

BETONKONTROL



Bibliotekseksemplar 2
Statens Byggeforskningsinstitut

STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT · ANVISNING NR. 27
I KOMMISSION HOS TEKNISK FORLAG KØBENHAVN 1956

STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT

(Borgergade 20, København K. Tlf. Minerva 5630)

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.

NORGES BYGGFORSKNINGSINSTITUTT

(Oslo – Blindern, Tlf. 69 50 90)

NBI er et selvstendig institutt under Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Forskningsråd, som oppnevner styret. NBI ble opprettet 1953 og avløste det midlertidige Kontoret for byggeforskning fra 1949.

NBI skal fremme byggeforskningen ved å klargjøre oppgavene og få dem løst; ved å virke for frivillig koordinering av tiltak og sørge for at forsøksresultater blir gjort kjent.

NBI skal samarbeide med myndigheter, organisasjoner o. a. og bistå offentlige og private oppdragsgivere.

STATENS NÄMND FÖR BYGGNADSFORSKNING

(Styrmansgatan 26, Stockholm Ö. Tel. 63 09 65)

SNB sorterar under Socialdepartementet.

SBN övertog 1953 och utvidgade det arbete, som tidigare utförts av Statens Kommitté för Byggnadsforskning, som tillkom 1942.

SNB har til ändamål att främja forskning och rationalisering inom byggnadsfacket med tonvikten lagt på husbygge.

SNB sprider forsknings- och försöksresultat i form av meddelanden, rapporter och broschyrer samt genom artikler i facktidsskrifter.

STATENS TEKNISKA FORSKNINGSANSTALT

VALTION TEKNILLINEN TUTKIMUSLAITOS

(Lönnrotsgatan 37, Helsingfors. Tel. 11 151)

Anstalten som konstituerades 16. 1. 1942 (förfatningssamling n:o 44) är underställd handels- och industriministeriet.

På Statens tekniska forskningsanstalt ankommer att bedriva teknisk forskningsverksamhet i vetenskapligt och allmännyttigt syfte mm. på byggnadstekniska området, att utföra materialprovningssuppdrag jämte andra forskningsuppdrag samt att bistå tekniska högskolan i undervisnings- och forskningsarbete.

VEJLEDNING I BETONKONTROL

Eftertryk tilladt, men kun efter nærmere aftale med Statens Byggeforskningsinstitut, da meningen og resultaternes rækkevidde kan forflygtiges, hvis enkelte figurer eller dele af teksten tages ud af den almindelige sammenhæng.

DK 693.5 : 69.058

VEJLEDNING I BETONKONTROL

Oplag 3000
Trykt hos J. H. SCHULTZ A/S
Klicheer fra HAMMERSCHMIDT KLICHEFABRIKER
Lay-out PETER MOGENSEN

STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT ANVISNING NR. 27
I KOMMISSION HOS TEKNISK FORLAG KØBENHAVN 1956

FORORD

Både i udlandet og herhjemme har der i de senere år været gjort en energisk indsats for at forbedre betonfremstillingen, dels ved en mere systematisk kontrol på arbejdspladserne, dels ved et mere kritisk valg af materialer og materiel og en mere omhyggelig sammensætning af betonmaterialerne. Her i landet må blandt andet de af DIF udgivne »Betonblanketter« tillægges stor betydning.

Den anvisning, der hermed udsendes, giver en systematisk fremstilling af betonkontrollens tilrettelæggelse og udførelse med udgangspunkt i de krav, der stilles til den producerede beton. Blandt kontrolmetoderne indtager pyknometermetoden en fremtrædende plads. Der er i denne forbindelse anledning til at erindre om, at denne bekvemme metode allerede i trediveerne er publiceret i »Beton Teknik« af civilingeniør, dr. techn. ERIK V. MEYER.

Anvisningen går ind for, at kravene til betonens kvalitet formuleres på en sådan måde, at entreprenørerne – i hvert fald ved større arbejder – ser deres fordel i at gennemføre en betonkontrol efter de angivne retningslinier.

Det grundlæggende synspunkt er, at den fordel, bygherren har af at få leveret beton med en ensartet sammensætning, skulle berettige til en vis reduktion af cementindholdet og dermed – alt andet lige – til en lavere middelstyrke, end hvis betonens sammensætning varierer mere, således som det uvægerligt vil være tilfældet ved primitive fremstillingsmetoder og ringe kontrol.

Anvisningen henvender sig derfor ikke alene til dem, der skal forestå og udføre betonkontrollen på pladsen, men også til dem, der skal formulere entreprisekontraktens krav til betonfremstilling.

Anvisningen er resultatet af et mangeårigt SBI-team-work, og der findes derfor ingen forfatternavne på omslaget. Undertegnede påbegyndte allerede ved SBI's start indsamlingen af oplysninger om prøvemethoder og gjorde de første primitive forsøg på at anvende statistiske metoder i betonkontrollen. Dette arbejde er herefter gennem flere år videreført og i betydelig grad udvidet ved samarbejde med ingeniør P. NERENST, der forfattede det første manuskript til bogen i 1952, da det var hensigten at offentliggøre den ved DIF's betonarbejdsgruppes foranstaltning. Da manuskriptet da var færdigt, fandt gruppen, at opgaven med udgivelsen var større end man kunne magte, og der blev truffet aftale med SBI om videreførelse af sagen.

SBI fandt det rimeligt at udvide bogen, så den kom til at indeholde en fuldstændig samling prøvemethoder samt at gennemarbejde de statistiske kontrolmetoder, så de fremkom i den for praksis bedst anvendelige form.

Denne revision påbegyndtes af ingeniør G. M. IDORN og cand. polit. P. BREDSORFF og fuldførtes af ingeniør B. WARRIS, der bærer hovedansvaret for den her foreliggende fremstilling.

De i anvisningen anbefalede principper og metoder har været gennemprøvet af ingeniørerne NERENST og WARRIS under deres arbejde ved betonkontrollen med de flyvepladser, der efter krigen byggedes af militæret i Jylland, og de her indhøstede erfaringer er blevet indarbejdet i den sidste korrektur.

I den nu foreliggende form er bogen blevet en alsidig og så vidt muligt fuldstændig *håndbog* i praktisk betonprøvning og -kontrol, som vi håber vil være til nytte i praksis. Den supplerer og slutter sig så nøje til de af DIF i 1950 udgivne 3 betonbøger

- I Beton materialer
- II Beton proportionering
- III Beton arbejdspladsen

at vi efter aftale med DIF og Teknisk Forlag har fundet det naturligt at udsende den i samme udstyr, så den nemt finder sin plads på reolen ved siden af disse.

Vi håber, at anvisningen gennem sin håndbogs- eller »køgebogsagtige« præsentation af stoffet kan bidrage til, at betonkontrollen vinder større udbredelse her i landet – og derigennem til en forbedring og billiggørelse af betonproduktionen.

Statens Byggeforskningsinstitut
August 1956
NIELS MUNK PLUM

INDHOLDSFORTEGNELSE

0. INDHOLDSOVERSIGT	8
0.1 SYMBOLFORTEGNELSE	10
1. FORUDSÆTNINGER FOR BETONKONTROL	12
1.1 ALMENT OM KVALITETSKONTROL	12
1.11 Modtagekontrol	12
1.12 Proceskontrol	13
1.2 BETONTEKNOLOGISKE FORUDSÆTNINGER	14
1.21 Betonprøvning	14
1.22 Hærdnet betons egenskaber	15
1.23 Frisk betons egenskaber	15
1.3 VURDERING AF PRØVERESULTATER	18
1.31 Middeltal og spredning	18
1.32 Minimumsværdi (Maksimumsværdi)	23
1.33 Sammenligninger	24
1.34 Middeltal og spredning for flere forsøgsserier	25
1.4 ØKONOMI	26
1.5 BETINGELSERNE (KONTRAKTEN)	28
1.6 GRUNDLAG FOR PRØVEMETODERNE	29
1.61 Pyknometermetoden	29
1.62 Formler	32
2. KRAV TIL BETONFREMSTILLING	35
2.1 KRAVENES FORMULERING	35
2.11 Definition og prøvemethode	36
2.12 Størrelse og tolerance	37
2.2 KRAV TIL MATERIEL	39
2.21 Afmåling af vand	39
2.22 Afmåling af tilslagsmaterialer (evt. cement)	43
2.23 Afmåling af luftindblandingsmiddel	44
2.24 Blandemaskine	44
2.3 KRAV TIL MATERIALER	48
2.31 Cement	48
2.32 Vand	49
2.33 Luftindblandingsmiddel	50
2.34 Grus	50
2.4 KRAV TIL BETON	53
2.41 Styrke	54
2.42 $c/(v+l)$ -forhold	56
2.43 Bearbejdelighed	56
2.44 Luftindhold	56
3. TILRETTELÆGGELSE AF BETONKONTROL	57
3.1 KONTROLLENS OMFANG	57
3.2 LABORATORIETS Udstyr - JUSTERING	65
3.21 Liste over prøveudstyr	65
3.22 Pyknometerglas	66
3.23 Vebe-apparat	66
3.24 Luftmåleapparat	67
3.25 Bjælkeprøveapparat	70

