

BETON

BOGEN

— fra cement til beton

J. Seugelmærk
1963

Betonbogen

FRA CEMENT TIL BETON



En vejledning i beton og betonfremstilling udarbejdet for
Cementfabrikkernes tekniske Oplysningskontor af dr. techn.
Erik V. Meyer i samarbejde med overingeniør C. S. Forum,
Christiani & Nielsen, og civilingeniør H. Krenchel, Danmarks
tekniske Højskole.

Indholdsfortegnelse

	SIDE
I DEL ALMINDELIGE OPLYSNINGER OM BETON OG BETONMATERIALER	9
A Hvad beton er	9
B Forskellige faktorerers indflydelse på betonens styrke	11
1. Kitmassen	11
2. Tilslaget	11
3. Cementmængden	11
4. Vandcementforholdet	12
5. Blandetiden	15
6. Temperaturen	15
7. Efterbehandlingen	16
8. Alderen	17
9. Prøvelegemernes form og størrelse	17
C Betonens tæthed	19
D Betonens sætning, svind og krybning	19
1. Sætning	19
2. Svind	19
3. Krybning	20
II DEL BETONMATERIALERNE OG DERES UNDERSØGELSE	21
A Mere detaljerede oplysninger om betonmaterialerne	21
1. Cementen	21
a. Portland-cement	21
b. Rapid-cement	21
c. Super-Rapid-cement	22
d. Havvand-cement	22
e. Hvid Portland-cement	22
f. Farvede cementer	22
g. Andre cementsorter	22
Alkalikisleresistent-cement	22
Lavvarme-cement	23
Puzzolan-cement	23
Moler-cement	23
Slagge-cement	23
Aluminat-cement	23
2. Tilslaget	23
3. Vandet	29

Trykt i Det Berlingske Bogtrykkeri
København 1959

	SIDE
B Undersøgelse af betonmaterialerne	29
1. Cementen	29
2. Tilslaget	30
a. Prøveudtagning	30
b. Almene undersøgelser	31
Kalkindholdet	31
Humus	31
Lerindhold	32
Kornform	32
Gruskornenes nedbrydningsmodstand	32
Alkalireaktivitet	33
Vægtfylde og neddykningskoefficient	33
Rumvægt	34
Fugtighed	35
Svelning eller udvidelse	36
c. Kornfordeling, Sigtekurver og finhedsmodul	36
d. Sammensætning af forskellige sand-, grus- og stensorter	40
Direkte sammensætning af 3 tilslagsmaterialer	42
e. Sorterede materialer	44
f. Pris	44
3. Vandet	45
III DEL BETONFREMSTILLING	46
1. Planlægning	46
2. Proportionering	46
a. Proportionering efter vægt	46
1. v/c-forholdet	48
2. Bearbejdelighed og konsistens	48
3. Største stenstørrelse	48
4. Sandprocenten	49
5. Vandbehovet	51
6. Eksempel på udregning af blandingsforholdet	52
Betonrecept	53
Arbejdsblandingen	54
b. Proportionering efter rumfang	55
3. Udmåling af materialerne	58
a. Efter vægt	58
b. Efter rumfang	60
c. Udmåling af vandet	61
4. Blanding	63
a. Maskinblanding	63
b. Håndblanding	65
c. Færdigblandet beton	66
5. Transport af betonen på byggepladsen	66
6. Anbringelse i formene	67
7. Komprimering	68

	SIDE
8. Afretning	72
9. Støbeskel	73
10. Efterbehandling	74
a. Beskyttelse mod udtørring og revnedannelse	74
b. Beskyttelse mod frost, regn og sne	75
c. Beskyttelse mod overlast	76
d. Skader ved for tidlig afformning	76
11. Kontrol og prøvning	77
a. Konsistens	77
b. Rumvægt og porerumfang	80
c. Styrke	80
1. Trykstyrke	80
2. Trækstyrke og bøjningstrækstyrke	81
3. Prøvelegemernes lagring	83
4. Indirekte prøvningsmetoder	84

IV DEL SPECIELLE PUNKTER AF INTERESSE	87
1. Fordringer til arbejdspladsen	87
a. Opbevaring af cement, grus og sten	87
b. Forskallingen	88
c. Armeringen	88
2. Betonstøbning under særlige forhold	89
a. Støbning i frost	89
b. Støbning under vand	90
c. Støbning i havvand	90
3. Tilsætningsmidler	91
a. Luftindblandingsmidler	91
b. Plastificeringsmidler	91
c. Materialer, der ændrer betonens afbinding og hærkning	91
d. Frostvæsker	91
e. Plasticstoffer	91
f. Vandtætningsmidler	91
g. Aluminiumspulver	91
4. Damphærkning	92

V DEL SPECIELLE BETONER	93
1. Vandtæt beton	93
2. Luftindblandet beton	93
3. Forspændt beton	94
a. Strengbeton	94
b. Kabelbeton	94
c. Forspændt beton med stålstænger	94
4. Letbeton	95
5. Tung beton	95

	SIDE
6. Vakuumbeton	95
7. Pakbeton	96
VI DEL OVERFLADEBEHANDLINGER	97
1. Slidlag på betongulve	97
Forarbejder	97
Materialer	98
Blandingsforhold	98
Arbejdets udførelse	99
Midler mod støvdannelse	99
2. Puds på beton	100
Materialer	100
Udførelse	101
3. Svumning og maling	102
4. Udførelsen af betonoverflader med hvid cement	103
5. Brugen af farvede cementer	105
APPENDIKS BETONTEKNOLOGISKE UDTRYK	106
TABELLER	
Tabel 1: Værdier af konstanten k i Bolomey's formel	13
– 2: Målekar til rumvægtsbestemmelse	34
– 3: Sigtemaskevidder	36
– 4: Maksimale vandcementforhold af hensyn til holdbarheden	47
– 5: Betonens konsistens ved forskellige arbejder	48
– 6: Største stenstørrelse d_{max} i mm ved forskellige arbejder	49
– 7: Grundlag for udgangsblandinger	52
– 8: Anvendelse af beton af forskellige blandingsforhold	55
– 9: Materialeforbrug til ca. 1 m ³ beton og forventet trykstyrke	56
– 10: Materiale mængder og udbytte i liter pr. sæk cement	57
– 11: Betonens mindste alder ved afformningen	77
– 12: Betonkonsistenser og tilsvarende sætmål og vebesekunder	78

Denne bog er planlagt som en vejledning og en håndbog i spørgsmålet om god beton, og den skulle ikke alene være en hjælp for dem, for hvem beton er forholdsvis ukendt, men det er vort håb, at også de mennesker, som har et godt kendskab til beton, vil finde fornøjelse i at stifte bekendtskab med den.

Der udføres inden for betontechnikens verden over et meget stort forskningsarbejde, og der skrives uhyre meget om beton og betonundersøgelser; men det koster tid og arbejde at få resultaterne bragt ud i praksis. Det er imidlertid klart, at det, der var god latin for 10 eller 20 år siden, ikke altid holder stik i dag, og det er også formålet med denne vejledning at give ligefremme og i videst mulig udstrækning begrundet oplysning om, hvorledes man bør gå frem på arbejdspladsen for at sikre fremstilling af god beton, således at man ikke blot når et resultat, der umiddelbart synes at være tilfredsstillende, men også får en beton med størst mulig holdbarhed.

Da bogen også kan tænkes brugt af danske ingeniører i udlandet, er der en del steder i tekst og figurer ud over de metriske måleenheder angivet værdier i britiske (amerikanske) måleenheder.

Første del af bogen giver en almindelig og kort information vedrørende beton og de materialer, som bruges til at fremstille beton d.v.s. cement, tilslagsmaterialer (sand, grus, sten) og vand, om de forskellige slags betonblandinger og deres egenskaber og endelig om den færdige betons egenskaber. De forhold, der indvirker på betons styrke og tæthed, gennemgås.

Anden del omhandler materialerne mere detaljeret. Der gives her ikke blot oplysninger om, hvilke egenskaber materialerne bør have, men også om, hvorledes man undersøger, om de virkelig er i besiddelse af disse egenskaber.

Tredje del er helliget selve problemet betonfremstillingen, dens planlægning, dens udførelse og den efterbehandling, som bør komme betonen til gode. Dette afsnit er bogens vigtigste, idet det altså behandler selve det fundamen-

tale: bestemmelsen af den til formålet mest velegnede beton. Beton er, desværre kunne man sige, et materiale, hvis egenskaber afhænger af mange faktorer: cementens kvalitet, tilslagsmaterialernes kvalitet, vandet og særlig vandmængden, mængdeforholdene mellem cement, tilslag og vand, sammenblandingen af materialerne, udstøbningen, komprimeringen og ikke mindst efterbehandlingen. Man må dog huske på, at man ikke altid skal fremstille beton af højeste kvalitet, idet den beton må betragtes som værende den rigtigste og den bedste, som teknisk og økonomisk svarer til formålet. De underafsnit, kapitlet er delt i, må derfor alle tillægges lige stor betydning for den, der vil fremstille den rette beton. De overvejelser, der går forud for udførelsen af et betonarbejde, er lige så betydningsfulde som selve den gode udførelse, og endelig er efterbehandlingen også af en betydning, som de fleste er tilbøjelige til at se bort fra. Således kan en god beton blive fuldstændig ødelagt ved manglende god efterbehandling, og en god efterbehandling af en dårlig beton kan bevirke, at den bliver mindst lige så god som en bedre beton, der er blevet sløset med i efterbehandlingen. Endelig er der i denne del af bogen omtalt kontrol med og prøvning af betonen.

Fjerde del beskriver forskellige punkter af interesse, f.eks. fordringer til arbejdspladsen, armeringen, formarbejdet og betonstøbning under særlige forhold, f.eks. i frost, under vand, i havvand o.s.v. Også tilsætningsmidler til beton og damphærdning af beton omtales i dette afsnit.

Femte del handler om specielle betoner, herunder vandtæt beton, luftindblandet beton, forspændt beton, letbeton, tung beton m.m.

Sjette del behandler spørgsmålet overfladebehandlinger, slidlag, puds, maling samt brugen af hvid cement og farvede cementer.

Appendiks indeholder en liste over betonteknologiske udtryk med forklaringer.

I DEL ALMINDELIGE OPLYSNINGER OM BETON OG BETONMATERIALER

A. Hvad beton er

Blandes cement, sand eller grus, sten og vand omhyggeligt sammen, får man det, der kaldes beton. Hvis der ikke er sten i blandingen, kaldes den cementmørtel eller – som del af betonen – blot mørtel. Er der endelig heller ikke sand i, kaldes det, man fremstiller for cementdej eller cementpasta, når det er ret stift, cementvælling hvis det er mere flydende.

Den frisk blandede beton er formbar, og alt efter hvor meget vand der bruges, har den en jordfugtig, grødet eller temmelig flydende konsistens. I denne tilstand anbringes den i forme, og ved en mere eller mindre intensiv bearbejdning komprimeres den og bringes til at udfylde formen og omstøbe den eventuelle armering.

Efter 1–2 timers forløb begynder massen at stivne og miste sin formbarhed. Dette skyldes, at cementpastaen på grund af kemiske processer mellem cementen og vandet størkner, eller binder af, som man siger. Derefter begynder en hærdningsproces, under hvilken cementen optager yderligere vand, og betonen tiltager i styrke. I begyndelsen stiger styrken hurtigt, således at betonen allerede efter få dage er hård som sten; senere stiger den langsommere, men styrketilvæksten fortsætter i flere år, når blot det vand, der betinger de kemiske processers forløb, er til stede.

Cementens kemiske reaktion med vand kaldes cementens hydratisering. Den foregår under en vis varmeudvikling. I øvrigt kan cementen i betonens overflade reagere med luftens kulsyre. Denne proces, der medfører en lokal styrkeforøgelse, kaldes cementens karbonatisering.

Som anført kan den friske beton være meget stiv, næsten jordfugtig, eller den kan være mere flydende, alt efter hvor meget vand der er brugt til den. Den kan også være strid og ubehagelig at arbejde med, selv om der er ret meget vand i den, hvis den ikke har tilstrækkelig meget cement eller fint materiale, eller tilslaget er for kantet. Det er altså af vigtighed for arbejdets gode udførelse, at allerede den friske beton har de egenskaber, som er nødvendige for at få den bearbejdet rigtigt. Man siger, at den må have en pas-

sende bearbejdelighed, d.v.s., at den med den benyttede komprimeringsmåde skal kunne bringes til helt at udfylde formen, uden at der dannes hulrum eller stenreder, og til helt at omstøbe en eventuel armering, således at den nødvendige adhæsion mellem beton og jern opnås. Denne »passende bearbejdelighed« vil variere med arbejdets art, f.eks. vil der til udstøbning i åbne forme med ingen eller spredt armering kunne bruges en beton med lav bearbejdelighed, medens der til udstøbning i snævre forme med tætliggende armeringsjern vil kræves en beton med høj bearbejdelighed.

Foruden at have en passende bearbejdelighed må betonen være således sammensat, at den ikke afblander under transport og udstøbning, og således at vandet ikke løber fra den med en del af cementen, der jo er den dyreste og mest værdifulde bestanddel af betonen.

Man fremstiller betoner lige fra de meget fede blandinger med 1 del cement: 2 dele grus: 2 dele sten og helt op til de meget magre blandinger med 1 del cement: 5 dele grus: 8 dele sten, – og det er klart, at de betoner, man på den måde får fremstillet, er meget forskellige. De fedeste betoner indeholder 4–500 kg cement pr. m³ og er så sammenhængende, at de ikke har større tendens til afblanding. De meget magre betoner med 100–150 kg cement pr. m³ har derimod færre fine cementpartikler til at sammenkitte massen og kan have en udpræget tendens både til afblanding og til vandseparation, således at der ikke mindst her kræves omhu ved fremstillingen.

