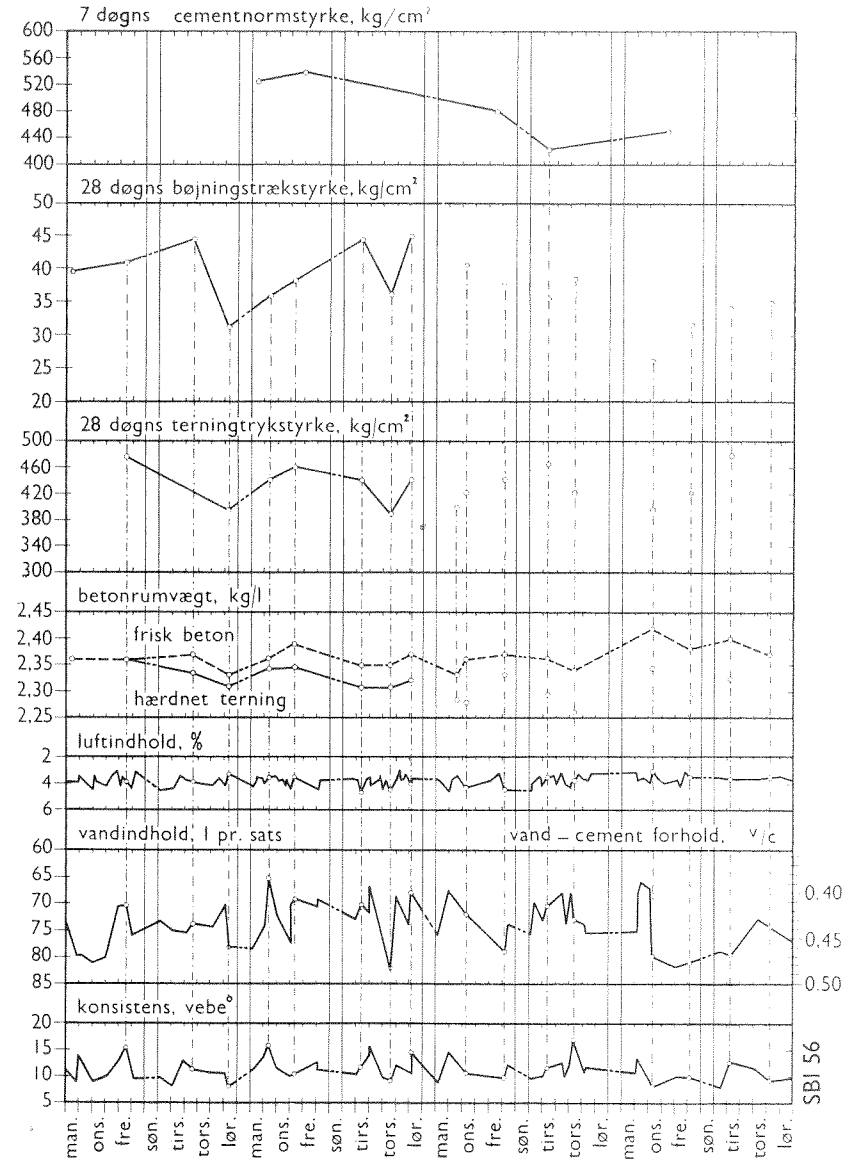


Fig. 11. Eksempel på diagram-fremstilling af de vigtigste betonegenskaber. De lodrette stiplede linier angiver sammenhørende prøver. Bemærk styrkeresultaternes »forsinkelse« i forhold til prøveresultaterne fra den friske beton.

Graph of concrete properties measured through an eight-week's-period of work. The test results of strength are delayed compared with the tests of the green concrete.

## Hvem skal foretage kontrollen?

Vejledningen er ikke specielt skrevet for bygherrens tilsynsførende eller specielt for entreprenørens arbejdsleder. Den henvender sig til begge parter, og uanset hvem kontrollen påhviler, må arbejdet gøres på en rationel måde.