3.26 Cylinderprøveapparat	72
3.27 Termostatstyret vandbad	73
3.3 BLANKETTER	73
4. PRØVNING AF MATERIEL	79
4.1 AFMÅLING AF VAND	79
4.2 AFMÅLING AF TILSLAGSMATERIALER	80
4.3 AFMÅLING AF LUFTINDBLANDINGSMIDDEL	80
4.4 BLANDING	81
5. PRØVNING AF MATERIALER	83
5.1 CEMENT	83
5.2 VAND	83
5.3 LUFTINDBLANDINGSMIDDEL	84
5.4 GRUS	84
5.41 Udtagning og tørring af grusprøver	84
5.42 Uegnede gruskorn (herunder kalk)	85
5.43 Humus	86
5.44 Ler	87
5.45 Kornkurve	87
5.46 Fillerindhold (materialer $< 0,25$ mm)	90
5.47 Kornform	91
5.51 Neddykningskoefficient og kornvægtfylde	92
5.52 Fugtighedsindhold	94
5.53 Rumvægt og svelningskurve	95
6. PRØVNING AF BETON	98
6.1 UDTAGNING AF PRØVER	98
6.2 BEARBEJDELIGHED	98
6.21 Sætmål	99
6.22 Vebe-apparat	101
6.3 VANDTILSÆTNING	101
6.31 Almindelig metode	102
6.32 Pyknometermetoden	103
6.4 LUFTINDHOLD	104
6.41 Pyknometermetoden	105
6.42 Specielle apparater (Press-urmeter, Meyer-meter)	107
6.5 STYRKE	109
6.51 Trykprøver	110
6.52 Bøjningstrykprøver	111
6.53 Bøjningstrækprøver	113
6.6 UDBYTTE	116
6.61 Rumvægtsmetoden	117
7. LITTERATURFORTEGNELSE	119
7.1 HÅNDBØGER, NORMER, TIDSSKRIFTER	119
7.2 LITTERATUR, HENVIST TIL I TEKSTEN	120

0. INDHOLDSOVERSIGT

Denne vejledning i betonkontrol indeholder først en række afsnit beregnet for de ingeniører, der skal skrive betingelserne for betonarbejdet og tilrettelægge betonkontrollen. I disse afsnit omtales

1. FORUDSÆTNINGER FOR BETONKONTROL
2. KRAV TIL BETONFREMSTILLING
3. TILRETTELÆGGELSE AF BETONKONTROL

De sidste mere populære afsnit vedrører selve prøvningen på byggepladsen og giver detaljerede oplysninger om prøveudtagning, prøveudstyr, fremgangsmåde og beregning. Afsnittene omfatter

4. PRØVNING AF MATERIEL
5. PRØVNING AF MATERIALER
6. PRØVNING AF BETON

Oplysninger man kun sjældent har brug for er sat med petit. Kontrol med kvaliteten af betonen i et bygværk kan i princippet ske dels efter bygværkets færdiggørelse, dels under dets fremstilling. Anvisningen beskæftiger sig kun med kontrollen, der foregår ved betonfremstillingen.

Kontrollen med betonfremstillingen omfatter først og fremmest kvaliteten af den friske beton og materialerne, komprimeringen (udstøbningen), samt efterbehandlingen. Kontrol af komprimering og efterbehandling foregår ved sædvanlig inspektion og omtales ikke i anvisningen.

Med de således givne begrænsninger bliver betonkontrollens vigtigste formål at sikre, at betonen, der forlader blanderen, er 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 af bygværket – vil kunne opnå de i betingelserne forlangte egenskaber, f. eks. styrke (afsnit 1.1 og 1.2).

Styrkeprøver kommer for sent til at muliggøre rettidige indgreb i betonfremstillingen, og hovedvægten i anvisningen er derfor lagt på kontrol med den friske beton og kontrol med materialer og materiel (afsnit 1.2).

Prøvning af en betonegenskab, f. eks. styrken, giver som regel stærkt varierende resultater inden for en støbeperiode, og vurdering af resultaterne kræver derfor kendskab til begreber som middeltal, spredning og tolerancegrænser (afsnit 1.3).

Betonkontrol kan betale sig – i hvert fald ved betonarbejder af et rimeligt stort omfang. Det dyrere materiel og udgifter til betonprøvningen modsvares af en besparelse i cementindholdet (afsnit 1.4).

Betonkontrol kan udføres enten af bygherren – kravene til betonfremstillingen bør da stå i betingelserne for arbejdet – eller af entreprenøren (afsnit 1.5).

Betonkontrol kan gennemføres med ret simple midler uden særlige udviklede beregninger. En væsentlig del af de angivne prøvemethoder kræver intet særligt materiel ud over et pyknometerglas, og beregningerne bygger på Arkimedes's lov (afsnit 1.6).

En heldig gennemførelse af betonkontrollen afhænger bl. a. af en fornuftig formulering af kravene til betonfremstillingen. De ønskede betonegenskaber skal angives nøjagtigt, og kravene skal omfatte definition af egenskaben, prøvemethode og prøvningsomfang samt størrelse (talværdi) og tolerance (afsnit 2.1).

En detaljeret oversigt over krav til materiel, materialer og beton dels på grundlag af normer, dels hentet fra praksis og litteratur er samlet i afsnit 2.

Tilrettelæggelserne af betonkontrollen omfatter først og fremmest omfanget af prøvningerne (afsnit 3.1). På arbejdspladsen skal indrettes et betonlaboratorium med prøveudstyr (afsnit 3.2), og resultaterne fra prøvningerne må samles på skemaer og blanketter (afsnit 3.3).

I anvisningens 3 sidste afsnit gennemgås en række prøvemethoder for materiel, materialer og beton.

Til sidst findes en litteraturfortegnelse (afsnit 7), hvortil der i teksten er henvist ved klammer. F. eks. [48 P 16].

0.1 SYMBOLFORTEGNELSE

I anvisningen anvendes følgende symboler overalt – derudover forekommer enkelte symboler med speciel henvisning til det sted, hvor de er defineret.

P (kg)	vægt (i luft)
P' (kg)	vægt under vand
R (liter)	rumfang
f (%)	fillerindhold i % af den samlede vægt af tørre grusmaterialer
u	neddykningskoefficient = P'/P
v (%)	fugtighedsindhold i % af grusets tørvægt
γ (kg/liter)	vægtfylde (specifik vægt)
ρ (kg/liter)	rumvægt

Disse symboler forsynes som regel med et index, der angiver, til hvilket materiale de refererer:

B	beton
C	cement
G	grus
L	luft
S	sand
St	sten
V	vand

Derudover betegner:

P_0, P'_0 (kg)	pyknometerglassets vægtkonstanter (afsnit 3.22)
P_1, P'_1 (kg)	vejningerne ved pyknometermetoden, henholdsvis i luft og under vand (afsnit 1.61)

Materiemængder i et bestemt rumfang eller en bestemt mængde (f. eks. pr. m^3 beton) betegnes ved små bogstaver:

c (kg/ m^3)	cementmængde
g (kg/ m^3)	grusmængde
l (liter/ m^3)	luftindhold (måles luftindholdet i % benyttes betegnelsen l_0)
s (kg/ m^3)	sandmængde
st (kg/ m^3)	stenmængde
v (liter/ m^3)	vandindhold

Styrken betegnes på følgende måde:

σ_T (kg/ cm^2)	= terningtrykstyrke
σ_c (kg/ cm^2)	= trykstyrke i almindelighed
σ_b (kg/ cm^2)	= bøjningstrykstyrke
σ_t (kg/ cm^2)	= bøjningstrækstyrke

og eventuelt angiver et ekstra index prøvetidspunktet (f. eks. $\sigma_{T,28}$).

Endelig findes de statistiske symboler:

\bar{x}	middeltal
s	spredning
x_{min} (5 %)	5 % nedre grænse (afsnit 1.32). Tallet i parentes kaldes toleranceprocenten.
Δ	et prøveresultats afvigelse fra middeltal eller skalainstilling.

1. FORUDSÆTNINGER FOR BETONKONTROL

1.1 ALMENT OM KVALITETSKONTROL

Formålet med kontrol (betonkontrol) er at sikre, at det leverede produkt (opførte bygværk) har visse fastlagte egenskaber, f. eks. tykkelse, styrke, holdbarhed.

Kontrol hviler traditionelt på en subjektiv bedømmelse af egenskaberne hos det leverede produkt, men der er i de senere år til brug inden for fortrinsvis maskin- og elektroindustrien udviklet objektive kontrolmetoder på statistisk grundlag (se f. eks. [48 H 25] og [53 H 6]). Principperne kan til dels overføres til betonfremstillingen.

Den statistiske kvalitetskontrol omfatter to forskellige kontrolformer:

1. Modtagekontrol – udføres af varemottageren (bygherren), når varen (bygværket) afleveres.
2. Proceskontrol – foretages under fremstillingsprocessen sædvanligvis af producenten (entreprenøren).