De færdige betoner, d.v.s. betonblandingerne, efter at de er udstøbt og har hærdnet i passende tid, vil også få meget forskellige egenskaber. De fedeste betoner vil blive de stærkeste og kan få trykstyrker på 400–600 kg/cm² (5000–8000 psi) medens de magreste kun vil få trykstyrker på omkring 75 kg/cm² (1000 psi) eller mindre. De fede betoner vil desuden let blive så tætte, at de kan modstå vandtryk, medens de magre betoner vil blive så forholdsvis porøse, at man ikke kan regne med vandtæthed. Ved at ændre mængdeforholdene mellem cement, tilslag og vand kan der naturligvis fremstilles alle mulige blandinger imellem de to yderligheder med egenskaber passende til hver sit formål.

Beton er et billigt byggemateriale med næsten ubegrænsede anvendelsesmuligheder. Foruden at have stor styrke er den modstandsdygtig mod angreb af vind og vejr, vand og ild; hverken rotter, insekter, svamp eller råd kan ødelægge den, men man må erindre, at betingelserne for at opnå disse gode egenskaber er:

- kontrollerede, gode materialer,
- kontrollerede, rigtigt valgte blandingsforhold,
- kontrolleret blanding, transport, udstøbning og efterbehandling.

Hvorledes man opfylder disse betingelser, vil blive nærmere omtalt i det følgende.

B. Forskellige faktorerers indflydelse på betonens styrke

1. KITMASSEN

I beton er det cementpastaen – d.v.s. blandingen af cement og vand – der ved hærdningen danner en kitmasse, som binder materialerne sammen og i overvejende grad bestemmer betonens styrke og andre egenskaber. Cementpastaen kan betragtes som en lim, hvis bindekraft vokser, jo mere koncentreret den er, d.v.s. jo mindre vand der blandes i den, og det er netop ud fra cementpastaens koncentration, at man med god tilnærmelse er i stand til forud at beregne en given betonblandings styrke. Koncentrationen udtrykkes som regel ved forholdet mellem vægtmængderne af vand og cement, vandcementtallet eller vandcementforholdet v/c, og for et givet cementindhold vil styrken vokse med aftagende v/c-forhold, altså med aftagende vandmængde, som nærmere omtalt under punkt 4.

2. TILSLAGET

Under forudsætning af sunde og stærke materialer vil det kun have forholdsvis ringe indflydelse på den hærdnede betons styrke, hvilke materialer tilslaget består af. Tilslagets kornfordeling, kornform og overfladebeskaffenhed vil derimod have stor indflydelse på den vandmængde, en given betonblanding kræver for at opnå en given bearbejdelighed, og følgelig påvirker tilslaget v/c-forholdet og dermed indirekte styrkerne.

Inden for kornfordelingen er det navnlig mængden af sand i det totale tilslag, der har indflydelse på vandbehovet, idet voksende sandprocenter kræver voksende vandmængder. På den anden side aftager bearbejdeligheden med aftagende sandprocent, og denne må derfor vælges under passende hensyntagen til kravene om bearbejdelighed. Kornformen og overfladebeskaffenheden har den betydning, at glatte, afrundede korn har mindre vandbehov end ru, kantede korn. Disse forhold vil blive nærmere omtalt senere.

3. CEMENTMÆNGDEN

For ellers uforandrede forhold vil en forøgelse af cementindholdet medføre en forøgelse af betonens styrke, således som vist i fig. 1.

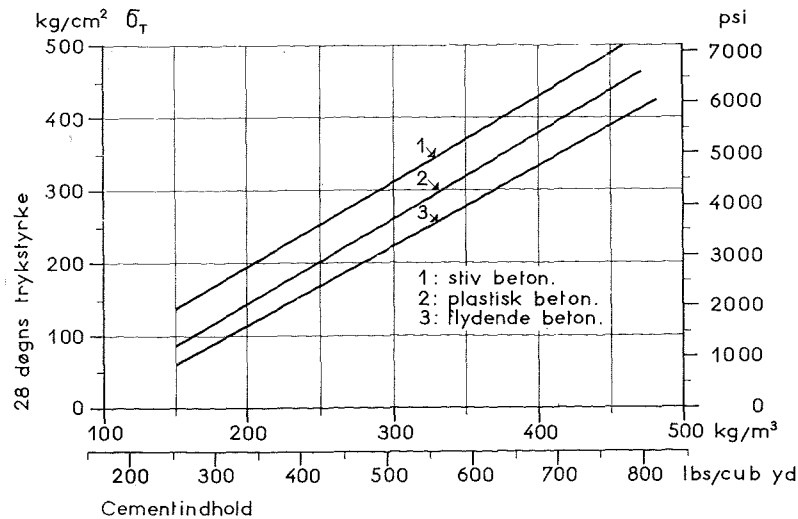


Fig. 1. Eksempel på relation mellem trykstyrke og cementindhold.

4. VANDCEMENTFORHOLDET

For ellers uændrede forhold vil en forøgelse af vandcementforholdet v/c medføre en forringelse af betonens styrke.

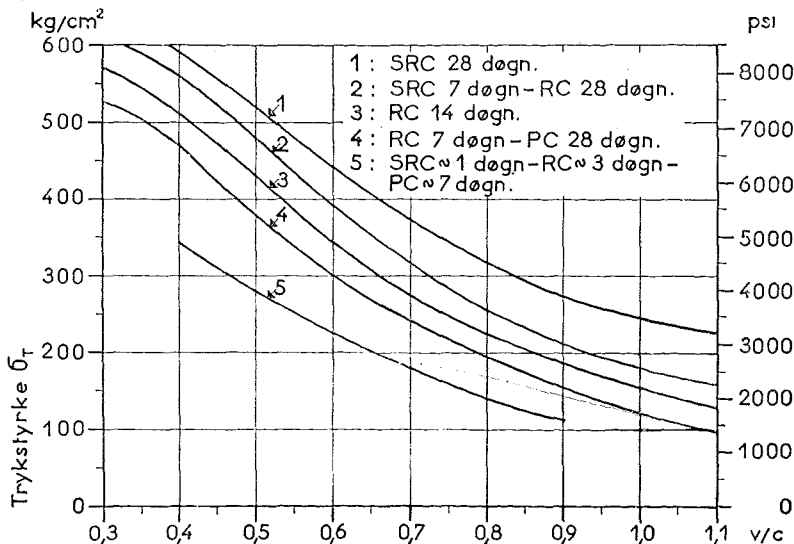


Fig. 2. Eksempel på relation mellem vandcementforhold og trykstyrke. Danske cementer, 20 cm terninger.

Det vil heraf fremgå, at styrken ikke er afhængig af cementmængden alene, og at man meget vel kan fremstille en mere mager beton med højere styrke end en federe, idet v/c -forholdet kan være større for den federe, mere flydende beton end for den noget magrere, stive beton.

Relationen mellem styrken og v/c -forholdet kan også udtrykkes ved Bolomey's formel

$$\sigma = k \left(\frac{1}{v/c} - 0,5 \right)$$

Konstanten k vil afhænge af forskellige faktorer, f.eks. cementsorten, prøvealderen, prøvelegemernes størrelse, form og lagring og tildels af tilslagetets kvalitet. k bør derfor bestemmes eksperimentelt ved forforsøg, men kan dette ikke lade sig gøre, kan man for beton fremstillet med de danske Portland-cementsorter og gennemsnits-tilslagsmaterialer anvende de i nedenstående tabel anførte værdier for k .

Formlen gælder kun, som det fremgår af fig. 3, inden for et begrænset område, omtrent mellem $v/c=0,45$ og 1,2.

Tabel 1.

Værdier af konstanten k i Bolomey's formel for 20 cm (8") terninger fremstillet med gennemsnits-tilslagsmaterialer. Lagringstemperatur: 15-20° C.

Cementsort	Alder ved prøvning Døgn	Lagring i døgn Fugtig ¹⁾	Tør ²⁾	k kg/cm ²
Portland	28	1	27	100-150
-	28	10	18	250-300
- (prøvet våd)	28	28		250-300
Rapid	7	4	3	250-300
-	14	4	10	300-370
-	28	7	21	350-400
Super-Rapid	3	1	2	250-300
-	7	4	13	350-400
-	28	7	21	400-450

1) Lagret i vand eller under fugtige sække, relativ fugtighedsgrad mindst 95%.

2) Relativ fugtighedsgrad mellem 30% og 60%.

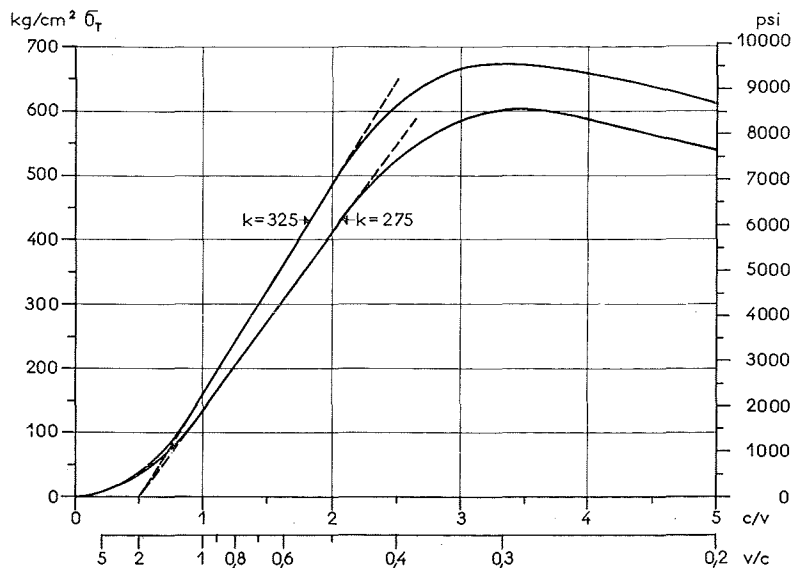


Fig. 3. Eksempler på eksperimentelt fastsatte trykstyrkekurver for beton. Vandcementforholdets reciproke værdi c/v er afsat lineært, og Bolomey's formel svarer til de viste rette linier. Disse linier falder sammen med styrkekurverne inden for et område, der omtrent begrænses af værdierne $v/c = 0,45$ og $1,2$. Dette område omfatter størstedelen af almindelig brugt beton.

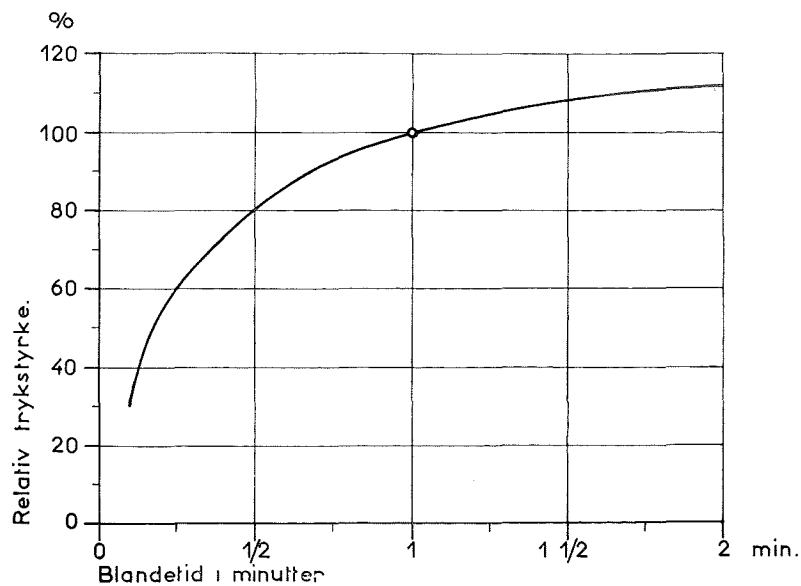


Fig. 4. Relation mellem styrke og blandetid.

5. BLANDETIDEN

For ellers uændrede forhold vil forøgelse af blandetiden medføre en forøgelse af betonstyrken; styrketilvæksten er dog ringe for blandetider over $1-1\frac{1}{2}$ min., som det fremgår af fig. 4.

Imidlertid må man være opmærksom på, at der under blandingen kan ske en vis formaling af tilslagsmaterialerne, hvorved betonens bearbejdighed formindskes på grund af det forøgede indhold af fine partikler.

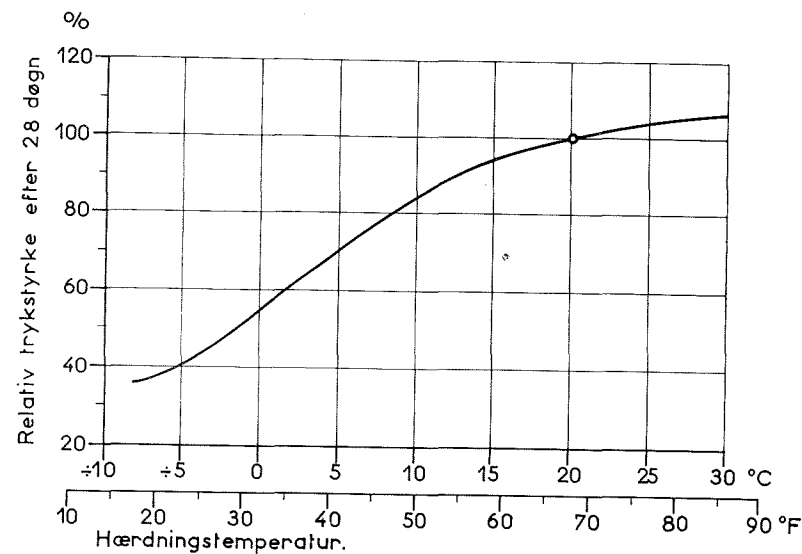


Fig. 5. Relationen mellem 28 døgns trykstyrke og temperatur under hærningen. Betontemperaturen forudsættes at have været ikke under $+2^\circ\text{C}$ de første 3 døgn.

6. TEMPERATUREN

For ellers uændrede forhold vil en formindskelse af den temperatur, hvorved hærningen foregår, medføre en formindskelse af styrken, som det fremgår af fig. 5. Derfor skal der i koldt vejr tages særlige forholdsregler, som senere omtalt.

7. EFTERBEHANDLINGEN

Rigelig fugtighed – især under den første hærdningstid – er en betingelse for at opnå stor styrke. Fig. 6 viser betydningen af, at den våde lagring ikke afbrydes for tidligt.