I vejledningen tages heller ikke stilling til, om bygherren eventuelt gennem sin tekniske sagkyndige skal foretage kontrollen af entreprenørens (sælgerens) vare, eller om bygherren skal stille sine kvalitetskrav til den hærdnede beton (bygværket), således at entreprenøren bliver nødt til og økonomisk interesseret i selv at kontrollere sin betonfremstilling.

Begge principper har deres naturlige plads i de tekniske organisationsformer, vi har her i landet. En bygherre, der selv har en omfattende teknisk organisation, som f. eks. visse offentlige institutioner, vil som regel foretrække selv at varetage kontrollen. I andre tilfælde foretrækkes den anden metode.

*Det afgørende er, at kontrollen gennemføres.*

## Slutning

Det har været hensigten med denne artikel at omtale nogle grundlæggende problemer i forbindelse med betonkontrol – der-

imod ikke konkret at gennemgå og kommentere de forskellige krav til betonegenskaber og metoderne til deres prøvning. Disse ting er fyldestgørende og detaljeret behandlet i »Vejledning i Betonkontrol«, og en yderligere uddybning af disse emner kan sikkert mest hensigtsmæssigt ske, når vejledningen har været sin prøvetid igennem hos fagets praktiske udøvere.

Med hensyn til anvendelse af statistiske metoder i betonkontrollen gælder, at praktikerne i hvert enkelt tilfælde indgående må overveje muligheder og metoder. Det eksisterende erfaringsgrundlag på dette område er nyt og for utilstrækkeligt til, at vejledningen — og langt mindre den her foreliggende artikel — har kunnet give skematiske regler som generelt anvendelige under de stærkt varierende betingelser, hvorunder betonfremstilling foregår. Der er imidlertid nu forelagt et arbejdsgrundlag, som kan benyttes til at gøre betonkontrollen mere ensartet og bedre navnlig ved større betonarbejder. Efter forfatterens opfattelse kan denne udvikling også fremmes ved at benytte materialet til uddannelse af særlige *betonkontrollanter*, som helt ud mestrer denne vigtige side af produktionen. Hvad enten disse uddannes og ansættes hos de implicerede parter i produk-

tionen, d.v.s. projekterende eller entreprenør, eller de får uddannelsen ved de tekniske undervisningsinstitutioner og en uafhæn-

gig placering i produktionen, vil deres virksomhed kunne blive en værdifuld del af begrebet rationel betonkontrol.

## ENGLISH SUMMARY

### Part 1.

*The Danish National Institute of Building Research has recently published its direction No. 27: »Recommendations for the Control of Concrete.« This booklet intends to serve as a manual for control on the building site of concrete quality. It therefore contains detailed descriptions of all methods for such control, generally used in Denmark. The booklet covers also such subjects as e.g. the application of statistical methods by evaluation of test results. It furthermore deals with the question of requirements for the wanted quality of:*

- 1) *The raw materials, i.e. cement, water, aggregates and admixtures,*
- 2) *The mechanical equipment for concreting,*
- 3) *The green concrete,*

*in order to obtain the adequate quality of the hardened concrete i.e., the structure in function.*

*This article treat some of the basic problems of the control in a rather popular way with special attention paid to the question of a proper evaluation of test results by means of statistical principles.*

### Part 2.

*Sufficient safeguards against bad and widely varying qualities of the hardened concrete cannot be obtained on the basis of incomplete specifications for the concrete as e.g. mix proportioning by volume, unspecified strength values, or simply a type designation.*

*A proper formulation of requirements for any property under control should comprise:*

1. *A full definition of the property*
2. *Determination of the method of measurement*
3. *Numeric value to be obtained specified as either mean or minimum value*
4. *Rules for evaluation of test results compared with the specified numeric value.*

*The problem of frequency of the different tests is treated. The tests are divided into three sections:*

*Section I comprises control of properties expected to be much varying and which are highly influencing the concrete quality. Such tests should be carried out daily or per 10 cubic meter concrete.*



Section II comprises control of properties expected to show only minor variations and also some more troublesome tests serving as a control on measurements of section I. These tests should be carried out weekly or per 100 cubic meter concrete.