1.11 MODTAGEKONTROL

Modtagekontrollen kan foregå på den måde, at hver eneste del af det leverede parti prøves. (100 % inspektion). I de fleste tilfælde er en sådan fremgangsmåde dels unødvendig af hensyn til varens anvendelse, dels meget kostbar. I visse tilfælde kan den slet ikke gennemføres, fordi prøvningen er destruktiv (gælder hyppigt for prøvninger i forbindelse med betonkontrol). I stedet for 100 % kontrol anvendes derfor som regel stikprøvekontrol.

Ved stikprøvekontrol udtages et antal stikprøver tilfældigt i varepartiet (vedr. »tilfældig« prøveudtagning, se f. eks. [50 P 4]) og benyttes til et skøn over, om varepartiet som helhed kan siges at opfylde de kvalitetskrav, der er stillet. Der er en sammenhæng mellem stikprøvernes størrelse og antal og den nøjagtighed, hvormed denne afgørelse træffes – en enkelt eller to stikprøver vil f. eks. kun i sjældne tilfælde være tilstrækkeligt til, at man kan bedømme kvaliteten godt nok. Opstilling af en plan for udtagning af stikprøver kræver betydeligt kendskab til den statistiske teori, men metoden er i meget betydelig udstrækning benyttet i de store industrilande, hvor der udgives små tabelsamlinger til lettelse af arbejdet hermed (f. eks. [50-94]).

Modtagekontrollen svarer til kontrol med betonen i det færdige bygværk. En stikprøvekontrol af dette kan foretages ved udboring af cylindre eller ved ikke-destruktive prøvemethoder.

Ved stikprøvekontrol (= partiel prøvning, se [50 P 4]) i forbindelse med betonarbejder er prøveantallet som regel så lille, at man kun kan vurdere, om kvaliteten af partiet taget *som helhed* er tilfredsstillende; man kan f. eks. sjældent ved stikprøvevis udboring af cylindre i en betonvej sige noget om, at bestemte arealer af vejen ikke opfylder de stillede krav. En enkelt prøve med for ringe kvalitet kan ikke tages som udtryk for, at belægningen netop i omegnen af prøveudtagningsstedet er for dårlig, og ekstra prøver taget i nærheden kan ofte give tilfredsstillende resultater. Kun hvis man af andre årsager, f. eks. fordi betonfremstillingen har været mangelfuld i en periode, nærer mistanke til kvaliteten i det pågældende område, vil ekstra prøveudtagninger være rimelige. I modsat fald kan man kun ved en fuldstændig prøvning (100 % inspektion) lokalisere områder med for ringe kvalitet.

Anvendelse af modtagekontrol forudsætter i princippet, at varepartiet, hvis det ikke opfylder de stillede betingelser, kasseres, men denne mulighed er ikke til stede i samme omfang for et bygværk som for et parti seriefremstillede maskinelementer (afsnit 1.5). Da endvidere kontrol af betonen i det færdige bygværk ofte er besværlig og kostbar, udfører man som regel kontrol med betonkvaliteten under udstøbningen, hvilket inden for industrien svarer til producentens proceskontrol.

1.12 PROCESKONTROL

Ved proceskontrollen søger man ved at udtage prøver fra alle dele af produktionen at holde denne således under kontrol, at kvaliteten af det færdige produkt vil kunne tilfredsstille kravene i specifikationer eller leveringsbetingelser. De udtagne prøver måles (egenskaber med kontinuert variation) eller klassificeres i en af grupperne »godkendt« eller »kasseret« (alternativ variation).

Det gælder for proceskontrol som for modtagekontrol, at der er en sammenhæng mellem prøvernes omfang og antal og chancen for at finde tilfredsstillende kvalitet i det færdige produkt. For betonkontrollens vedkommende hænger prøveantallet derfor i princippet sammen med kontrolklassen (jfr. DS 411), der er udtryk for den sikkerhed, hvormed man ønsker at kende betonens kvalitet.

En egenskab, hvis variation er kontinuert, kan kun kontrolleres, såfremt den kan måles – helst på en simpel måde. En del af de egenskaber, der angives i betingelser for betonarbejder, opfylder ikke dette krav (afsnit 2.1).

Proceskontrollen forudsætter i princippet, at der foretages korrigerende indgreb i produktionen på grundlag af de registrerede måleresultater. En betonegenskab som 28 døgns styrken er derfor ikke velegnet ved proceskontrol, da indgrebet i processen kommer på et alt for sent tidspunkt, måske endda først, når støbearbejdet er forbi.

Anvendelse af principperne for proceskontrol på betonfremstillingen vanskeliggøres i det hele taget af, at betontechnologien ikke har nået samme udviklingstrin som de videnskaber, der ligger til grund for maskin- og elektroindustriens fremstillingsprocesser (afsnit 1.2).

1.2 BETONTEKNOLOGISKE FORUDSÆTNINGER

1.2.1 BETONPRØVNING

Kvalitetskontrol forudsætter måling eller prøvning af den egenskab, man ønsker at kontrollere. Prøvning af betonens egenskaber (f. eks. styrken) rejser en række problemer med hensyn til bl. a. prøveudtagning og prøvelegemernes form. [50 P 4].

Styrkeprøvningen udføres undertiden »efterlignende«. Man udstøber en serie prøvelegemer (terninger, cylindre, bjælker) og behandler dem så vidt muligt på samme måde som betonen i det bygværk, der støbes, antagelig fordi man regner med derved at få den bedst mulige kontrol med betonen i bygværket. Der vil imidlertid altid være betydelig forskel mellem komprimeringen, lagringstemperaturen og -fugtigheden for prøvelegemer og bygværk – de afvigende dimensioner er tilstrækkelig til at give en sådan forskel – og dette medfører en ukontrollabel forskel i styrken. På den anden side bliver variationerne i prøvelegemernes komprimerings- og lagringsforhold så store, at de i betydelig grad tilslører fejl i den del af betonfremstillingen, der foregår i blandede anlægget.

Det er umuligt ved »efterlignende« prøvning at få en egentlig kontrol af betonkonstruktionen; dette kan kun ske ved udboring af prøver eller ved ikke-destruktive metoder, som nævnt i afsnit 1.11. Kontrol med betonkvaliteten under udstøbningen må derfor begrænses til at omfatte kontrol med den beton, der forlader blanderen, suppleret med en subjektiv bedømmelse af komprimeringen og efterbehandlingen af bygværket, da der endnu ikke findes objektive metoder hertil. Princippet for betonkontrollen er derfor følgende:

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) af bygværket – vil kunne opnå den i betingelserne forlangte egenskab, f. eks. styrke.

Den foreliggende anvisning vil kun beskæftige sig med kontrol af kvaliteten af betonen, når den forlader blandede anlægget. Det må dog understreges, at kravene til komprimering og efterbehandling og kontrollen heraf er mindst lige så vigtige.

1.2.2 HÆRDNET BETONS EGENSKABER

Først og fremmest er man interesseret i at kontrollere den hærtnede betons egenskaber eller nøjagtigere – at kontrollere, hvilke egenskaber betonen må antages at kunne få, når den er hærtnet (sml. afsnit 1.21).

Som regel ønsker man fortrinsvis at kontrollere *styrken*, da denne er forudsætningen for de tilladelige spændinger i dimensionsberegningen. Styrken af den fra blanderen leverede beton kan prøves ved udstøbning af prøvelegemer, der komprimeres og lagres under standardiserede, konstante forhold og prøves efter 3, 7 eller 28 døgns (se afsnit 6.5). Selve styrkeprøvningen foregår ofte på et laboratorium.

Holdbarheden, herunder modstandsdygtigheden mod frost og kemiske angreb, er dels vanskelig at definere, dels besværlig at måle, men er af afgørende betydning for en betonkonstruktion. Sådanne målinger må foretages på laboratorier.

Andre væsentlige egenskaber hos den hærtnede beton er f. eks. *vandtæthed* og *svind*. Måling af disse kan som regel kun foregå i et laboratorium og er derfor ikke omtalt i denne anvisning.

En oversigt over hærtnet betons egenskaber findes bl. a. i [50 P 4].

Proceskontrol kan ikke bekvemt tilpasses nogen af de nævnte egenskaber hos den hærtnede beton. De er svære at måle, og indgreb i betonens fremstillingsproces kan vanskeligt foretages på grundlag af de foretagne målinger, dels fordi prøveresultaterne ikke kommer hurtigt nok, dels fordi man ikke altid kan finde frem til, hvilke fejl i fremstillingen der er skyld i f. eks. en for lav styrke.

Det er derfor nærliggende at undersøge mulighederne for at basere betonkontrollen på måling af den friske betons egenskaber.

1.2.3 FRISK BETONS EGENSKABER

Problemerne i forbindelse med sammenhængen mellem den friske og den hærtnede betons egenskaber er langt fra løst til bunds, og i det følgende er kun i grove træk gjort rede for de væsentligste årsager til variationer i den hærtnede betons egenskaber.