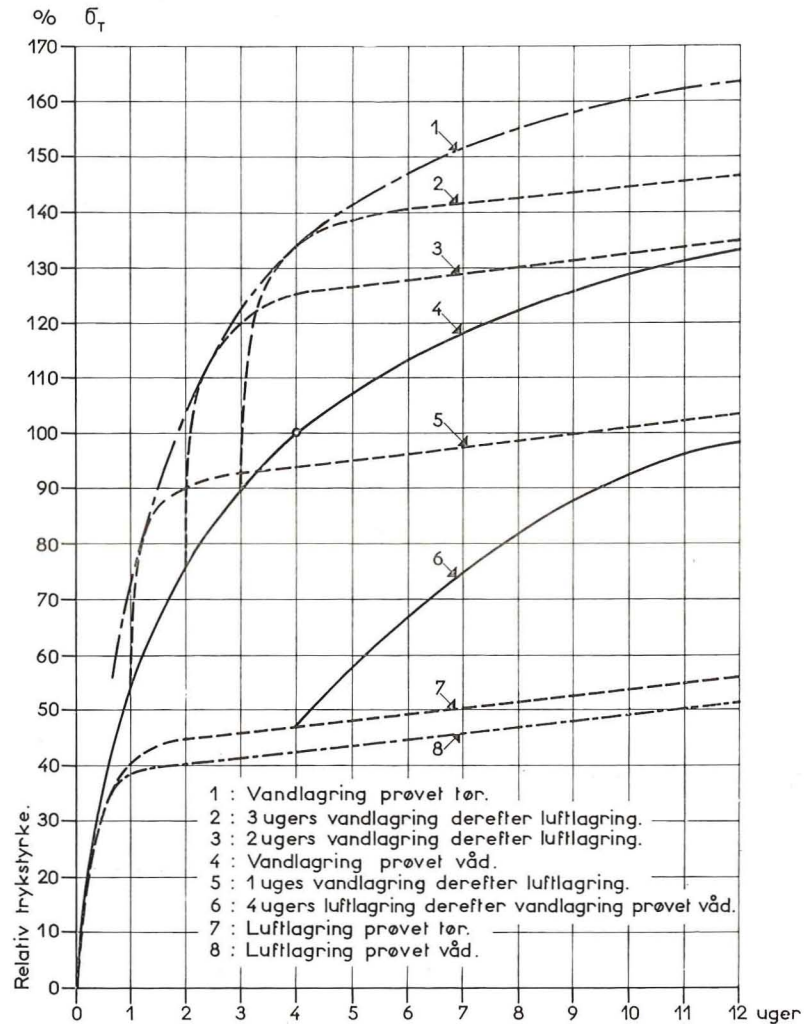


Fig. 6. Betonens styrkeudvikling under forskellige lagringsforhold.

8. ALDEREN

Af fig. 7 fremgår det, at betons styrke stiger meget stærkt i den første tid, især hvis den er fremstillet med hurtighærdnende cement. Styrkestigningen sker hurtigere, jo mindre v/c er.

Med tiden aftager styrketilvækstens hastighed, men stigningen fortsætter i årevis, blot det nødvendige vand er tilstede.

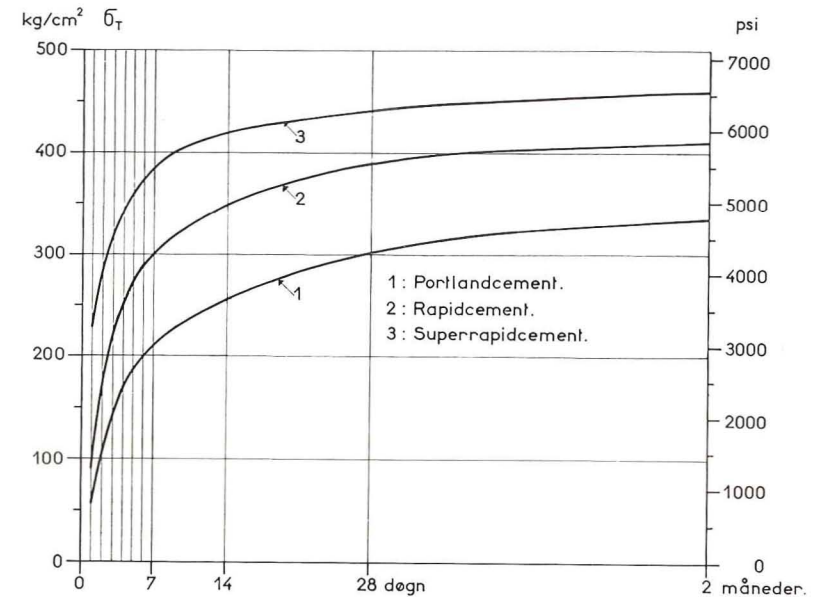


Fig. 7. Eksempler på relationen mellem trykstyrken og alderen. v/c = ca. 0,60.

9. PRØVELEGEMERNES FORM OG STØRRELSE

Ved trykforsøg er de mest anvendte prøvelegemer terninger og cylindre. Cylindrene har normalt en højde lig to gange diameteren. De styrker, man opnår ved prøvningen, afhænger både af formen og størrelsen af prøvelegemet. Idet $\sigma_{T,20}$ er trykstyrken af en 20 cm terning, og $\sigma_{C,15}$ er trykstyrken af en cylinder med 15 cm diameter, kan man ved i øvrigt ens forhold med god tilnærmelse regne med, at

$$0,8 \times \sigma_{T,20} = \sigma_{C,15} \text{ og altså}$$

$$\sigma_{T,20} = 1,25 \times \sigma_{C,15}$$

Fig. 8 angiver terningestyrens afhængighed af prøvelegemets størrelse. Det ses, at styrken findes størst for små prøvelegemer.

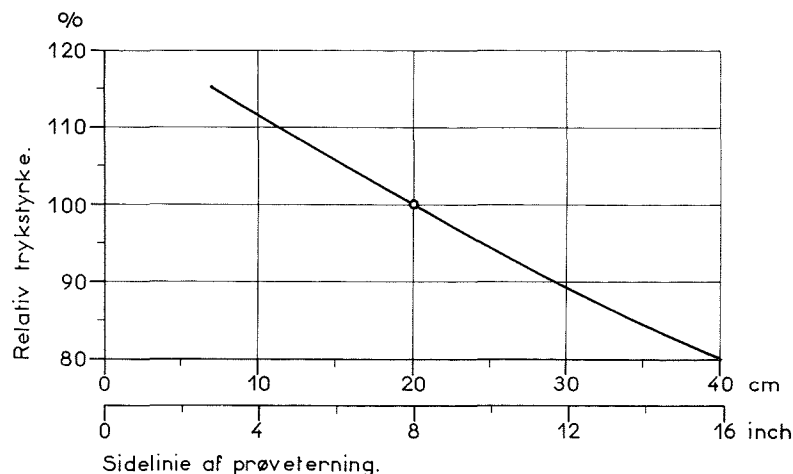


Fig. 8. Relation mellem terningestørrelse og terningestykke.

Fig. 9 viser, hvordan cylinderstyrken varierer med forholdet mellem prøvelegemets højde og diameter.

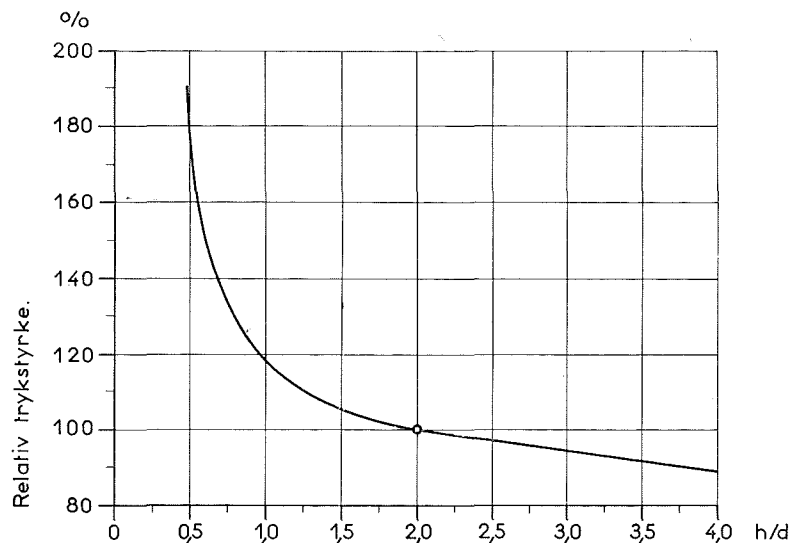


Fig. 9. Cylinderstyrkens afhængighed af forholdet h:d.

C. Betonens tæthed

De fleste af de forhold, der er bestemmende for en betons styrke, har tillige indflydelse på dens tæthed og herigennem på dens holdbarhed under udsatte forhold.

Tæthed opnår man kun for en beton, som har en tæt kitmasse, og som har så meget kitmasse, at samtlige hulrum mellem kornene er fyldte, når betonen er komprimeret, således at der efter betonens bearbejdning ikke er gennemgående hulheder i den. Af hensyn til tæthed og holdbarhed foreskriver man derfor gerne en vis overgrænse for vandcementforholdet v/c og en vis bearbejdighed – afhængig af den bearbejdning, man vil give sin beton. Betonen kan f.eks. være mere stiv og alligevel blive tæt, hvis den skal vibreres, end hvis den skal stemples for hånden.

Det er også meget brugt at foreskrive en nedre grænse for cementindholdet, da man herigennem får en vis sikkerhed for, at der er tilstrækkelig kitmasse, og at vandcementtallet ikke bliver for højt.

En omhyggelig efterbehandling er absolut nødvendig, hvis ikke en ellers god beton skal udsættes for at få svindrevner og deraf følgende utætheder eller nedbrydninger.

I øvrigt henvises til afsnittet »Vandtæt beton«, side 93.

D. Betonens sætning, svind og krybning

1. SÆTNING

Når beton er udstøbt og komprimeret, foregår der en ganske ringe volumenformindskelse i den, hvad der giver sig udslag i en vis sætning af den friske beton, inden den er afbundet. Under den fugtige lagring er rumfanget praktisk taget uændret.

2. SVIND

Under udtørring svinder betonen en smule. Det drejer sig kun om en ganske lille sammentrækning på ialt ca. 0,5 til 1⁰/₁₀₀ (0,5–1 mm pr. m).

Størrelsen af udtørringssvindet afhænger først og fremmest af den vandmængde, der er anvendt ved betonens fremstilling. Jo mere vand der er anvendt desto større svind.

Svindet vokser også med udtørringsintensiteten (luftens temperatur og fugtighed, sol og blæst) og i nogen grad med den anvendte cementmængde. Den tid, der går, fra udtørringen begynder, til svindet er fuldt udviklet,

afhænger af betonens tæthed og konstruktionens dimensioner, idet udtørringen foregår langsomt for store, tætte betontværsnit. For en væg med f.eks. 10 cm tykkelse og fordampning til begge sider, kan svindet være fuldt udviklet i løbet af ½ til 1 år, hovedsagelig afhængigt af den omgivende lufts fugtighedsgrad. En meget væsentlig del af svindet vil dog være nået allerede efter 2-3 måneder.

Hvis betonen efter udtørring udsættes for fugtighed enten ved lagring i fugtigere luft eller under vand, udvider den sig noget. Den del af svindet, der herved kan ophæves, kaldes reversibelt, og dets størrelse er også afhængig af de fleste af de faktorer, som er bestemmende for svindet. Det reversible svind vil ofte i størrelse andrage ca. halvdelen af udtørringssvindet. I ovennævnte eksempel med betontværsnit på ca. 10 cm's tykkelse vil det reversible svind ved vandlagring normalt være fuldt ophævet i løbet af 6-8 mdr.

3. KRYBNING

Når betonen belastes, foregår der også mindre dimensionsændringer. En del af disse deformationer er plastiske og blivende og kaldes betonens krybning. Krybningen bliver desto større, jo længere påvirkningen varer, jo yngre betonen er, når belastningen påføres, og jo større påvirkningerne er i forhold til betonens styrke.

Krybningen har især betydning for afformning af konstruktioner med større spændvidde som senere omtalt. Det må dog bemærkes, at der selv i ældre betonkonstruktioner ved de normalt forekommende belastninger foregår en mindre krybning, som først er fuldt udviklet i løbet af flere år. Denne krybning har ved laboratorieforsøg vist sig at andrage ca. 0,5-1 ‰ for en trykpåvirkning af 50 kg/cm². Da krybningen aftager med voksende dimensioner af prøvelegemet, vil deformationen blive noget mindre i praksis.

II DEL BETONMATERIALERNE OG DERES UNDERSØGELSE

A. Mere detaljerede oplysninger om betonmaterialerne

1. CEMENTEN

Portland-cement er en fælles betegnelse for cementer, der tilfredsstiller visse normer for sammensætning og fabrikationsmåde, for afbindingsforhold og for styrkeforhold. Portland-cement fremstilles i mange lande verden over, ofte på dansk-byggede fabrikker. I Danmark fremstilles cement hovedsagelig af kridt og ler, meget rene råmaterialer, som forekommer i store mængder, især i Jylland, hvor de fleste danske fabrikker da også er beliggende. Den danske cement eksporteres til mere end 70 lande verden over og er kendt for sin gode kvalitet.

Cementen leveres som oftest i sække, men fås også i løs vægt og under særlige forhold i blikemballage. Det er nødvendigt, at cementen opbevares omhyggeligt, idet den ellers vil reagere med luftens fugtighed og have tabt en del af sin værdi, når den skal bruges. Disse forhold er nærmere omtalt i fjerde del i afsnittet vedrørende fordringer til arbejdspladsen.