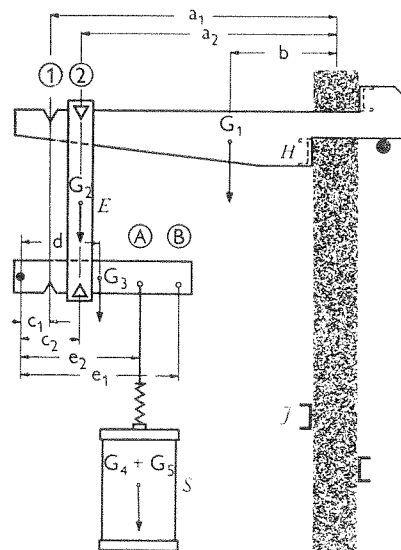
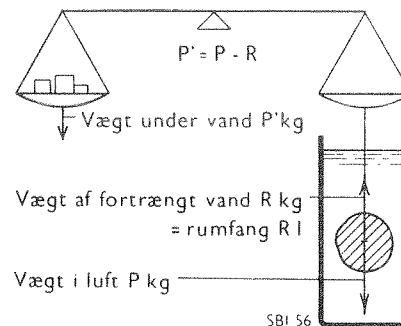
Section III comprises tests of adjustments and control of properties considered rather invariable through a single job. These tests should be carried out monthly or per 1000 cubic meter concrete.

It is finally recommended to make all registrations on printed standard forms, issued by the Danish Association of Civil Engineers, and to prepare graphs from the registered data in order to obtain a continuous survey of the concrete quality.

# SBI

ANVISNING NR. 27  
122 s. A 5. Pris kr. 12,-  
KØBENHAVN 1956

## VEJLEDNING I BETONKONTROL



I normer og betingelser for udførelse af beton- og jernbetonkonstruktioner stilles som regel en række krav til betonens og delmaterialernes egenskaber. I en vis udstrækning er definitionerne imidlertid ofte ufuldstændige og de tilsvarende prøvemethoder ikke normerede.

SBI har derfor fundet det rimeligt at udarbejde denne vejledning, der indeholder en såvidt mulig fuldstændig gennemgang af problemerne.

Vejledningen indeholder først en række afsnit beregnet for de ingeniører, der skal skrive betingelserne for betonarbejdet og tilrettelægge betonkontrollen. I det første af disse afsnit omtales forudsætningerne for betonkontrollen, d. v. s. de almindelige betingelser for kvalitetskontrol, de betonteknologiske forudsætninger, vurdering af prøveresultater samt økonomien. Videre behandles i andet afsnit kravene til materiel, materialer og beton samt formuleringen af disse krav, og i tredje afsnit omtales tilrettelæggelsen af betonkontrolarbejdet, herunder omfanget af kontrollen, indretningen af betonlaboratoriet samt udarbejdelse af blanketter.

De sidste mere populære afsnit vedrører selve prøvningen på byggepladsen, og der gives her detaljerede oplysninger om prøveudtagning, prøveudstyr, fremgangsmåde og beregning. Afsnittene omfatter prøvning af materiel, materialer og beton.

Til sidst findes en udførlig litteraturliste.

Efter aftale med Dansk Ingeniørforening fremtræder bogen i sit udstyr som et supplement til de af DIF i 1951 udgivne håndbøger: Beton I, II og III.

SBI ANVISNINGER KAN FÅS I BOGHADELEN ELLER FRA  
TEKNISK FORLAG, V. FARIMAGSGADE 31, KBHVN. V, BY 9288