Sammenhæng med styrken – Betonstyrken på et bestemt tidspunkt og på et bestemt sted i det færdige bygværk vil først og fremmest afhænge af cementkvaliteten,

hærdningsprocessens forløb og

forholdet $c/(v+l)$ mellem cementmængden og vand- plus luftporerne i den *hærdnede* beton.

Andre forhold kan øve indflydelse, men kontrol med de nævnte variable skulle som regel være tilstrækkelig til at holde styrken under kontrol og opspore årsager til eventuelle lave styrker, målt ved udstøbning af prøvelegemer.

Kontrol med *cementkvaliteten* kan udføres som angivet i afsnit 5.1.

Kontrol med *hærdningsprocessens* forløb falder til dels uden for rammerne af den foreliggende anvisning. Et enkelt problem, nemlig kontrol med mængden af forureninger, der kan sinke eller hindre hærdningen, omtales i afsnit 5.43.

$c/(v+l)$ -forholdet i det færdige bygværk er afgørende for styrken. Dette forhold afhænger, foruden af den mængde cement, vand og luftindblandingsmidler, der tilsættes ved blanderen, af, hvorledes betonen komprimeres. Komprimeringen formindsker volumen af porer – gør betonen mere kompakt. Som nævnt i afsnit 1.21 må kontrol med komprimeringen af betonbygværket indtil videre overlades til en subjektiv vurdering, men kvaliteten af den fra blanderen leverede beton bør være således, at man, når komprimeringen foregår på ensartet, efter den foreliggende konstruktionsdel afpasset, måde, får samme kompakthed overalt i konstruktionen. Dette opnås med tilfredsstillende nøjagtighed, når *bearbejdeligheden* – hvorved her forstås den ved sætmål eller vebeapparat målte egenskab – holdes under kontrol. I så fald vil der med tilnærmelse være sammenhæng mellem $c/(v+l)$ -forholdet for den *friske*, ved blandaanlægget prøvede beton, og den styrke, man under ensartet lagring, komprimering, cementkvalitet og forureningsmængde vil kunne opnå i konstruktionen.

Kontrol med $c/(v+l)$ for den friske beton omfatter måling af cement-, vand- og luftmængde, således som det er omtalt i afsnit 4, 6.3 og 6.4. Den omfatter bl. a. kontrol med vægte og vandtank.

Såfremt styrken kontrolleres både direkte ved udstøbning af prøveterninger og indirekte ved måling af $c/(v+l)$, kan sammenhængen mellem 28 døgns terningtrykstyrkerne og $c/(v+l)$ – forudsat at prøverne stammer fra samme blanding – tilnærmet udtrykkes ved formlen

$$\sigma_{T,28} = 0,9 K_C \left(\frac{c}{v+l} - 0,25 \right)$$

hvor K_C er en konstant, der afhænger bl. a. af cementkvalitet og lagringsforhold. Med dansk portlandcement og vandlagring ved 15°C har man fundet $K_C \sim 325$, men ofte findes betydeligt lavere værdier.

Bearbejdeligheden måles som nævnt ved sætmål eller vebeapparat (se afsnit 6.2) eller bedømmes på øjemål. Variationer i bearbejdeligheden bestemmes fortrinsvis af følgende faktorer.

vandmængde og luftmængde, evt. cementmængde

grusmængder

gruskornkurve

gruskornenes egenskaber (form, porøsitet)

ler- og fillerindhold.

Måling af disse gør det muligt at finde frem til årsagerne til eventuelle store variationer i bearbejdeligheden. Bestemmelse af den første af de nævnte faktorer er allerede nødvendig for styrkekontrollen (se ovenfor).

Sammenhæng med holdbarheden – Sammenhængen mellem variationer i holdbarheden, herunder modstandsevnen mod frost og kemiske angreb, og den friske betons egenskaber er til dato ikke fuldt ud klarlagt, og man må derfor nøjes med følgende prøver:

Undersøgelse af grusets kalkindhold, porøsitet m. v. efter DS 411.

Mineralogisk undersøgelse af gruset (eventuelt).

Måling af luftindhold.

Iøvrigt henvises til afsnit 5.4. Måling af luftindholdet har også betydning for styrkekontrollen.

Sammenhæng med den hærdnede betons øvrige egenskaber – I alt væsentligt har de ovennævnte egenskaber hos den friske beton, som er bestemmende for variationerne i styrken og holdbarheden, også hovedansvaret for variationer i den hærdnede betons øvrige egenskaber, f. eks. vandtæthed og svind. De målemetoder, der angives i den foreliggende anvisning, vil derfor kunne benyttes også, når sådanne egenskaber skal holdes under kontrol.

En nogenlunde fuldstændig oversigt over de egenskaber, det er nødvendigt at prøve for at holde kontrol med styrken og holdbarheden, findes i afsnit 3.21.

1.3 VURDERING AF PRØVERESULTATER

1.3.1 MIDDELTAL OG SPREDNING

En betonegenskab som styrken kan ikke fastlægges ved angivelse af eet tal. Ligesom man i maskinindustrien f. eks. ved målsætning af en aksel samtidig med dimensionen angiver et toleranceområde, må betonstyrken karakteriseres ved to tal. Simplest er det at angive styrkens *middelværdi* og *spredning*.

Tabel 1 illustrerer dette. De 60 sæt prøveterninger er udtaget af en betonproduktion, strækkende sig over 2½ måned; 28 døgn trykstyrkeresultaterne er opstillet i tabellen efter størrelse. Hvert tal er middeltal af en serie på 3 terninger udstøbt af beton fra samme blanding. Betonfremstillingen på den pågældende arbejdsplads var overordentlig ensartet, og dog er der mellem den laveste styrke (383 kg/cm²) og den højeste (486 kg/cm²) en forskel på 103 kg/cm² eller ca. 25 % af middelstyrken (437 kg/cm²). Hvis man derfor nøjes med at karakterisere styrkeresultaterne ved middeltallet, vil man kun få et ufuldstændigt billede af de opnåede betonstyrker i deres helhed.

Det gælder imidlertid for disse styrker, at de fordeles sig om middeltallet efter en fordelingslov, med tilnærmelse den såkaldte Gauss-kurve, hvilket kan vises ved at optegne resultaterne på et ark sandsynligheds-papir (fig. 1), hvor man som abskisse angiver styrkerne, som ordinat har en procentinddeling.

Styrkerne i tabel 1 er opdelt i grupper hver omfattende et interval på 5 kg/cm² og begyndende med 382,5 kg/cm². Vi optæller nu hvor mange af styrkerne der er lavere end 387,5 kg/cm², end 392,5 kg/cm² o.s.v., regnet i % af det samlede antal. Disse procenter afsættes nu på sandsynligheds-papir (fig. 1) som ordinater svarende til intervallerne middelværdier som abskisse, og vi kan derefter aflæse på figuren, hvor mange af prøveserierne, der har givet styrker lavere end den, der aflæses på abskisseaksen. Er der forholdsvis få prøver, kan det ofte bedre betale sig i stedet at afsætte de enkelte resultater, idet man regner ud, hvor mange procent af resultaterne en prøve udgør (i tabel 1 f. eks. 1,67 %).

Som det ses, ligger punkterne, bortset fra de yderste i hver ende, ret nær på en ret linie, hvilket er kendetegnet på, at resultaterne fordeles sig efter en Gauss-kurve. Fastlæggelsen af den rette linie, der bedst svarer til den optegnede kurve, kan da ske ved udregning af middeltallet \bar{x} og spredningen s efter formlerne

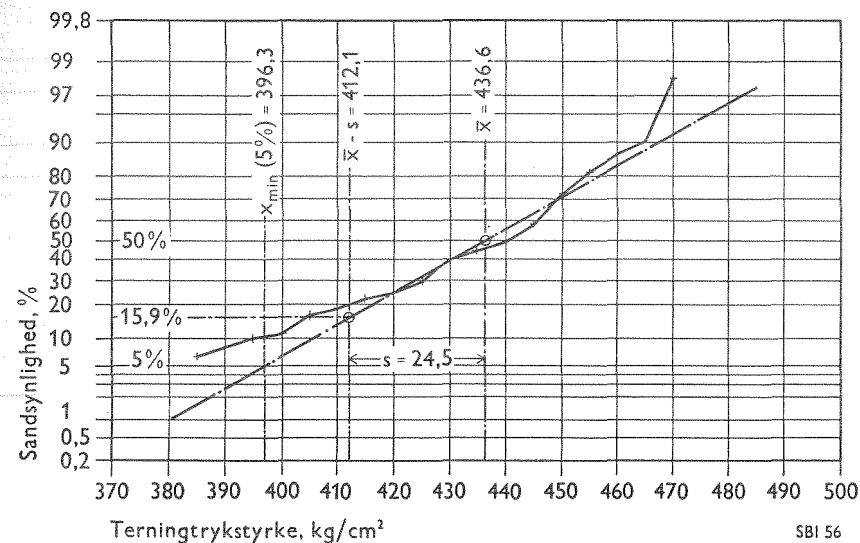


Fig. 1. Fordelingskurve for 60 terningtrykstyrker afsat på sandsynligheds-papir (sm. lgn. tabel 1). Den rette linie er Gauss-kurven for normal fordeling.

$$\text{middeltal } \bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_N}{N} = \frac{S}{N}$$

$$\text{spredning } s = \sqrt{\frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots + (x_N - \bar{x})^2}{N-1}} = \sqrt{\frac{SAK}{N-1}}$$

hvor x_1, x_2, \dots betegner de enkelte prøveresultater og N antallet af disse. Middeltallet er Summen af enkeltresultaterne S divideret med antallet, spredningen er kvadratroden af Summen af Afvigelsernes Kvadrater SAK , divideret med antallet minus 1. Beregningen er udført i tabel 1*. Ofte benyttes i stedet for spredningen s *variationskoefficienten*, der defineres som s/\bar{x} eller *variansen* defineret som s^2 .