Følgende cementer er mest brugte:

a. *Portland-cement.*

Denne cement, som i daglig tale ofte kaldes »almindelig« Portland-cement, bruges til alle normale betonarbejder, og der regnes i almindelighed med denne cement, når man ikke nævner andet. En sæk Portland-cement indeholder 50 kg cement og regnes efter rummål at svare til 37 liter eller 1,3 cbf. Cementen er grågrøn.

b. *Rapid-cement.*

Denne cement er en hurtighærdnende Portland-cement, der binder af på normal måde. Den hærdner i begyndelsen ca. 4 gange hurtigere end almindelig Portland-cement og giver større endelig styrke ved i øvrigt ens forhold. Også for de hurtighærdnende Portland-cementer er der udgivet normer i en hel række lande. En sæk Rapid-cement indeholder 50 kg cement og regnes

i rummål at svare til 41 liter eller 1,45 cbf. Cementen er mere finmalet og lidt lysere i farven end almindelig Portland-cement.

c. Super-Rapid-cement.

Denne cementsort er en ekstra hurtighærdnende Portland-cement, der tilfredsstiller normerne for hurtighærdnende cement, men blot opnår sine styrker mellem 2 og 3 gange så hurtigt som denne. Beton med denne cement når således på få døgn en ganske betydelig styrke. Også denne cement leveres i sække à 50 kg, og den regnes at fylde 45 liter eller 1,6 cbf. pr. sæk.

d. Havvand-cement.

Havvand-cement er en specialcement på Portland-cement basis, der tilfredsstiller cementnormerne, for så vidt angår styrke. Den leveres i sække à 50 kg, der regnes at fylde 47 liter pr. sæk eller 1,65 cbf. Havvand-cement er, som navnet antyder, særlig beregnet til beton, der skal bruges i havvand; den har en speciel kemisk sammensætning og er tilsat puzzolan.

e. Hvid Portland-cement.

Denne cement, der er smukt hvid, er fremstillet af særlig rene råmaterialer. Den kan benyttes til beton, men er naturligvis en del dyrere end almindelig Portland-cement, og den bruges derfor oftest til forstøbninger og lignende specielle opgaver. Den leveres i papirsække på 25 eller 50 kg netto. De små sække regnes at indeholde omkring 20 liter cement eller 0,7 cbf., de store omkring 40 liter eller 1,4 cbf.

f. Farvede cementer.

Man kan fremstille farvet beton ved at sætte farvepulver til betonen; men det er meget vanskeligt at sætte farven jævnt til, og da mange farvestoffer er ubestandige i beton, er det bedre at bruge farvede cementer, i hvilke de bedst egnede farvestoffer er indmalede med meget stor omhu. Disse cementer tilfredsstiller Portland-cementnormerne hvad styrke angår. De fås i sække på 25 kg eller 50 kg netto i 9 standardfarver. De små sække regnes ligesom for hvid cement at indeholde 20 liter eller 0,7 cbf., de store 40 liter eller 1,4 cbf. cement. Også til jernbeton kan man bruge farvet cement; men drejer det sig om jernbeton udendørs, må man dog sikre sig, at cementen kan rustbeskytte jernet.

g. Andre cementsorter.

Foruden de ovennævnte findes en del cementer, der kun anvendes i ganske særlige tilfælde. Blandt disse kan nævnes:

Alkalikisleresistent-cement er en lavalkali puzzolan-cement, der kendetegnes dels ved et meget lavt alkaliindhold, dels ved et indhold af kalcineret,

findelt moler, hvilket tilsammen gør cementen særlig egnet, hvor der på grund af de anvendte tilslag eller bygværkets art og beliggenhed ellers kunne befrygtes forekomsten af de såkaldte alkali-grusreaktioner og de deraf følgende alkaliskader i betonen.

Lavvarme-cement, der udmærker sig ved at have en betydelig lavere hydratiseringsvarme end almindelig Portland-cement. Den bruges især ved udstøbning af store betonmasser, hvor det er af betydning at holde varmeudviklingen så lav som muligt.

Puzzolan-cement, der fremstilles af Portland-cement ved imaling af visse puzzolaner. Disse er oftest vulkanske stoffer, der som regel indeholder ret store mængder kiseltsyre i en sådan form, at det reagerer med den ved hydratiseringen frigjorte kalk. Varmeudviklingen er mindre end hos rene Portland-cementer, og betoner fremstillede med puzzolan-cementer regnes at have større modstandsdygtighed mod udvaskning og mod angreb af aggressive vædsker. Dansk *Moler-cement*, Havvand-cement og Alkalikisleresistent-cement hører til denne gruppe cementer.

Slagge-cement, der er en art puzzolan-cement, idet den fremstilles af Portland-cementer ved imaling af højovns slagge.

Aluminat-cement, der ikke er nogen Portland-cement. Cementen indeholder en høj Al_2O_3 -mængde, og varmeudviklingen er stor. Med aluminat-cement opnås på ca. et døgn samme styrke som med almindelig Portland-cement efter 28 døgn. Beton med aluminat-cement er modstandsdygtig mod sulfatangreb. Den anvendes til specielle formål, bl. a. hvor der ønskes stor styrke på et tidligt tidspunkt, til fremstilling af ildfaste sten og til støbning i koldt vejr. Den må ikke blandes med Portland-cement. Beton med aluminat-cement kan være ubeständig i temperaturer over $30^\circ C$, hvis den udsættes for fugtighed.

2. TILSLAGET

Som tilslag til beton bruges enten naturligt forekommende grus (eller sand) og sten eller knuste materialer, de såkaldte skærver. En blanding af de to typer tilslag kan også anvendes.

Det naturligt forekommende tilslag stammer enten fra grusgrave, eller det er sø- eller flodmaterialer. I de sidstnævnte har kornene en mere afrundet form og en glat overflade, medens grusgravsmaterialerne er mere irregulære i formen og oftest har en ru overflade.

Knuste tilslag fremstilles enten af klippemateriale eller af naturlige sten. Kornene er altid kantede, og der vil ofte være en ret stor procent flade eller langagtige korn, som ikke er hensigtsmæssige. Ved brug af specielle knuse-

maskiner og selektiv sigtning kan man fremstille tilslag med en høj procent kubiske korn, som er de bedst egnede til betonfremstilling, og dette gøres ofte ved store arbejder. Kornenes overfladebeskaffenhed vil naturligvis afhænge af råmaterialet.

I almindelighed vil man, hvor det er muligt, anvende naturlige tilslag fremfor knuste, idet de førstnævntes afrundede kornform medfører et mindre vandforbrug, der betyder større trykstyrker for samme cementindhold. På den anden side kan der – særlig ved vibrering – fremstilles fortrinlige betoner med knuste tilslag, og i visse tilfælde kan det, f.eks. hvor der kræves stor slidfasthed eller stor trækstyrke, være en fordel at anvende disse.

Generelt kan man sige om tilslaget, at det kun må indeholde sunde og stærke korn, og at det skal omfatte alle kornstørrelser, lige fra de allermindeste til de størst brugelige. I visse tilfælde kan det dog være formålstjenligt at anvende tilslag, hvor en enkelt eller flere størrelsesgrupper mangler, men sådanne betoner med partikelspring er som oftest følsomme over for selv små ændringer i tilslaget.

For at kunne fremstille en økonomisk og god beton må man imidlertid også kræve, at tilslaget har en hensigtsmæssig kornfordeling, d.v.s. at mængdeforholdene mellem korn af de forskellige størrelsesgrupper er tilfredsstillende. Det er derfor sjældent, at man kan bruge materialerne direkte, som de graves op; som regel skal de sorteres og det anvendte tilslag sammensættes af mindst 2 fraktioner, f.eks. grus og sten. Ved store arbejder er man ofte oppe på 5–6 forskellige fraktioner, f.eks. ved støbning af dæmninger o.l. I nogle lande findes forskellige slags tilslagsmaterialer, f.eks. fint sand, groft sand o.s.v., men i andre lande er det meget vanskeligt at få fat på materialer, der egner sig til beton, og ved mange store arbejder rundt om i verden har man måttet fremstille sandet, gruset og stenene ved sprængning og knusning af klippe med påfølgende udsigtning i fraktioner.

Betegnelsen »grus« benyttes for en blanding af sand og sten. Rent teoretisk skelner man mellem »sand«, som er den fine del, der kan passere en sigte med 4 mm kvadratiske huller – og det grovere materiale »sten«. (I nogle lande regnes grænsen mellem sand og sten noget større, omkring 5 mm). I praksis kaldes fint grus, der har en største kornstørrelse på 8–10 mm, for enten sand eller grus og det endnu grovere materiale for sten.

I det følgende vil udtrykket »sand« kun blive anvendt for materiale finere end 4 mm, medens udtrykket »betongrus« (eller »grus«) bruges for materiale med korn op til 8-10 mm, altså for det materiale der normalt anvendes sammen med sten til fremstilling af beton. Den samlede blanding af betongrus og sten kaldes tilslaget.

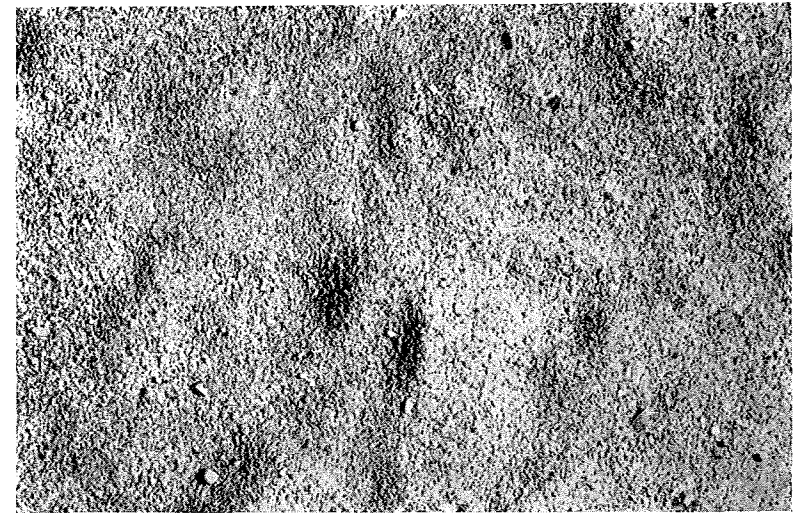


Fig. 10. Sand, der er meget for fint til beton.



Fig. 11. Sand, der er for fint og enskornet. Det mangler grove korn og er derfor ikke særlig godt til beton.



Fig. 12. Betongrus, som det bør være. Det indeholder både fine, mellemfine og grove korn i passende mængder.



Fig. 13. Perlesten; de fleste korn kan passere 8 mm sigten, men ikke 4 mm sigten.

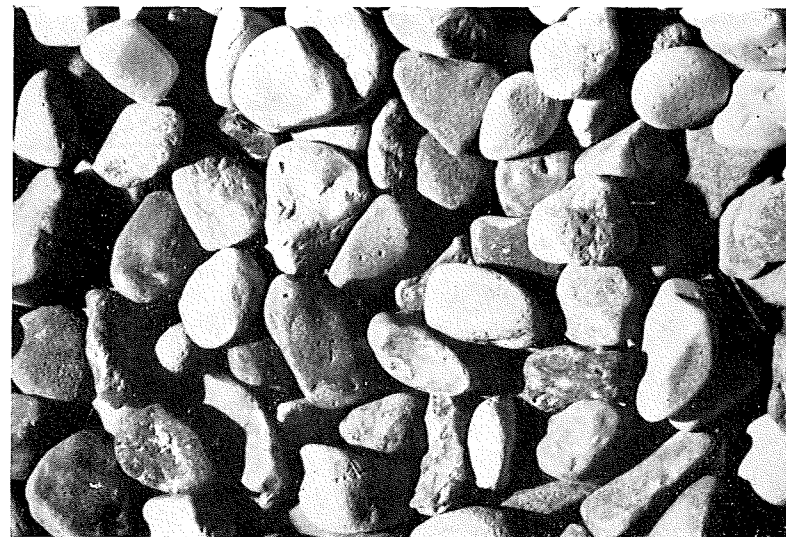


Fig. 14. Ærtesten, hvis kornstørrelser hovedsagelig ligger mellem 8 og 16 mm.

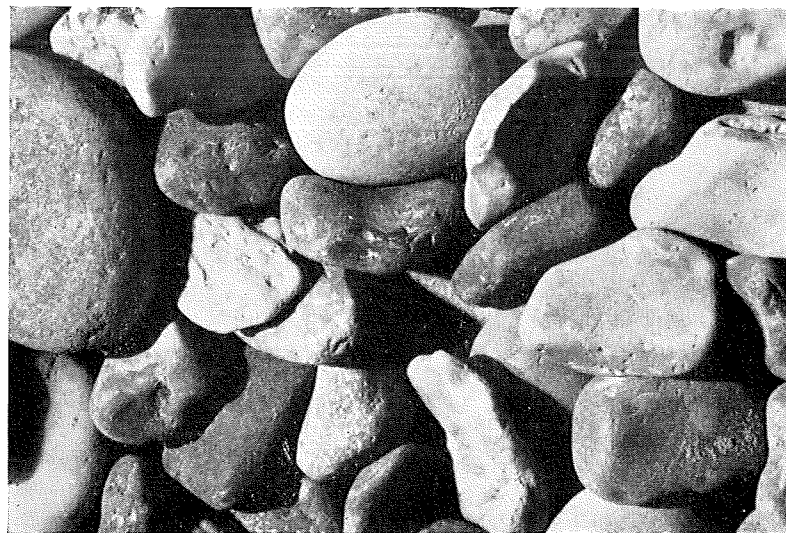


Fig. 15. Nøddesten, som kan passere 32 mm sigten, men ikke 16 mm.