* Beregning af middeltal og spredning kan udføres lettere ved hjælp af en kombineret additions- og multiplikationsmaskine, idet SAK da beregnes af

$$SAK = SK - \frac{S^2}{N}$$

hvor SK er Summen af Kvadraterne af enkeltresultaterne.

TABEL 1

28 DØGNS TERNINGTRYKSTYRKER

1. 8. 1953-19.10. 1953

1	2	3	4	5
Nr.	$\sigma_{T,28}$ kg/cm ²	Summeret antal %	$x_i - \bar{x}$	$(x_i - \bar{x})^2$
1	383		- 54	2916
2	385		- 52	2704
3	386		- 51	2601
4	386	6,7	- 51	2601
5	395		- 42	1764
6	396	10,0	- 41	1681
7	400	11,6	- 37	1369
8	403		- 34	1156
9	406		- 31	961
10	406	16,7	- 31	961
11	412	18,3	- 25	625
12	413		- 24	576
13	417	21,6	- 20	400
14	419		- 18	324
15	422	25,0	- 15	225
16	423		- 14	196
17	427		- 11	121
18	427	30,0	- 11	121
19	428		- 9	81
20	428		- 9	81
21	430		- 7	49
22	430		- 7	49
23	432		- 5	25
24	432	40,0	- 5	25
25	433		- 4	16
26	436		- 1	1
27	437	45,0	0	0
28	439		2	4
29	440		3	9
30	441	50,0	4	16

$\bar{x} = 400 + \frac{2195^*}{60} = 436,6 \sim 437 \text{ kg/cm}^2$. $SAK = 35299$ (summen af kol. 5.)

Regnemaskine (sml. fodnote, side 19)

$S = 26195$. $N = 60$. $\bar{x} = 436,6 \sim 437 \text{ kg/cm}^2$. $SK = 11471780$. $\frac{S^2}{N} = 11436300$.

* Ved beregning her af summen S er på forhånd subtraheret 400 fra alle prøveresultaterne.

1	2	3	4	5
Nr.	$\sigma_{T,28}$ kg/cm ²	Summeret antal %	$x_i - \bar{x}$	$(x_i - \bar{x})^2$
31	443		6	36
32	445		8	64
33	445		8	64
34	445		8	64
35	446	58,3	9	81
36	448		11	121
37	448		11	121
38	448		11	121
39	450		13	169
40	450		13	169
41	451		14	196
42	451		14	196
43	452		15	225
44	452	73,3	15	225
45	453		16	256
46	454		17	289
47	454		17	289
48	454		17	289
49	455	81,7	18	324
50	458		21	441
51	459		22	484
52	461	86,7	24	576
53	466		29	729
54	467	90,0	30	900
55	468		31	961
56	468		31	961
57	468		31	961
58	469		32	1024
59	469	98,3	32	1024
60	486	100,0	49	2401

$s = \sqrt{\frac{35299}{59}} = 24,5 \text{ kg/cm}^2$.

$SAK = 35480$. $s = \sqrt{\frac{35480}{59}} = 24,5 \text{ kg/cm}^2$.

For så vidt prøveresultaterne fordeler sig efter Gauss-kurven – hvilket almindeligvis med god tilnærmelse er tilfældet – kan fordelingskurven (den rette linie) tegnes som vist på fig. 1. Linien går altid gennem de i tabel 2 angivne punkter.

TABEL 2
PUNKTER PÅ FORDELINGSLINIEN (Gauss-fordeling)

	abscisse	ordinat
1	\bar{x}	50,0 %
2	$\bar{x}-s$	15,9 %

Ved hjælp af en kurve som fig. 1 (eller tilnærmet ved hjælp af middeltallet \bar{x} og spredningen s) kan vi vurdere, om en fremstillet betonmængde opfylder kravene til en bestemt kvalitet – i det foreliggende tilfælde 28 døgns terningtrykstyrken.

Kvaliteten må vurderes for betonproduktionen som helhed. Man kan ikke kassere en enkelt dags produktion på grundlag af et lavt styrkeresultat udtaget som stikprøve den pågældende dag, medmindre man da ad en anden vej kan påvise, at der den pågældende dag har været begået en fejl, f. eks. glemt i pose cement pr. blanding hele dagen. Et enkelt lavt styrkeresultat kan skyldes et uheldigt sammentræf af mange forskellige forhold, der taget hver for sig er uden større betydning for betonstyrken, og som man derfor ikke kan holde kontrol med.

Spredningen på resultaterne (som man kan få et visuelt indtryk af ved at betragte hældningen af linien på fig. 1) afhænger bl. a. af den omhu, hvormed arbejdet udføres. Bruger man vægte til grusafmåling i stedet for trillebøre, får man ikke så stor forskel mellem de tilsatte grusmængder fra blanding til blanding, og derfor også mindre spredning på styrkerne. I to betonmængder, fremstillet med samme middelstyrke, kan chancen for at træffe styrker lavere end en given udtrykkes udelukkende ved spredningen.

På fig. 2 er optegnet linien svarende til kvaliteten af betonen fra tabel 1. Dernæst er optegnet en linie med 1,5 gange så stor spredning. I stedet for at 5 % af styrkerne ligger lavere end 396 kg/cm², vil her 13,5 % af styrkerne gøre det. Den sidste beton har altså væsentligt ringere kvalitet.

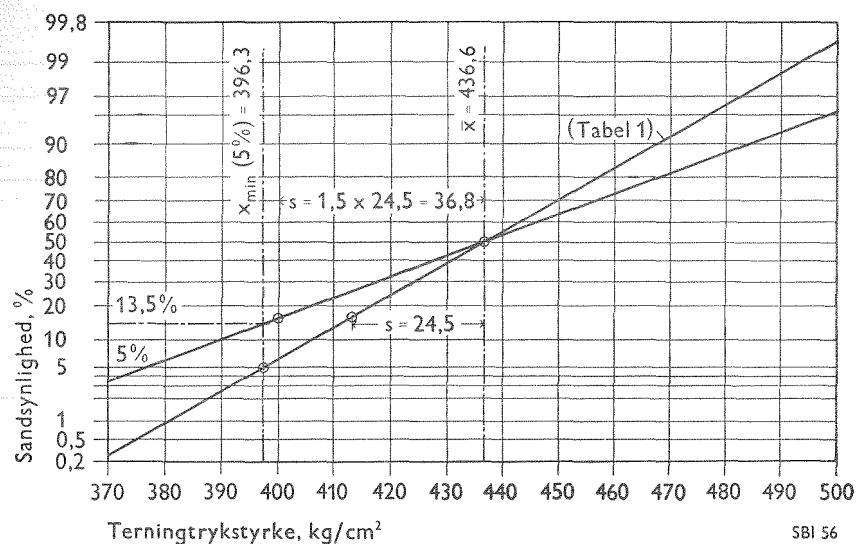


Fig. 2. Forøgelse af spredningen betyder at et større antal prøver vil have værdier under en fastsat nedre grænse, hvis man ikke hæver middeltallet.

1.32 MINIMUMSVÆRDI (MAKSIMUMSVÆRDI)

I stedet for at angive middeltal og styrke kan man angive en minimumstyrke svarende til, at ikke over en vis procentdel af styrkerne må falde under denne styrke. Hyppigt sættes denne, der i det følgende kaldes toleranceprocenten, til 5 % eller 1 %.

En sådan definition anvendes i stor udstrækning i den nyere betonlitteratur, specielt den engelske [55 M 1], [55 S 1], [54 H 4], [52 P 2], [50 P 4] og [45 P 1]. Disse minimumstyrker kan aflæses af en kurve som fig. 2, eller beregnes direkte af spredningen, idet

$$x_{min} (5 \%) = \bar{x} - 1,65 s$$

$$x_{min} (1 \%) = \bar{x} - 2,33 s$$

Af og til ser man minimumsgrænserne angivet således, at koefficienten til s er et helt tal, f. eks.

$$x_{min} (2,3 \%) = \bar{x} - 2 s$$

$$x_{min} (0,1 \%) = \bar{x} - 3 s$$

Den sidste svarer til de sædvanlige tolerancegrænser eller kontrolgrænser inden for maskin- og elektroindustrien.

For maksimumsværdier fører det samme ræsonnement til formler, hvor der i stedet for minus overalt står plus.

I afsnit 2.1 vil nærmere blive redegjort for den praktiske benyttelse af bemærkningerne ovenfor, som dog kun er anvendelige, når man har 20 prøveresultater eller mere.

1.33 SAMMENLIGNINGER

Sammenligning af to serier prøveresultater kan ikke baseres på middeltallene alene.

Som eksempel kan angives en undersøgelse af to vandprøver, der blev foretaget ved udstøbning af 2×5 betonterninger. Resultaterne af trykstyrkeprøvningen efter 28 døgn fremgår af tabel 3.

TABEL 3
SAMMENLIGNING AF 2 VANDPRØVER VED STYRKEPRØVNING

28 døgns styrker kg/cm ²	
1. prøve	2. prøve
431	443
398	441
426	467
450	429
348	411
$\bar{x}_1 = 410,6$ $s_1 = 39,6$	$\bar{x}_2 = 438,2$ $s_2 = 20,5$
$s = \sqrt{\frac{s_1^2 + s_2^2}{2}} = \sqrt{\frac{1992}{2}} = 31,6$	
$t = \frac{438,2 - 410,6}{31,6 \sqrt{\frac{1}{5} + \frac{1}{5}}} = \frac{27,6}{31,6 \sqrt{0,4}} = 1,33$	
$t(0,90) = 1,40$	

Sammenligningen foretages på følgende måde:
Først udregnes en middelspredning

$$s = \sqrt{\frac{s_1^2 + s_2^2}{2}}$$

Ligningen gælder kun, når som her antallet af forsøgsværdier er den samme i de to forsøgsrækker.

Herefter kan beregnes

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{s \sqrt{\frac{1}{N_1} + \frac{1}{N_2}}}$$

hvor N_1 og N_2 er antallet af prøver i de to serier. Den fundne t -værdi sammenlignes med en tabel, hvor indgangen er antallet af frihedsgrader, d. v. s. $N_1 + N_2 - 2$. Da den udregnede t -værdi ($t = 1,33$) i dette tilfælde er omtrent lig tabelværdien for 90% ($t = 1,40$) sandsynlighed, finder man, at hypotesen $\bar{x}_1 = \bar{x}_2$ kan opretholdes med 90% sandsynlighed, og det er derfor ikke rimeligt at antage, at de to forsøgsrækker har givet forskellige 28 døgns styrker.

En nærmere behandling af spørgsmålet findes i [48 H 25].

1.34 MIDDELTAL OG SPREDNING FOR FLERE FORSØGSSERIER

De forsøgsværdier, der forekommer ved bearbejdning af betonkontrolresultater, er ofte i sig selv middeltal, f. eks. er en terningstyrke ofte middeltal af 3 terninger. Under forudsætning af, at de 3 terninger er taget 3 forskellige steder i samme sats kan man da skelne mellem spredningen inden for satsen og spredningen fra sats til sats [52 P 2].

For et af terningesættene i tabel 1 fandtes følgende værdier:

TABEL 4
TERNINGTRYKSTYRKER INDEN FOR SAMME SATS

(1. 8. 53)

$\sigma_{T,28}$ kg/cm ²
407
429
431
$\bar{x}_1 = 422$ $\delta_1 = 13,3$

og middeltal og spredning inden for satsen er som angivet i tabel 4.

Har man flere, f. eks. N lige store terningesæt (sats), kan man beregne en gennemsnitsværdi for spredningen inden for satserne

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{N} (\delta_1^2 + \delta_2^2 + \dots + \delta_N^2)}$$

I ovennævnte tilfælde (tabel 1) har man således fundet $\delta = 15,6 \text{ kg/cm}^2$ (N er lig 60).

Vi har ovenfor beregnet middeltal og spredning på gennemsnitsværdierne af hver terningsæt

$$s = \sqrt{\frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots + (x_N - \bar{x})^2}{N - 1}} = 24,5 \text{ kg/cm}^2$$

Denne inkluderer imidlertid et bidrag fra spredningen inden for satsen og en rigtigere værdi for *spredningen fra sats til sats* er

$$\omega = \sqrt{s^2 - \frac{\delta^2}{3}} = 22,8 \text{ kg/cm}^2$$

hvor tallet 3 svarer til antallet af terninger pr. sæt.

Når man som i afsnit 1.32 definerer en 5 %'s nedre grænse, bør man være opmærksom på, at denne definition hænger sammen med definitionen af spredningen. Mest korrekt skulle det være at anvende den spredning, som findes for samtlige terninger taget hver for sig (ikke i sæt på 2 eller 3), og denne kan findes af de ovenfor nævnte værdier som

$$\sqrt{\omega^2 + \delta^2} = \sqrt{22,8^2 + 15,6^2} = 27,6 \text{ kg/cm}^2$$

Dette gælder dog kun under forudsætning af, at δ betragtes som udtryk for en reelt forekommende variation af betonkvaliteten inden for satsen, i virkeligheden er den i høj grad udtryk for unøjagtigheden ved fremstillingen og trykprøvningen af prøvelegemerne, og når man som nævnt i afsnit 6.5 blander betonen udtaget forskellige steder inden for satsen, inden prøvelegemerne udstøbes, er δ fortrinsvis udtryk for disse unøjagtigheder ved prøvemethoden.

Det er derfor tilladeligt, så længe en nøjere undersøgelse af spørgsmålet ikke foreligger, at benytte den i afsnit 1.31 omtalte spredning s som udtryk for spredningen på betonstyrkerne, men man bør ved sammenligning af resultater fra andre arbejdspladser være opmærksom på det nævnte forhold.

1.4 ØKONOMI

Spørgsmålet: Om betonkontrol er økonomisk, kan gøres til genstand for mange overvejelser både af langsigtet og kortsigtet karakter.

Overvejelser på langt sigt knytter spørgsmålet om betonkontrol sammen med bl. a. en rationel fastsættelse af sikkerhedsgraden (se [52 P 2] og [50 Pl 1]). Disse overvejelser har imidlertid fortrinsvis betydning for myndigheder, normudvalg og andre, der beskæftiger sig med problemernes samfundsmæssige konsekvenser.

En definition af minimumstyrken som foreslået i afsnit 1.32 tillader derimod nogle mere kortsigtede betragtninger.

Ønsker man f. eks. en minimumstyrke på 300 kg/cm^2 med en toleranceprocent på 1, skal middeltallet \bar{x} for styrkerne ifølge afsnit 1.32 være

$$\bar{x} = 300 + 2,33 s$$

hvor s er spredningen.

Heraf ser man, at jo større spredningen er, desto større skal middeltallet være for at opnå den ønskede minimumstyrke på 300 kg/cm^2 . Groft kan man sige, at middelstyrken for et givet betonarbejde afhænger fortrinsvis af cementmængden, spredningen derimod af omfanget af betonkontrollen og kvaliteten af det indsatte materiel (vægte, blandede anlæg). Man kan vælge enten højt cementindhold og ringe materiel og kontrol eller lavt cementindhold og en høj kvalitet for materiel og kontrol. Den samlede udgift til cementen er direkte proportional med den udstøbte betonmængde, udgifterne til materiel og kontrol derimod har mere karakter af een-gangsudgifter og udgifter pr. dag, støbningen varer. Ved store arbejder og på betonvarefabriker, hvor der pr. dag støbes mange m^3 , vil man derfor kunne spare meget betydelige beløb ved at formindske cementmængden f. eks. 10 %, og denne besparelse vil da ikke helt sluges af udgiften til materiel og kontrol – omvendt vil det ved mindre arbejder bedre kunne betale sig at sætte 10 % mere cement til pr. m^3 end at stable et dyrt blandede anlæg og betonlaboratorium på benene.

Ved et større betonbelægningsarbejde var eksempelvis forlangt en minimumstyrke (1 %'s sandsynlighedsniveau) på 350 kg/cm^2 , og det viste sig muligt at gennemføre arbejdet med en spredning på 40 kg/cm^2 . Der krævedes derfor for at overholde minimumstyrken en middelstyrke på

$$\bar{x} = 350 + 2,33 \cdot 40 \sim 445 \text{ kg/cm}^2$$

Ifølge [51 A 11] ville et tilsvarende arbejde udført uden kontrol have medført ca. dobbelt så stor spredning, d.v.s. at middeltallet skulle have været

$$\bar{x} = 350 + 2,33 \cdot 80 \sim 535 \text{ kg/cm}^2$$

Sætter vi den nødvendige forøgelse af cementindholdet i % lig styrkeforøgelsen på 20 % findes fordyrelsen pr. m^3 til ca. 7 kr.

Den foreliggende anvisning har derfor fortrinsvis betydning for arbejder af et ikke for lille omfang, hvor der støbes af størrelsesordenen 50-100 m^3 beton pr. dag. Ved mindre arbejder vil cementbesparelser også kunne

opnås, men kontrollen bør antagelig have et mindre omfang end skitseret i denne anvisning.