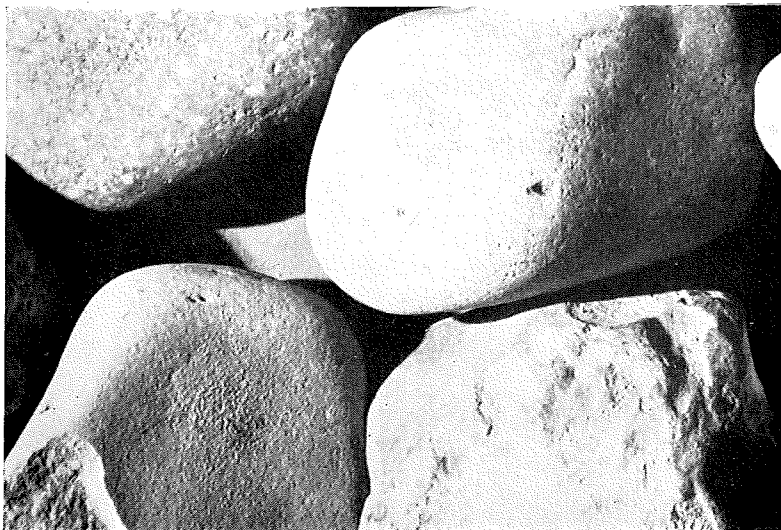


Fig. 16. Singels, som i kornstørrelse ligger mellem 32 og 64 mm.



Fig. 17. Skærver.

Materiale med kornstørrelse under $\frac{1}{8}$ mm kaldes ofte *filler*. Fig. 10–17 viser almindelige danske tilslag i omtrent fuld størrelse.

Småskærver er meget egnede til slidlag. Til hvid eller lysere farvet beton kan der være tale om skærver eller stenmel af f.eks. kalksten. Kalcineret flint i forskellige sorteringer anvendes også, men kan forårsage frostsprængninger.

Selv i lande, der er rige på bakkematerialer, kan det adskillige steder være vanskeligt at finde materialer, der tilfredsstiller de krav, man bør stille til dem; de er ofte for fintkornede. I mange byer, som ligger ved havet, leveres både gode bakkematerialer og gode sømaterialer.

3. VANDET

Det vand, der bruges til betonfremstilling, skal helst være friskt og rent. Man må særlig undgå fedt-, syre- og olieholdigt vand samt vand, hvori der findes sukker eller store saltmængder. Vandet kan i øvrigt i mange tilfælde være forurenet og dog bruges til betonfremstilling, hvis det er vanskeligt at få fat på andet vand, men man må da bruge mere cement. Havvand bør undgås til jernbeton, da det kan forårsage farlige rustdannelse; men det *kan* anvendes til uarmeret beton, hvis denne ikke er for mager.

B. Undersøgelse af betonmaterialerne

1. CEMENTEN

Cementnormerne foreskriver visse krav til cementens styrke, finhed, bindetid o.s.v., der skal overholdes.

I almindelighed behøver forbrugerne af dansk cement ikke at bekymre sig om cementens kvalitet, da denne er både høj og ensartet. Imidlertid kan det ske, at cement bliver udsat for lang opbevaring under uhensigtsmæssige forhold eller forurening på arbejdspladsen, og der kan da opstå tvivl om dens anvendelighed. I så fald må cementen undersøges, og det gøres bedst på et anerkendt laboratorium. Enkelte prøver kan dog udføres på stedet. Cement, der har ligget stablet i sække, kan blive hård af trykket, men hvis den bliver blød igen, blot sækken rulles, er cementen anvendelig. Rigtig »stenløben« cement, d.v.s. cement med klumper, der skyldes fugt og er så hårde, at de ikke kan smuldre mellem fingrene, bør aldrig anvendes. Klumperne må frasigtes, og resten kan i nødsfald bruges.

En simpel bestemmelse af cementens bindetid kan også udføres på arbejdspladsen. 100 g cement og ca. 27 g vand blandes omhyggeligt til en kage og an-

bringes på en let olieret glasplade. Pladen rystes, indtil kagen breder sig ud, til diameteren er 8–10 cm. Spidsen af en almindelig blyant trykkes nu igennem cementmørtelen i ca. 15 mm afstand fra kagens kant. Dette gøres med mellemrum, indtil der ved indtrykningen danner sig små revner ud til kagens kant, som tegn på at afbindingen er foregået. Ligger den tid, der er forløbet fra udstøbningen til revnerne dannes, mellem 1 og 8 timer, har cementen normal bindetid og er anvendelig. Dette gælder for almindelig Portland-cement; for Rapid-cement er tiderne $\frac{3}{4}$ og 8 timer.

Cementens styrke undersøges bl.a. ved trykprøvning af mørtelterninger fremstillet efter en normeret fremgangsmåde. 28-døgns-styrkerne for Portland-, Rapid- og Super-Rapid-cement er henholdsvis ca. 500, 700 og 750 kg/cm² prøvet efter danske normer, medens kravene er 400 kg/cm². Det foreskrevne v/c-forhold er ca. 0,30 ved disse normprøver, og styrkerne er derfor højere end de betonstyrker, der normalt opnås i praksis, hvor v/c-forholdet sjældent er under 0,45.

2. TILSLAGET

Tilslaget udgør langt den største del af betonen, og det er derfor vigtigt, at der kun anvendes gode og hensigtsmæssige materialer. De hovedkrav, man stiller til tilslaget, er: hårdhed, bestandighed og renhed.

Hårdhed: Tilslaget skal helst være lige så hårdt som den hærdnede kitmasse, der binder det sammen.

Bestandighed: Tilslaget bør ikke indeholde materialer, der nedbrydes eller ændrer volumen under påvirkning af vejrliget. Stoffer som kul, der kvæller ud, og lerklumper, der bliver bløde og efterlader huller i betonen, bør undgås i tilslaget.

Renhed: Tilslaget skal være rent og frit for organiske forureninger. Fast-siddende støv eller ler på tilslagskornene forhindrer adhæsionen til kitmassen, og plantedele, humus eller andre organiske forureninger svækker den hærdnede beton.

a. Prøveudtagning.

Alle undersøgelser skal foretages på virkelig gennemsnitsprøver af materialerne, idet det er klart, at skødesløst udtagne prøver er værdiløse.

Hovedprøven skal mindst være på ca. 250 kg og skal sammensættes af 12–15 mindre prøver taget fra forskellige steder i lageret. Ved udtagning af disse småprøver bør man undgå steder, hvor materialet er afblandet og samlet i grove eller fine partier. Den store prøve gennemblendes godt og hældes ud i

en kegle, som så flades ud til en ca. 10 cm tyk cirkulær skive. Skiven deles i 4 kvadranter, og to modstående af disse kasseres. De to resterende blandes, hældes ud i en kegle, der behandles som den første. Denne proces gentages, indtil der er opnået en prøve af den ønskede størrelse. Ved deling af sandprøver kan en sanddeler også anvendes med fordel.

b. Almene undersøgelser.

Det materiale, vi finder i grusgravene, kan man i almindelighed bedømme efter udseendet og navnlig se, om det indeholder smuldrende eller forvitrende korn i større mængde. Et ikke frostfast, større korn kan give anledning til frostsprængninger i overfladen af beton, der udsættes for frost, og det er derfor særlig for sådan beton af betydning, at de større gruskorn består af stærke og vejrfaste partikler. Uporøse, hårde kalksten skader ikke, men porøse, vandsugende kalkkorn bør ikke forekomme i ret stor mængde, da de vil svække betonen. Der må højst være 20 vægtprocent kalk i sandet, og hvis stenene alene indeholder mere end 10 vægtprocent, må materialerne prøves nærmere. Man bør skønne over kalkkornenes kvalitet og tænke på, hvorvidt de overfladesprængninger, som større korn kan afstedkomme, kan tolereres. Er der tale om meget store kalkkorn, vil der være fare for frostsprængninger selv i beton, hvori stenene ligger 10–15 cm fra overfladen.

I øvrigt er sømaterialer normalt betydelig renere end bakkematerialerne, idet de oftest består af kvarts eller andre hårde stenmaterialer, som har modstået det slid, som de udsættes for ved bevægelsen under bølgeslaget. Sømaterialerne kan dog indeholde ikke ubetydelige mængder af kalk i form af muslingeskaller, sneglehuse og lignende.

Kalkindholdet.

Bestemmelse af kalkindholdet kan ske således: En tørret prøve vejes og overhældes med en 10% saltsyreopløsning. Dersom prøven bruser, indeholder den kalk. Der vaskes efter med vand, og processen må i reglen udføres tre gange, før al kalken er opløst. Prøven tørres, og vægttabet, der svarer til kalkindholdet, bestemmes.

Humus.

Gruset – og særlig sandet – kan være forurenede af humussyre. Om forureningen er for stor, kan konstateres ved følgende prøve:

Man fylder sand ca. 7 cm højt i en klar farveløs flaske, hvorefter man hælder natronlud, en 3% natriumhydroxyd-opløsning, over sandet, således at væskens højde bliver ca. 12 cm over flaskens bund. Man propper flasken til

og ryster grundigt, hvorefter man stiller den hen. Fig. 18 viser eksempler på de farver, der fås ved forskellige humusindhold. Væsken farves ofte umiddelbart, men undertiden indtræder der først en farvning senere, i hvilket tilfælde man bør vente et døgn med bedømmelsen. Mørkfarvningen behøver dog ikke at skyldes humus, men kan f. eks. skyldes kulkorn, hvorfor man i tvivlstilfælde bør foretage styrkeforsøg med sandet.

Lerindhold.

Ved humusundersøgelsen vil de fine partikler lejre sig øverst i et mer eller mindre tykt lag, således at man kan få et begreb om mængden af sådanne partikler; dette lag bør normalt ikke være mere end 3-4 mm for et lag sand på 7 cm, altså ca. 5%. Er der mere ler, bør man udføre prøvestøbninger, hvis det drejer sig om vigtige arbejder.

Ler afsløres i øvrigt nemt ved gnidning af gruset mellem hænderne, idet leret vil smitte af på en fugtig hånd. Det er særlig det ler, der sidder fast på stenene, som skader, fordi cementen så ikke kan kitte sig til stenenes overflade. Hvis leret sidder løst, vil det gnides af under blandingen af betonen, og et lille lerindhold kan endda virke gavnligt på betonstyrken. Kun en prøvestøbning og styrkeundersøgelse kan vise, om et materiale vil forbedres ved vaskning eller ej.

Kornform.

Hvis man ser på sandet i vore almindelige grussorter gennem lup, vil man se, at kornformen for bakkematerialer er noget mere kantet end for sømaterialer. Sømaterialerne vil kræve mindre vand ved betonfremstillingen og kan derfor give en stærkere eller en billigere beton. Forskellen er dog ikke stor, og med lidt øvelse er man i stand til at bedømme, om kornformen omtrent svarer til det normale.

Når talen er om sten, gælder noget lignende forhold, men sømaterialerne består dog langt fra udelukkende af rullesten, idet bølgernes virkning ikke går så dybt som til de steder, hvor stenene tages.

Gruskornenes nedbrydningsmodstand ved Na_2SO_4 -metoden.

Hvis gruskornene kan modstå vejrliget uden at sønderdeles, kaldes de »sunde«. Det er allerede nævnt, at frost og tør kan påvirke kornene, men en hurtigere undersøgelse end en egentlig frostprøve kan man foretage ved at overhælde gruset med en mættet opløsning af natriumsulfat (Na_2SO_4). De krystaller, der derefter udfældes, vil virke sprængende på tilsvarende måde som iskrystallerne gør ved frysning af vandmættede korn.



Fig. 18. Resultatet af humusundersøgelse af forskellige sandprøver. Proven til venstre er den rene, og den næste er også brugelig. Den midterste sandsort er dårligt egnet, medens de to til højre er uegnede, dersom farvningen skyldes humus.

Lerpilene
 Hof
 "Lerkorn"
 priten

Man mætter først gruset med opløsningen i 18 timer og tørrer det derefter ved ca. 100° C i 4 timer. Processen gentages, og virkningen – særlig formindsnelsen af kornene – iagttages ved den ændring, der sker i sigtekurven.

Alkalireaktivitet.

Tilslaget indeholder sommetider kiselsyre i en sådan form, at det reagerer med cementens alkalier eller med alkalier tilført med blandingsvandet eller fra omgivelserne. Reaktionen medfører en stor volumenudvidelse, der kan få betonen til at revne og afskalle. Fænomenet kan forekomme efter lang tids hærkning og er mere udpræget, hvor der anvendes cementer med relativt højt alkaliindhold, men man har også iagttaget det ved betonarbejder udført med cementer med lavt alkaliindhold som de danske.

Den hyppigst forekommende form for tilslag med alkalireaktiv kiselsyre er forskellige flinttyper, indeholdende såkaldte opaler. Reaktive mineraler forekommer endvidere i forskellige vulkanske bjergarter med middel- til højt siliciumindhold, såsom kalcedon og lignende.

De fleste danske tilslagsmaterialer indeholder reaktive mineraler, men da de skadelige reaktioner kræver fugtighed for at foregå og endvidere kun sker, hvis de reaktive mineraler findes i ganske bestemte mængdeforhold, forekommer disse skader meget sjældent og da hovedsagelig ved bro- og vandbygningsarbejder.

Undersøgelsen af tilslag for alkalireaktiv kiselsyre kan kun udføres på et større laboratorium og bør udføres i tvivlstilfælde.

Vægtfylde og neddykningskoefficient.

Det er nødvendigt at kende tilslagsmaterialernes kornvægtfylde af hensyn til proportioneringen – eventuelt af hensyn til bestemmelse af luftindholdet i frisk beton. I almindelighed ligger de danske materialers kornvægtfylde omkring 2,63 (g/cm³), og findes den væsentligt lavere, kan det tyde på svage, eventuelt porøse korn.

Sandets kornvægtfylde bestemmes ved hjælp af et pyknometer. Som sådant kan f.eks. bruges et 1 kg henkogningsglas med plansleben kant og med et stykke spejlglas som låg. Pyknometrets vægt i vandfyldt tilstand bestemmes, idet glaslåget skydes på og man sørger for, at der ingen luftblærer findes mellem låget og væskeoverfladen, og derefter foretager vejningen. En tør prøve af sandet vejes nøjagtigt, og pyknometret fyldes derefter ca. halvt med vand, hvorefter prøven af sandet hældes i. Ved at dreje pyknometret rundt i skrå stilling sørger man for, at al luft undviger. Derefter fyldes pyknometret op med vand som før og vejes.

Tilslagets vægtfylde er da

$$\gamma = \frac{P}{P - P_1}$$

hvor

P = afvejede prøves vægt,

P_1 = afvejede prøves vægt under vand, fundet som forskellen mellem pyknometrets vægt med prøven i og med kun vand i.