1.5 BETINGELSERNE (KONTRAKTEN)

En meget vigtig forudsætning for, at betonkontrol kan udføres tilfredsstillende, er en rigtig formulering af betingelserne for betonarbejdet. Der kan anlægges to forskellige synspunkter for udformningen af betingelserne.

Hvis den i afsnit 1.1 angivne betragtningsmåde skal overføres til betonkontrollen, burde alle betingelser og specifikationer i princippet tage sigte på at kontrollere det færdige bygværk ved afleveringen, f. eks. ved udtagning af stikprøver, den sædvanlige form for modtagekontrol (afsnit 1.1). I betingelserne skulle da kun angives kravene til det færdige bygværk, og hvis disse ikke var opfyldt, skulle bygværket kasseres.

I realiteten kan denne tankegang ikke gennemføres. Et færdigt bygværk kan ikke kasseres på samme måde som f. eks. et parti seriefremstillede maskinelementer kan returneres til leverandøren for dennes regning; bygherren ville sikkert sjældent få dækning for blot den del af betalingen, der allerede var erlagt. Afgrænsning af dele af konstruktionen, hvor kvaliteten har været utilfredsstillende, ved partiel eller stikprøvevis prøvning (afsnit 1.1), kan som regel kun foretages, hvis man af bestemte årsager har mistanke til enkelte dele, og en total prøvning er sjældent gennemførlig – enten er den for dyr, eller også er den destruktiv. Er bygværkets kvalitet utilfredsstillende, må man ofte nøjes med at forlange en vis garantiperiode eller afkorte betalingen for arbejdet.

Opstilling af krav med henblik på modtagekontrol af det færdige bygværk støder iøvrigt ofte på den vanskelighed, at de forlangte egenskaber ikke kan måles (afsnit 2.1).

Ræsonnementerne ovenfor medfører, som nævnt i afsnit 1.1 at bygherren, såfremt han ønsker at vide, hvad han får for sine penge, i betingelserne må sikre sig ret til at følge entreprenørens proceskontrol med betonfremstillingen. Kravene bør da opstilles med henblik herpå og betingelserne skal kun i ringe omfang indeholde krav til det færdige bygværk. Kontrakten bør indeholde straffebestemmelser, der gør det muligt at få kravene overholdt, og det bør fastsættes, i hvilket omfang entreprenøren skal stille arbejdskraft til rådighed for betonkontrollen.

Den lige angivne fremgangsmåde medfører, at bygherren påtager sig en ret betydelig risiko, da konsekvensen i sidste omgang er, at han må bære ansvaret, hvis bygværket får skader, der kan henføres til de angivne specifikationer for betonfremstillingen. Ønsker man altid at kunne placere ansvaret hos entreprenøren, hvis konstruktion på et eller andet tidspunkt i sin levetid skulle vise skader, er det rigtigere at opstille krav til det færdige bygværk. Man bør da antagelig indføre en art garanti-bestemmelse, og det må så blive entreprenørens egen sag at opstille krav til sin betonfremstilling og søge den kontrolleret således, at hans risiko for skader på bygværket forårsaget af for ringe kvalitet, bliver af den økonomisk rigtige størrelse.

Den foreliggende anvisning tager kun sigte på proceskontrollen med betonfremstillingen, men kan anvendes, hvad enten ansvaret for, at de opstillede krav til proceskontrollen er tilstrækkelige til at sikre den ønskede kvalitet af bygværket, placeres hos bygherren eller hos entreprenøren. Hvis bygherren bærer dette ansvar, skal betingelserne indeholde de i afsnit 2 angivne krav til betonfremstillingen; er ansvaret entreprenørens, må det overlades til denne selv at forlange disse krav til betonfremstillingen opfyldt, og betingelserne bør kun specificere egenskaber hos det færdige bygværk.

Omfanget og opstillingen af kravene behandles iøvrigt i afsnit 2.1.

Vedrørende spørgsmålet om betonkontrollantens stilling henvises til [52-14].

1.6 GRUNDLAG FOR PRØVEMETODERNE

De ved betonkontrollen anvendte metoder har alle som grundlag simple fysiske love, og det er ikke nødvendigt at give særlige oplysninger om de teoretiske forudsætninger for beregningsmåderne, som omtales i afsnit 4, 5 og 6.

En undtagelse er pyknometermetoden, hvis formler kræver en udladning (se iøvrigt [53 T 3], [49 K 2], [48-86], [42 M 2] og [33 D 1]).

1.61 PYKNOMETERMETODEN

Metoden omfatter principielt to vægtbestemmelser, nemlig

$$P \text{ (kg)} = \text{vægt i luft}$$

$$P' \text{ (kg)} = \text{vægt under vand}$$

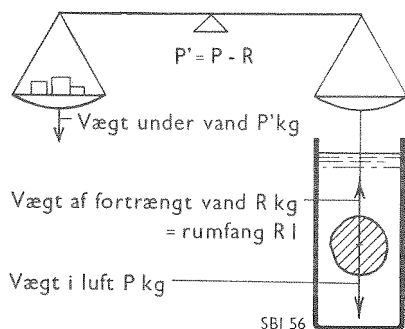


Fig. 3. Ved nedsænkning i vand taber et legeme i vægt. Tabet er lig vægten af den fortrængte vandmængde. (Archimedes's lov).

Betegnelsen vægt under vand er hentet fra Arkimedes's lov, der for vand siger, at et legemes vægt under vand P' er lig vægten i luft P minus vægten af den fortrængte vandmængde (i talværdi lig legemets rumfang R). Loven kan illustreres ved en forsøgsopstilling som fig. 3. P' udtrykkes undertiden som uP , hvor u kaldes neddykningskoefficienten. Arkimedes's lov kan skrives som

$$P' = uP = P - R \text{ (kg)} \quad (1)$$

Ligning (1) er grundlaget for pyknometermetoden. Ved bestemmelse af de to vægte P og P' kan man finde

$$\text{rumfanget } R = P - P' \text{ (liter)} \quad (2)$$

$$\text{vægtfylden } \gamma = \frac{P}{R} = \frac{P}{P - P'} \text{ (kg/l)} \quad (3)$$

Sammenhængen mellem neddykningskoefficienten u og vægtfylden γ er endvidere givet ved

$$\gamma = \frac{1}{1 - u} \text{ (kg/l)} \text{ eller } u = \frac{\gamma - 1}{\gamma} \quad (4)$$





Til pyknometermetoden anvendes et højt bægerglas med en tætslutende glasplade som låg. Bestemmelse af P og P' kræver ialt 4 vejninger, hvoraf de to kan udføres een gang for alle for hvert glas (kalibrering), se tabel 5.

Ved de to sidste vejninger skal pyknometerglasset være helt fyldt op med vand.

Herefter kan man finde:

Materialets vægt i luft	$P = P_1 - P_0 \text{ (kg)}$	(5)
Materialets vægt under vand	$P' = P'_1 - P'_0 \text{ (kg)}$	

TABEL 5
PYKNOMETERMETODENS VEJNINGER

	$P_0 \text{ (kg)}$	vægt af glas + låg (kalibrering udføres een gang for alle)
	$P_1 \text{ (kg)}$	vægt af glas + låg + materiale
	$P'_0 \text{ (kg)}$	vægt af glas + låg + vand (kalibrering udføres een gang for alle)
	$P'_1 \text{ (kg)}$	vægt af glas + låg + vand + materiale

Rigtigheden af den sidste ligning indses af følgende (se fig. 4)

$$\begin{aligned} P'_0 &= \text{vægt af glas + låg} = P_0 \\ &+ \text{vægt af vand} = R_0 \\ P'_1 &= \text{vægt af glas + låg} = P_0 \\ &+ \text{vægt af materiale} = P_M \\ &+ \text{vægt af vand} = R_0 - R_M \end{aligned}$$

$$\text{d. v. s. } P'_1 - P'_0 = P_M - R_M = P'_M$$

hvilket ifølge ligning (1) er materialets vægt under vand = P'_M . Materialets rumfang er kaldt R_M , glassets rumfang R_0 .

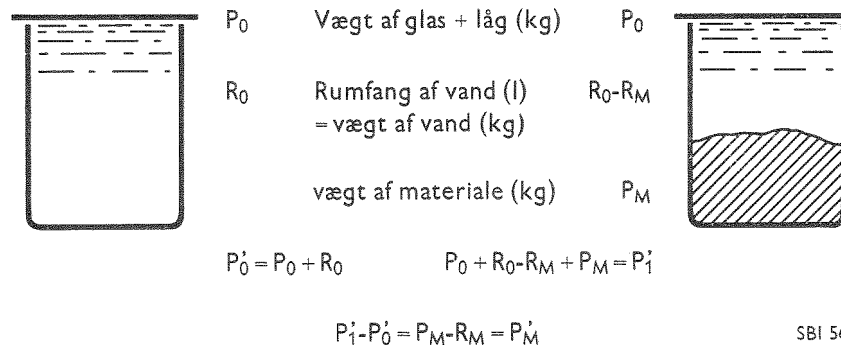


Fig. 4. Principskitse for bestemmelse af et materiales vægt under vand.

Et fuldstændigt kendskab til formlerne, der ligger til grund for pyknometermetoden er ikke nødvendigt – eksemplerne i de senere afsnit vil vise, hvorledes beregningerne skal udføres. For fuldstændighedens skyld er dog i det følgende afsnit med petit angivet udledningen af samtlige pyknometermetoders formler.

1.62 FORMLER

Neddykningskoefficient u_G (afsnit 5.51) og kornvægtfylde γ_G for grus findes af ligningerne (1) og (3):

$$u_G = \frac{P'_G}{P_G}$$

$$\gamma_G = \frac{P_G}{P_G - P'_G}$$

Metoden kræver tørring af gruset.

Grusets fugtighedsindhold (afsnit 5.52) v % bestemmes normalt ved tørring på en stegepande, hvilket tager lang tid. Ved pyknometerbestemmelsen af grusets fugtighed behøver man kun lejlighedsvis eller een gang for alle at foretage tørring.

Vægt i luft af fugtigt grus bestemmes. Vægten under vand af fugtigt grus er lig vægten under vand af tørt grus, og ved division med neddykningskoefficienten findes derfor vægt i luft af tørt grus. Neddykningskoefficienten bestemmes lejlighedsvis efter formlen ovenfor:

$$\begin{aligned} \text{Vægt af vådt grus i luft:} & P_G^v = P_1 - P_0 \\ \text{Vægt af tørt grus under vand:} & P'_G = P'_1 - P'_0 \\ \text{Vægt af tørt grus i luft:} & P_G = \frac{P'_G}{u_G} \\ \text{Fugtighed i \%:} & v = \frac{P_G^v - P_G}{P_G} \cdot 100 \end{aligned} \quad (6)$$

Betons vandindhold kan bestemmes ved pyknometermetoden (afsnit 6.32), når man kender:

$$\begin{aligned} u_C &= \text{cementens neddykningskoefficient} \\ u_S &= \text{sandets neddykningskoefficient} \\ u_{St} &= \text{stenenes neddykningskoefficient} \end{aligned}$$

$P_C : P_S : P_{St} =$ nøjagtigt blandingsforhold af tørre materialer.

Formlen er

$$P_V = \frac{P_B}{P'_B} (u_C \cdot P_C + u_S \cdot P_S + u_{St} \cdot P_{St}) - (P_C + P_S + P_{St}) \quad (7)$$

$$P_V = \frac{P_B}{P'_B} \Sigma uP - \Sigma P$$

P_B (vægt af beton i luft) og P'_B (vægt af beton under vand) fremkommer på sædvanlig måde som

$$P_B = P_1 - P_0 \text{ og}$$

$$P'_B = P'_1 - P'_0.$$

Formlen udledes på følgende måde:

Betonens vægt i luft P_B er lig summen af delmaterialernes vægte i luft, P_V (vand), P_C (cement) o. s. v.:

$$P_B = P_V + P_C + P_S + P_{St} \quad (8)$$

Betonens vægt under vand P'_B er lig summen af delmaterialernes vægte under vand P'_V (vand), P'_C (cement) o. s. v. Vægt under vand er endvidere lig neddykningskoefficienten gange vægt i luft:

$$P'_B = P'_V + P'_C + P'_S + P'_{St} = u_C P_C + u_S P_S + u_{St} P_{St} \quad (9)$$

Vandets vægt under vand P'_V er lig 0.

Ved division af (8) med (9) fås

$$\frac{P_B}{P'_B} = \frac{P_V + (P_C + P_S + P_{St})}{u_C P_C + u_S P_S + u_{St} P_{St}}$$

hvorefter man ved at isolere P_V på venstre side af lighedstegnet finder formel (7).

Endvidere kan pyknometermetoden benyttes til bestemmelse af luftindholdet i beton (afsnit 6.41). Dette findes ved at bestemme rumvægten af luftindblandet beton og sammenligne den med rumvægten af »luftfri« beton.

Rumvægten af luftindblandet beton ϱ_B bestemmes på sædvanlig måde i en gryde el. l. (afsnit 6.61).

Pyknometeret benyttes til bestemmelse af den »luftfri« betons rumvægt. Først findes vægten i luft P_B , derefter efter omrøring vægten under vand P'_B . Rumvægten er da (analogt med ligning (3))

$$\varrho_{B,0} = \frac{P_B}{P_B - P'_B}$$

Luftindholdet i liter kan findes som rumfanget af luftindblandet beton R_B minus rumfanget af »luftfri« beton $R_{B,0}$.

$$L = R_B - R_{B,0}$$

eller i % af betonens rumfang

$$l_0 = \frac{R_B - R_{B,0}}{R_B} \quad (10)$$

Vi har pr. definition:

$$R_{B,0} = \frac{P_B}{\varrho_{B,0}} \text{ og } R_B = \frac{P_B}{\varrho_B}$$

Ved indsætning i (10) og bortforkortning af P_B fås

$$l_0 = \frac{Q_{B,0} - Q_B}{Q_{B,0}} \quad (11)$$

Betonens cementindhold kan ligeledes findes ved hjælp af pyknometermetoden, når grusets fillerindhold $f\%$ (korn $< 0,25$ mm), betonens luftindhold og neddykningskoefficienterne u_C , u_S og u_{St} for cement, sand og sten er kendt. Dette benyttes (afsnit 4.4) til måling af blandemaskinens homogeniseringsevne (= evnen til at fremstille ensartet beton), idet man af samme blanding udtager 3 betonprøver til bestemmelse af cementindholdet. Metoden er ikke nøjagtig nok til absolut bestemmelse af cementindholdet.

Man bestemmer på sædvanlig måde P_B og P'_B (efter omrøring af prøven). Derefter udvaskes prøven, og materialet $\leq 0,25$ mm frasorteres og vejes under vand (P'_G). Dette korrigeres for fillerindholdet:

$$P'_G = P'_G \frac{100}{100-f} \sim P'_G (1 + 0,01 f)$$

hvor P'_G er vægten under vand af det samlede grus.

Cementens vægt under vand findes da af en ligning analog med (9)

$$P'_C = P'_B - P'_G$$

og vægten i luft af $P_C = \frac{P'_C}{u_C} = \frac{P'_B - P'_G}{u_C}$

Betonprøvens volumen findes (sml. ligning (2)) af

$$R_B = (1 + 0,01 l_0) \cdot (P_B - P'_B)$$

hvor l_0 er luftindholdet i %.

Cementindholdet pr. m^3 findes endelig af

$$c = \frac{P_C}{R_B} = \frac{1}{u_C (1 + 0,01 l_0)} \frac{P'_B - P'_G}{P_B - P'_B} \quad (\text{kg}/m^3) \quad (12)$$

2. KRAV TIL BETONFREMSTILLING

2.1 KRAVENES FORMULERING

Spørgsmålet om, hvilke egenskaber man skal stille krav til, er behandlet i afsnit 1.2.

Krav til betonfremstillingen – hvad enten de findes i betingelser og kontrakter eller er opstillet af entreprenøren til eget brug (afsnit 1.5) – skal, hvis man ønsker at undgå fortolkningsvanskeligheder og at have rimelig sikkerhed for, at man får den beton, man har regnet med, i princippet indeholde følgende oplysninger for hver egenskab, der kræves:

TABEL 6
FORMULERING AF KRAV

1	Definition	hvilken egenskab man forlanger
2	Prøvemethode	hvorledes (og hvornår) egenskaben skal bestemmes – målemetode og omfang af måling
3	Størrelse (talværdi)	hvilken værdi måling af egenskaben i middeltal skal give (måleenhed angives)
4	Tolerance	hvor meget måleresultaterne må afvige fra den fastsatte (under pkt. 3 omtalte) størrelse

En formulering som

»Betonstyrken skal være $300 \text{ kg}/\text{cm}^2$ «

er derfor ikke tilstrækkelig.

Det er for det første ikke *defineret*, hvad man forstår ved »betonstyrken«. Er det styrken i det færdige bygværk – den kan som nævnt i afsnit 1.11 sjældent måles –; er det tryk- eller bøjningstrykstyrken?

For det andet er *prøvemethoden* ikke angivet. Hvilke prøvelegemer skal anvendes, og hvor store skal de være? Hvordan skal de lagres (evt. komprimeres)? Hvornår og hvordan skal de prøves? Hvor tit skal der udtages prøvelegemer, og hvor mange?

For det tredje er det ikke klart, hvilken målt *størrelse*, de $300 \text{ kg}/\text{cm}^2$ skal svare til. Er det et middeltal, eller et absolut minimum, eller vil man måske se bort fra, om et enkelt eller to resultater – men ikke flere – er lavere end $300 \text{ kg}/\text{cm}^2$? (sml. afsnit 1.3).