Forholdet $P_1 : P = \mu$ kaldes neddykningskoefficienten.

Ovenstående pyknometer anvendes til vægtfyldebestemmelse af sand eller grus. Til sten bør anvendes større kar af metal, men princippet i bestemmelsen er det samme. Det må bemærkes, at temperatursvingninger i vandet vil medføre unøjagtigheder i bestemmelsen og skal undgås. Tages vandet fra en hane, bør denne derfor løbe i nogen tid, inden vandet bruges.

Rumvægt.

Et tilslagsmateriales rumvægt er dets vægt pr. volumen, således som det er lejret, og angives f.eks. i kg/m^3 . Rumvægten er afhængig af lejrings-tætheden, der igen er afhængig af komprimeringen og kornfordelingen, og den har betydning for den mængde kitmasse, der er nødvendig ved betonfremstillingen. Rumvægten bestemmes ved, at man vejer den mængde tilslagsmateriale, der rummes i et kar af kendt volumen, og dividerer vægten med voluminet. De opnåede resultater vil afhænge meget af, hvorledes materialet fyldes i karret, og af dets størrelse samt af materialets fugtighedsgrad.

De kar, der benyttes, bør have nogenlunde samme tværmål som højde og være større jo grovere materialet er, som angivet i tabel 2.

Tabel 2.

Målekar til rumvægtsbestemmelse.

Største kornstørrelse i mm	8	16	32	64	128
Målekarrets omtrentlige volumen i liter	3	5	10	25	80

Materialet fyldes i karret i tre lag, der hver stemples 25 gange med en ca. 60 cm lang, ca. 20 mm tyk jernstang med afrundet ende. Tredje lag påfyldes med overhøjde og afstryges efter stampningen. Af karrets rumfang og tilslagets nettovægt udregnes derefter rumvægten.

Rumvægten af danske tilslagsmaterialer med normalt fugtighedsindhold ligger for de enkelte fraktioner på 1400–1600 kg/m^3 . For det sammenblandede, tørre tilslag kan rumvægten nå op på 2000–2200 kg/m^3 .

Fugtighed

Tilslag, som ligger under åben himmel, vil som regel indeholde en del fugtighed. I sådanne tilfælde tilføres betonblandingen vand med tilslaget udover det, der direkte sættes til. Der må korrigeres for dette ekstra tilskud, d.v.s., man må bestemme tilslagets vandindhold. Dette kan gøres på forskellige måder, lettest er vel nok at veje en prøve før og efter, at den er blevet tørret, f.eks. ved opvarmning på en primus eller en elektrisk kogeplade. Man kan også gennemvæde prøven med sprit, som så antændes. Vægttabet er lig vandindholdet, som i reglen opgives i procent af tørvægten. Prøverne må ikke opvarmes for stærkt og må ikke vejes i varm tilstand.

Fugtighedsindholdet kan også bestemmes ud fra ændringen i neddykningskoefficienten. Synker denne f.eks. fra 0,62 for tørt grus til 0,59 for vådt grus, kan man af $\frac{0,62}{0,59} = 1,05$ slutte, at gruset indeholder 5% fugtighed i forhold til tørstoffet.

En del af fugtigheden vil muligvis indeholdes i porøse korn, således at denne vandmængde egentlig ikke indgår i vandcementforholdet. Dette spiller ved meget porøse korn en væsentlig rolle.

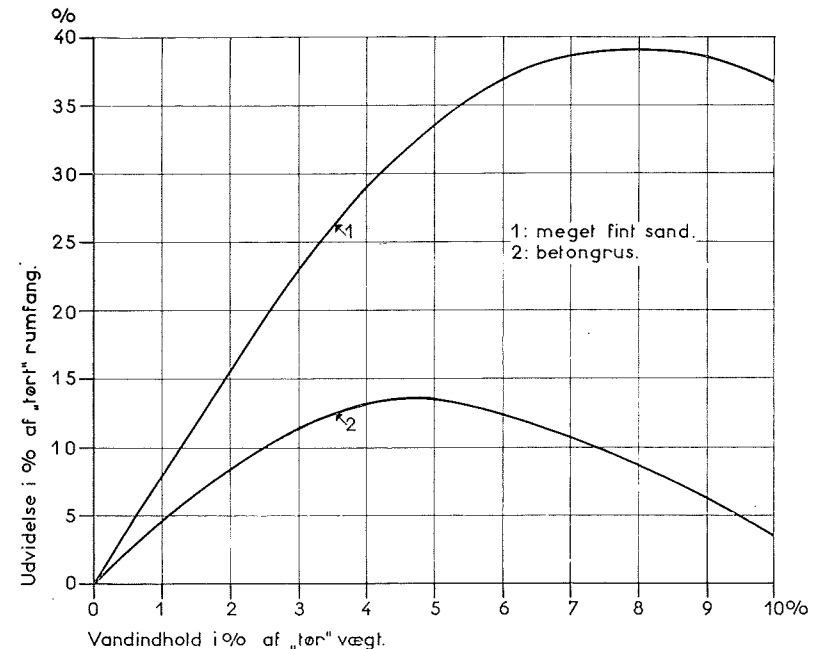


Fig. 19. Relation mellem fugtig og tørt sands og grus' rumfang.

Svelning eller udvidelse.

Stenmaterialets rumfang er uafhængigt af dets fugtighedsindhold, hvorimod fugtigt sand eller grus har et større rumfang end den tilsvarende vægtmængde tørt materiale. Ved blanding efter rumfang vil det sige, at de mængder sand eller grus, man tilføjer, vil variere med fugtigheden, et forhold der må korrigeres for. Rumfangsændringen vil afhænge af flere faktorer, bl. a. kornform og kornfordeling. I almindelighed vil ændringen ligge inden for det i fig. 19 viste område.

c. Kornfordeling. Sigtekurver og finhedsmodul.

Det har været omtalt, at tilslaget bør have en god kornfordeling, d. v. s. at det bør indeholde alle partikelstørrelser nogenlunde jævnt fordelt fra de mindste til de største, og at mængdeforholdene mellem de forskellige størrelsesgrupper skal være passende. Man kan skønne over kornfordelingen – eller graderingen som man også kalder det – ved at se på gruset bredt ud i et tyndt lag på hånden; men den undersøges bedst ved en sigteanalyse. Denne udføres ved at lade en tørret gennemsnitsprøve af materialet passere en række sigter og bestemme de mængder, der tilbageholdes på de forskellige sigter. Som regel bruges et sæt standardsigter med kvadratiske masker. De anvendte sigtestørrelser er noget forskellige i de forskellige lande, som angivet i tabel 3. Til tider skydes mellemliggende sigter ind i standardrækken.

Tabel 3.
Sigtemaskevidder.

England BS		U.S.A. ASTM		Danmark Sverige
Betegn.	mm	Betegn.	mm	mm
6"	152,4	6"	152,4	128
3"	76,2	3"	76,2	64
1 1/2"	38,1	1 1/2"	38,1	32
3/4"	19,1	3/4"	19,1	16
3/8"	9,5	3/8"	9,5	8
3/16"	4,8	3/16"	4,8	4
No. 7	2,36	No. 8	2,38	2
– 14	1,20	– 16	1,19	1
– 25	0,60	– 30	0,59	0,5
– 52	0,295	– 50	0,297	0,25
– 100	0,147	– 100	0,149	0,125

Selve sigtningen udføres som regel maskinelt, men kan også udføres for hånden. Sigteprøvens størrelse bør afhænge af største kornstørrelse; for $d_{\max} = 4, 16, 32$ og 64 mm bør den være henholdsvis $1/2$ kg, 5 kg, 25 kg og 100 kg.

Sigtningen udføres naturligvis på den måde, at der sigtes på finere og finere sigter. Mængden, der tilbageholdes på sigterne, vejes og indføres på et sigteskema som vist senere. Skemaet burde egentlig angive mængder i absolut volumen. Når der ikke er væsentlig forskel på sands og stens vægtfylde, bruges imidlertid vægtmængder.

Resultaterne gengives som regel også i sigtekurver (fig. 20 og 21), som letter sammenligningen mellem forskellige graderinger.

En vis karakterisering af beliggenheden af et materiales sigtekurve, og derved af materialets finhed, fås i det såkaldte *finhedsmodul* FM. Som finhedsmodul benyttes her i landet en talstørrelse svarende til det areal på sigtediagrammet, der ligger over kornkurven og til højre for sigteordinaten $0,125$ mm, idet arealet mellem to nabosigter benyttes som enhed for FM, som vist på fig. 22. Det ses ved hjælp af de indtegnede skrålinier, at dette areal, såfremt sigtekurven regnes retliniet fra sigte til sigte, er lig summen af de i alt over hver enkelt sigte tilbageholdte mængder (den totale mængde,

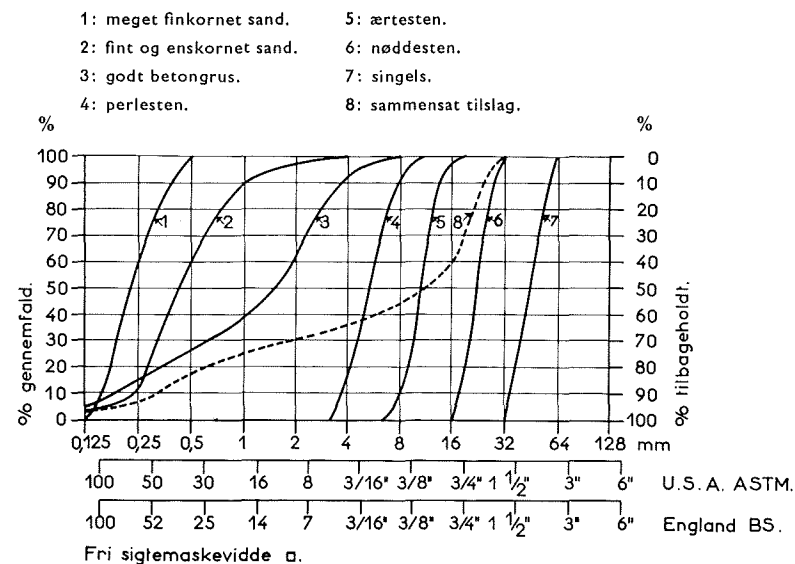


Fig. 20. Eksempler på sigtekurver for forskellige betonmaterialer.

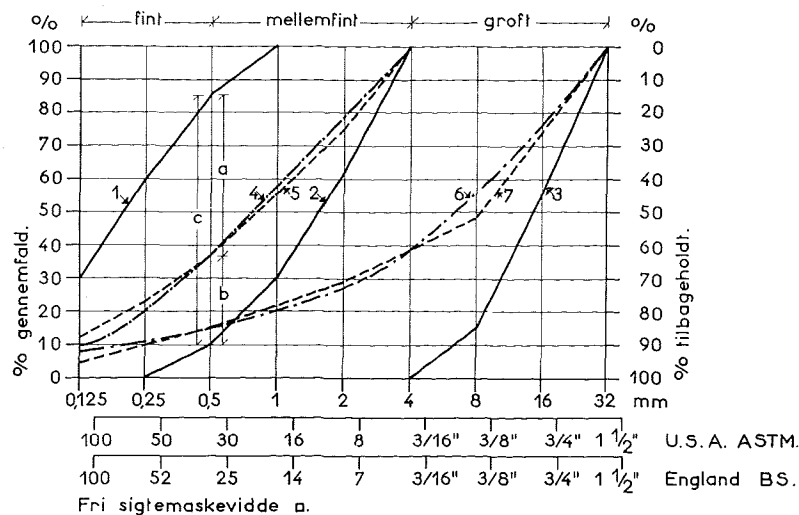


Fig. 21. Kurver for betonmaterialer og sammensætning af disse.

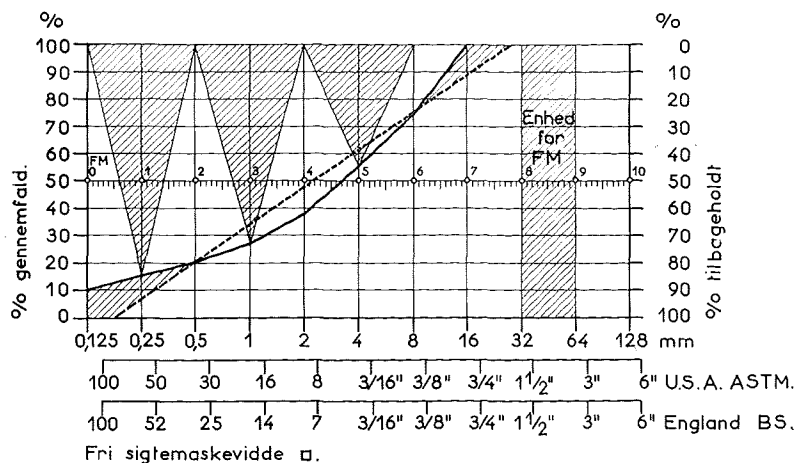


Fig. 22. Bestemmelse af finhedsmodulet FM ud fra sigtekurven.

der er grovere) i procent, divideret med 100, idet dog tilbageholdt over sigte 0,125 mm kun medregnes halvt. (De fleste steder i udlandet regnes lidt anderledes, idet f.eks. tilbageholdt over fineste sigte medregnes fuldt).

Eksempel på sigterestultat.

Sigte mm	Tilbageholdt		Bidrag til FM
	enkelte sigte g	samlet %	
4	0	0	0,0
2	242	22	0,22
1	231	21	0,43
0,5	220	20	0,63
0,25	187	17	0,80
0,125	110	10	0,45
<0,125	110	10	
1100		100	FM=2,53

Dersom der på diagrammet indlægges en ret linie, der afskærer samme areal som kornkurven, men ikke skærer linien for 0% gennemfald til venstre for 0,125 mm-linien, kan FM aflæses direkte ved liniens skæringspunkt med den viste skala midt i sigtediagrammet.

I det på fig. 22 viste eksempel findes således:

Bidrag fra	0,125 mm sigte	0,45
-	-	0,25
-	-	0,5
-	-	1
-	-	2
-	-	4
-	-	8
-	-	16
		FM=4,15

Finhedsmodulet er et mål for tilslags grovhed, men det giver ikke noget billede af kornfordelingen. To tilslag kan således have samme FM, men forskellig graderingskurve, således at det ene tilslag måske er bedre egnet til betonfremstilling end det andet.

Jo flere grove korn et tilslag indeholder, desto lavere vil dets graderingskurve ligge i sigtediagrammet, og desto lavere vil vandbehovet være, d.v.s., at vandbehovet falder med voksende FM eller grovhed hos tilslaget. Imidlertid falder også bearbejdigheden med voksende FM, og ved betonproportioneringen må tilslags gradering derfor vælges under passende hen-

syntagen til disse faktorer, således at man opnår den ønskede bearbejdelighed for mindst mulig vandtilsætning. Det er ofte gavnligt med et vist fillerindhold, især af hensyn til tæthed og bearbejdelighed.

Det er kun de færreste materialer, der leveres til betonstøbning, som opfylder kravene med hensyn til gradering over hele kornområdet, og dette er grunden til, at man altid bør bruge mindst to sorteringer, nemlig grus og sten. Til tider kan det være nødvendigt at bruge endnu flere sorteringer eller at supplere eller udelade en enkelt fraktion.

d. Sammensætning af forskellige sand-, grus- og stensorter.

I det følgende er forklaret, hvorledes man på basis af sigteanalyser sammensætter forskellige sorteringer for at opnå en bedre gradering.

Lad os antage, at vi har 3 tilslagsfraktioner, der ved sigtning giver nedenstående resultater (se også fig. 21):

Procent-gennemfald.

Sigte:	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	16	32	FM
Sand 1	30	60	85	100	100	100	100	100	100	0,90
Sand 2	0	0	10	30	62	100	100	100	100	3,48
Sten 3	0	0	0	0	0	0	15	54	100	6,81

Sand 1 er for fint og mangler korn mellem 1 og 4 mm sigterne, medens sand 2 er for groft og mangler korn fra sigte 0,25 mm og nedad. Vi skal da undersøge, om man – ved at blande de to sandsorter – kan få et sand med passende gradering, f. eks. som kurven 4. Mængdeforholdene kan udregnes grafisk som vist på fig. 21. Man vælger et punkt på den søgte kurve – f. eks. skæringen mellem denne og 0,5 mm sigten – og bruger sandsorterne i mængderne

$$\frac{a}{c} \text{ og } \frac{b}{c}$$

idet man anvender mest af den sandsort, hvis sigtekurve ligger nærmest ved skæringspunktet. I eksemplet fås således, at blandingssandet skal bestå af $\frac{27}{75}=36\%$ af sand 1 og $\frac{48}{75}=64\%$ af sand 2, idet idealsandet har gennemfald 37% på 5 mm og $a=85-37=48$, $b=37-10=27$ og $c=85-10=75$. Blandingssandets kornkurve findes som vist side 41.

Det ses, at blandingskurven 5 ikke helt dækker den søgte kurve, hvad der heller ikke kan forventes. Imidlertid er tilnærmelsen i dette tilfælde god, og

Procent-gennemfald.

Sigte:	0,125	0,25	0,5	1	2	4	FM
36% af sand 1	11	22	31	36	36	36	
64% af sand 2	0	0	6	19	39	64	
Sammensat til 5	11	22	37	55	76	100	2,55
Sigtekurve 4	10	20	37	57	78	100	2,53

arealerne mellem de to kurver på hver side af skæringspunktet er næsten lige store, hvorved kurvernes FM ligeledes bliver det.

Blandingsforholdet kan også udregnes direkte af sandsorternes FM. Blandes nemlig to sandsorter med henholdsvis FM_1 og FM_2 i forholdet x til $1-x$, gælder følgende formel for blandingens finhedsmodul FM_B :

$$FM_B = x FM_1 + (1-x) FM_2$$

I det nævnte eksempel fås således:

$$2,53 = x \cdot 0,90 + (1-x) \cdot 3,48$$

hvoraf $x = 0,37$ og $1-x = 0,63$,

d. v. s. at materialet skal sammensættes af 37% af sand 1 og 63% af sand 2, altså praktisk talt som ovenfor.

Ved udregning efter denne metode får blandingen samme FM som det tilstræbte sand, men man er ikke herre over skæringspunktet, og det kan ske, at den opnåede graderingskurve ikke får et gunstigt forløb.

Tilbage står nu at bestemme den kombinerede sand + stengradering. Antag at man tilstræber at få det kombinerede materiale til at svare til kurven 6 på fig. 21. Det ses, at et sådant materiale indeholder ca. 38% sand (sigte 4 mm), hvorfor materialerne sammensættes som vist nedenfor.

Procent-gennemfald.

Sigte:	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	16	32
38% af sand 5	4	8	14	21	29	38	38	38	38
62% af sten 3	0	0	0	0	0	0	9	34	62
sammensat til 7	4	8	14	21	29	38	47	72	100

Graderingskurven 7 forløber ret jævnt og må antages at være brugbar. Da sand 5 er sammensat af 36% sand 1 og 64% sand 2, bliver den endelige sammensætning 14% sand 1, 24% sand 2 og 62% sten 3.

Direkte sammensætning af 3 tilslagsmaterialer.

De tre tilslagsmaterialer, der er givet i fig. 21 ved kurverne 1, 2 og 3, altså de to sandsorter og stensorten, kan direkte sammensættes til et materiale med en kurve, der svarer nogenlunde til kurven 6. Man tilstræber at få skæring med denne kurve f.eks. ved sigte 0,5 mm og sigte 4 mm. Alt materiale finere end 0,5 mm kaldes »fint«, materialet fra 0,5 mm til 4 mm kaldes »mellemfint«, og materialet grovere end 4 mm kaldes »groft«.

Hver sigtekurve overføres nu til diagrammet fig. 23, hvor procentindholdet af fint materiale bruges som ordinat, og procentindholdet af mellemfint som abscisse. Hver kurve kommer derefter i diagrammet til at svare til ét punkt, og de tre materialer kommer således til at svare til punkterne 1, 2 og 3. Det tilstræbte materiale indeholder 15% fint og 38—15=23% mellemfint og svarer altså til punkt 6 på fig. 23. Udgangsmaterialerne kan derefter sammensættes således:

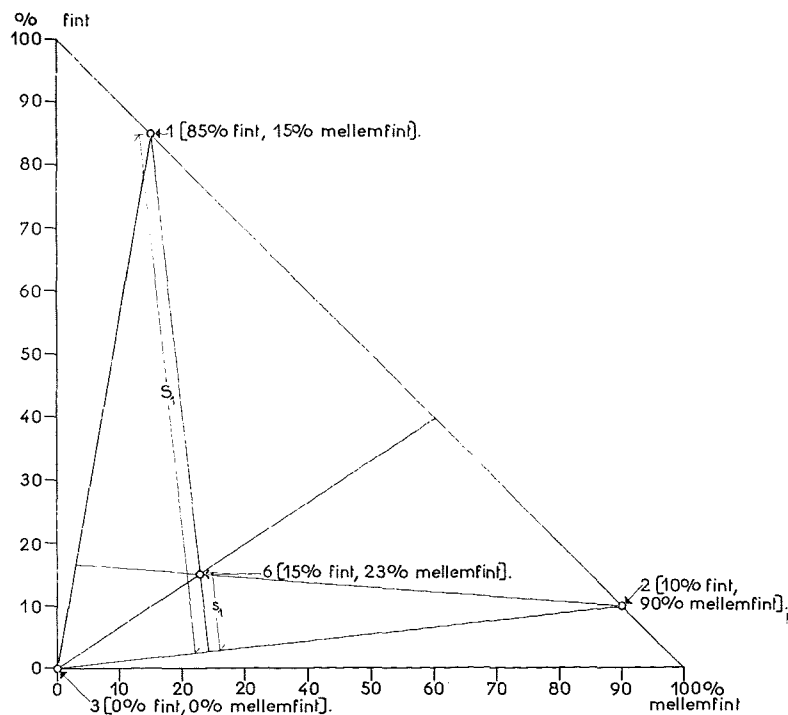


Fig. 23. Direkte sammensætning af 3 tilslagsmaterialer.

Trekanten 1, 2, 3 tegnes. Fra 1, 2 og 3 trækkes rette linier gennem 6 til skæring med de modstående sider i trekanten som vist. Sand 1 skal da anvendes i mængdeforholdet

$$\frac{s_1}{S_1} \times 100\%$$

og tilsvarende for de andre materialer. I det foreliggende tilfælde får man følgende mængder:

$$\begin{aligned} \text{Sand 1: } & \frac{10,2}{69} \times 100\% = 14,8\% \approx 15\% \\ \text{Sand 2: } & \frac{16,5}{72,3} \times 100\% = 22,8\% \approx 23\% \\ \text{Sten 3: } & \frac{37,0}{60,0} \times 100\% = 61,8\% \approx 62\% \\ & \hline & 100\% \end{aligned}$$

Det ses, at dette er omtrent som fundet side 39.

Beregningerne foretages lettest, hvis såvel udmålingen på diagrammet som de påfølgende udregninger foretages på regnestok. Det bemærkes, at metoden kun kan anvendes, hvis punktet 6 falder inden for trekanten 1, 2, 3.

Der har i tidens løb været fremsat forskellige »ideal«-graderinger for det kombinerede tilslag. Det ligger uden for denne bogs rammer at komme nærmere ind på dette spørgsmål; vi skal nøjes med at nævne, at ingen af disse »ideal«-kurver er tilfredsstillende under alle forhold, og at jævnt krummede kurver i almindelighed vil være fyldestgørende. Kurver med vandrette partier viser mangel på visse kornstørrelser (partikelspring), og kurver med meget stejle partier viser overskud af visse kornstørrelser (partikelinterferens), og begge bør i almindelighed undgås. Dersom det vandrette stykke ikke er længere end fra én sigteåbning til den dobbelt så store, kan tilslaget dog i visse tilfælde byde på fordele, som nævnt side 24.

Man kan foretage en hurtig og ret nøjagtig kontrol af graderingen uden vejning ved at nøjes med nogle væsentlige punkter af sigtekurven svarende til bestemte sigter ved at foretage en sigtning af en mindre portion tørret sand og sten, blandet i det forhold, hvori de bruges. Hvis man f.eks. ved, at det samlede tilslag skal lade 25% passere gennem 1 mm sigten og 45% gennem 4 mm sigten, fylder man de forskellige sigterester – det fine nederst – i et cylinderglas og sørger for, at skillefladerne mellem materialerne af de forskel-

lige finheder er vandret. Ved måling af lagenes tykkelse kan man få et godt skøn over forholdet mellem de forskellige fraktioner.

Måles f. eks. tykkelsen af nederste lag til 36 mm,
– – de to nederste lag til ialt 66 mm,
og – – alle lag tilsammen til 148 mm,
svarer 148 mm til 100%. Den mængde, der passerer 1 mm sigten, svarer derfor til

$$\frac{36}{148} \times 100 = 24\%$$

og den mængde, der passerer 4 mm sigten, til

$$\frac{66}{148} \times 100 = 45\%$$

Efter at materialet er sorteret, svarer disse rummål nogenlunde til vægtforhold.

Vil man ikke tørre materialerne, kan man sigte ved skylning med vand, idet det gennemfaldende samles på bunden af f. eks. et vandfad. Herfra kan de forskellige sorteringer skylles ned i et cylinderglas og måles som ovenfor. Metoden er ret hurtig og pålidelig.

Disse fremgangsmåder er også meget velegnede til at kontrollere, om der foregår væsentlige ændringer i de leverede sorteringers finhed.

e. Sorterede materialer.

Man bør sikre sig, at man får leveret sine materialer i så ensartede sorteringer som muligt på byggepladsen. Det mest almindelige ved mindre arbejder er, at man blot får leveret »grus« og »sten«.

Til større og mere betydningsfulde bygningsarbejder bør man undersøge muligheden for at få velsorterede materialer, da man derved kan fremstille en ensartet kvalitet beton, hvad der atter betyder mulighed for besparelse i cement.

f. Pris.

Prisen kan naturligvis komme til at spille en rolle ved valget af tilslagsmaterialer. Det er særlig sandet, der mange steder både er for finkornet og for enskornet, således at man bør søge at fremskaffe bedre sand eller grus, selv om dette skal leveres længere borte fra arbejdsstedet og vil blive dyrere. Man må overveje disse spørgsmål nøje og eventuelt udføre nogle praktiske forsøg med de materialer, der står til rådighed.

3. VANDET

Det er tidligere omtalt, at det vand, der bruges til betonfremstilling, bør være rent og klart. I almindelighed kan man regne med, at hvis vandet kan drikkes, kan det også anvendes til betonfremstilling; er man i tvivl om vandets brugbarhed, bør det sendes til en anerkendt prøveanstalt til undersøgelse. Man kan også selv undersøge vandets indvirkning på cementens bindetid – ved en cementprøvning som beskrevet side 29 – og endelig kan man støbe nogle betonprøvelegemer for at undersøge vandets indvirkning på betonens trykstyrke. Man skal da fremstille prøvelegemer dels med det vand, der skal undersøges, og dels med vand, der vides at være velegnet, og mindst fem prøvelegemer med hver slags vand, da man ellers ikke får et pålideligt billede af styrken. Man bør til prøvelegemerne bruge beton med omtrent samme cementindhold som i den beton, man har planlagt at fremstille, idet man ellers kan få et billede, der er falsk. Hvis man finder en styrkenedgang, må man naturligvis tage hensyn til den, og er styrkenedgangen ikke for stor, kan man kompensere for den ved at bruge mere cement. Bliver merforbruget af cement for stort, må man altså forsøge at fremskaffe bedre vand, og det bliver da et prisspørgsmål, hvad man vil foretrække.

Man skal ikke alene bruge vand til selve betonfremstillingen. Man må også regne med at skulle bruge vand til eventuel forvanding af forskalling eller i forvejen eksisterende konstruktioner, og navnlig må man regne med at skulle bruge vand til vanding af betonen efter fremstillingen. Dette er et punkt, der meget ofte forsømmes, men det er af den allerstørste vigtighed for betonens kvalitet, at den eftervandes i tilstrækkelig lang tid (se om efterbehandlings indflydelse fig. 6). Man har den fordel ved at bruge hurtighærdnende cements, at eftervandingsperioden kan afkortes, men i alle tilfælde skal man regne med at skaffe vand til dette formål, dersom man vil opnå et godt resultat af sin betonstøbning. De krav, der stilles til vandet til eftervanding, er ikke så store som til selve betonfremstillingen, men man må dog regne med, at det ikke må være vand, der er forurenset i alt for høj grad.

III DEL

BETONFREMSTILLING

1. PLANLÆGNING

Under planlægning af, hvilke betonblandinger man skal bruge, må man søge at finde de mest økonomiske og praktiske blandingsforhold for delmaterialerne – cement, tilslag og vand – d. v. s. blandingsforhold, som vil føre til en beton, der i frisk tilstand vil have den ønskede bearbejdelighed, og som i hærdnet tilstand vil være i besiddelse af de ønskede egenskaber med hensyn til styrke, tæthed, vejrfasthed o. lign.

Betonblandinger kan ikke proportioneres alene ved skrivebordsarbejde; der må fremstilles prøveblandinger, som justeres og ændres på byggepladsen, således at betonen opnår de ønskede egenskaber. Planlægning skal da gå ud på at bestemme den eller de prøveblandinger, der skal tjene som udgangspunkt.

Hvor det er muligt, bør følgende forhold undersøges forud for fastlæggelsen af den første prøveblending:

- styrkens afhængighed af v/c-forholdet,
- tilslagsmaterialernes kornvægtfylde.

Disse forhold bør naturligvis undersøges med de delmaterialer, der skal anvendes ved selve arbejdet. Er det ikke muligt at foretage disse undersøgelser, må planlægningen baseres på tidligere erfaringer og betontechnologiens empiriske love.

2. PROPORTIONERING

a. Proportionering efter vægt.

Proportionering efter vægt bør altid bruges, hvor det drejer sig om store arbejder eller arbejder, hvor der stilles større krav til betonkvaliteten.

Fremgangsmåden ved fastlæggelsen af prøveblandingerne er følgende:

- 1) *v/c-forholdet fastsættes.* Dette gøres under hensyntagen til de stillede krav om styrke og vejrfastheden og ud fra forsøgsresultater, erfaringer eller anerkendte forhold.

- 2) *Bearbejdeligheden fastsættes.* Der må her tages hensyn til, at betonen må kunne transporteres og komprimeres under netop de forhold, der vil eksistere ved det pågældende arbejde.
- 3) *Største stenstørrelse fastsættes.* Denne vil variere med arbejdets art, bygningsdelenes dimensioner og armeringens tæthed.
- 4) *Sandprocenten skønnes.* Der må her tages hensyn til den ønskede bearbejdelighed, tilslagetets kornform og største stenstørrelse.
- 5) *Vandbehovet pr. m³ beton skønnes.* Her må der tages hensyn til, at punkterne 2, 3 og 4 skal opfyldes.
- 6) *Blandingsforholdet udregnes.* Det må forventes, at der skal foretages ændringer i det beregnede blandingsforhold efter støbning af prøveblandinger, dels i laboratoriet, hvis der arbejdes i et sådant, dels under arbejdets udførelse.

Tabel 4. *)

*Maksimale vandcementforhold: (kg vand pr. kg cement)
af hensyn til holdbarheden.*

Værdierne gælder for Portland-cement; for hurtighærdnende cement kan tallene forhøjes med 0,20

	Jern- beton	Uarmeret beton
1. Beton ved vandlinien i havvand eller ferskvand udsat for frost eller beton udstøbt under vand . .	0,55	0,60
2. Beton i aggressivt grundvand eller udsat for ensidigt vandtryk, røgangreb o. l. eller beton helt under havvand	0,60	0,65
3. Beton udsat for vejrliget eller helt omgivet af strømmende ikke aggressivt vand	0,65	0,80
4. Indendørs beton i fugtige lokaler eller beton helt under terræn, men ikke udsat for aggressivt eller strømmende vand	0,70	1,00 ¹⁾
5. Indendørs beton i tørre lokaler	0,75	1,00 ¹⁾

¹⁾ For beton til kældermure, husbygningsfundamenter eller lignende kan vandcementforholdet forøges til ca. 1,3, hvis kravene til betonen er ringe.

*) Tabellen er taget fra DS. 411.

Ad. 1. *v/c-forholdet.*

v/c-forholdet vælges på basis af kravene til enten styrke eller vejrfasthed, idet man altid bør vælge det laveste af de to fundne værdier.

Sammenhængen mellem *v/c* og styrke bør – som tidligere nævnt – fastlægges ved forsøg; hvor dette ikke er muligt, kan f.eks. kurverne fig. 2 side 12 benyttes. Tabel 4 giver de største *v/c*-forhold, der må anvendes ved forskellige typer arbejde og under forskellige ydre forhold, altså af holdbarhedshensyn. Tallene er maksimumsværdier, hvorfor det af hensyn til uensartetheder i betonen tilrådes at vælge noget lavere værdier.

Ad. 2. *Bearbejdelighed og konsistens.*

Man bør altid bruge den tørreste og mindst bearbejdelige beton, der under de givne forhold kan komprimeres helt. Tabel 5 giver en oversigt over de konsistenser, der bør anvendes ved forskellige arbejder. Vedrørende bestemmelse af betonens konsistens henvises til afsnittet »Kontrol og prøvning«, side 77.

Tabel 5.
Betonens konsistens ved forskellige arbejder.

ARBEJDETS ART	Håndstampning	Vibrering	
	sætmål cm	sætmål cm	VB sek.
Armerede fundamenter...	6-15	3-6	5-3
Uarmerede fundamenter og vægge.....	6-10	0-3	10-5
Plader, bjælker og armerede vægge.....	6-15	3-6	5-3
Søjler.....	6-15	3-6	5-3
Vejbelægninger.....	3-6	0-1	20-8
Grovbeton.....	3-8	0-1	20-8

Ad. 3. *Største stenstørrelse.*

Af økonomiske grunde bør man altid bruge størst mulige stenstørrelse, dog kun undtagelsesvis mere end $\frac{2}{3}$ af mindste fri afstand mellem armeringsjernene i den pågældende konstruktionsdel. Fig. 24 illustrerer fordelene ved at anvende store stenstørrelser; figuren gælder for en gennemsnitsbeton med sætmål 8-10 cm. Man ser, at mængderne af cement og vand (cementpasta) aftager med voksende d_{max} .

Tabel 6 angiver de største stenstørrelser, der bruges ved forskellige arbejder.

Tabel 6.
Største stenstørrelse d_{max} i mm ved forskellige arbejder.

Tværsnittets mindstemål i cm	Uarmeret	Let armeret	Svært armeret
5-15	16-32	16-32	8-16
15-30	32-64	16-32	16-32
30-75	64	32-64	32
>75	64-128	64	32

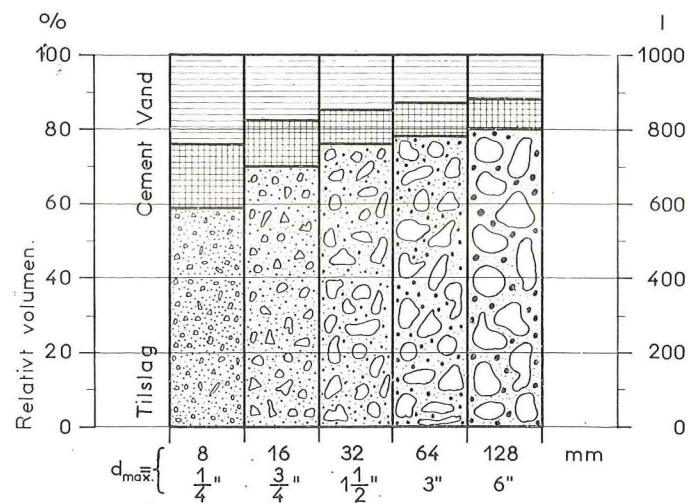


Fig. 24. Største stenstørrelses indflydelse på mængderne (luftfri beton).

Ad. 4. *Sandprocenten.*

Den bedste sandprocent er den, der giver det laveste vandbehov for den ønskede bearbejdelighed. Den vil afhænge af flere faktorer som f.eks.

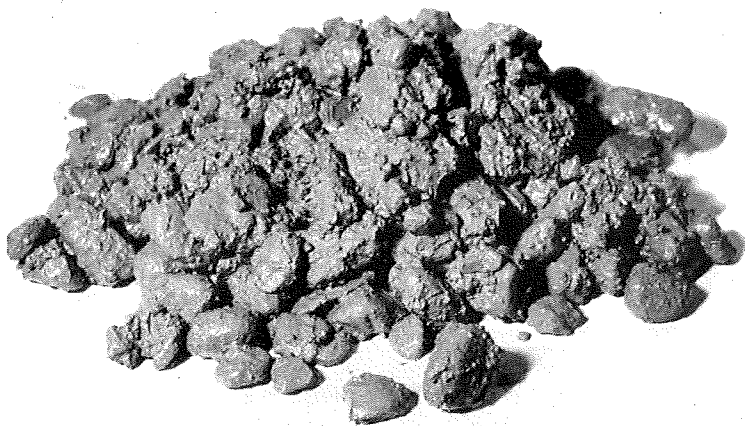


Fig. 25. Beton, som er for mørtelfattig – der er ikke mørtel nok til at fylde stenenes mellemrum.

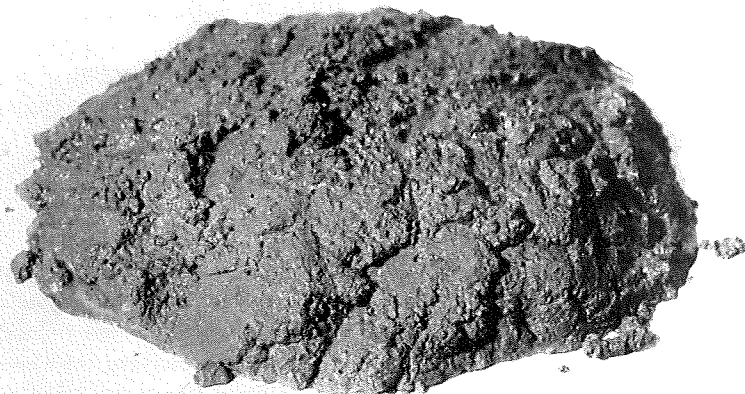


Fig. 26. For mørtelrig beton – stenene forsvinder helt i mørtelmassen.



Fig. 27. God beton med passende forhold mellem mørtel og stenmængde. Stenene er dækkede, men man ser tydeligt, at de er der.

største stenstørrelse, sandets kornkurve og kornform, blandingens cementindhold og komprimeringsmåden.

Bestemmelsen af den bedste sandprocent bør gøres på byggepladsen og kræver en del erfaring. Forforsøg vil dog kunne give værdifulde oplysninger, og kan disse ikke udføres, vil nedenstående tabel 7 kunne bruges. Fig. 25, 26 og 27 illustrerer blandinger med henholdsvis for lidt, for meget og den rigtige sandmængde.

Ad. 5. Vandbehovet.

For givne delmaterialer og et givet v/c -forhold vil vandbehovet være den vigtigste faktor, der har indflydelse på betonens kvalitet, idet det er klart, at for et givet v/c -forhold vil den blanding, der har det laveste vandbehov, også kræve mindst cement. Vandbehovet vil afhænge af tilslaget – og navnlig af sandets – gradering, kornform og overfladebeskaffenhed, af d_{max} og af den benyttede konsistens, medens det er forholdsvis uafhængigt af cementmængden.

Et givet tilslags vandbehov bestemmes bedst ved forsøg; men kan dette ikke lade sig gøre, kan tallene fra omstående tabel 7 benyttes til den første prøveblanding.

Tabel 7.

Grundlag for udgangsblandinger baseret på tilslagsmaterialer med middeldgod kornform og kornkurve. Ved håndstampning er regnet med sætmål ca. 10 cm og ved vibrering ca. 0-2 cm. Ingen luftindblanding.

Største kornstørrelse mm	8	16	32	64	128
Tilslagets sand-% (materiale under 4 mm)					
Håndstampning	65	50	35	30	25
Vibrering	60	45	30	25	20
Vandmængde i l pr. m ³					
Håndstampning	220	200	175	150	130
Vibrering	200	180	160	140	120
Luft i l pr. m ³					
Håndstampning	30	25	20	15	10
Vibrering	20	15	10	5	2

»I cm ændring i sætmålet opnås i reglen ved ca. 2% ændring i vandmængden. Indflydelsen af ændringer i vandmængden er større, jo større slumpen er. For dårlig kornform forhøjes vandmængden og sandmængden med 3-4%«.

Ad. 6. Eksempel på udregning af blandingsforholdet.

Lad os antage, at det drejer sig om en armeret mur med tykkelse 20 cm. Der kræves en terningstyrke på 300 kg/cm². Konstruktionen er udsat for vejrliget, men ikke for aggressivt vand.

Betonmaterialerne.

Cement: Der kan anvendes Portland-cement eller Rapid-cement.

Betongrus: Største kornstørrelse: 10 mm, indhold af sand, materiale under 4 mm: 85%, fugtighed: 5%, kornvægtfylde: 2,62.

Sten: Største kornstørrelse: 32 mm (i henhold til tabel 6), indhold af sand: 0%, fugtighed: 1%, kornvægtfylde: 2,65.

Både sand og sten er sømaterialer af middeldgod kornform og gradering.

Bestemmelse af v/c.

Konstruktionen hører under gruppe 3 i tabel 4, v/c må derfor højst være 0,65 for Portland-cement og 0,85 for Rapid-cement.

Bruges Portland-cement, ses af fig. 2 side 12, at en 28 døgns terningstyrke på 300 kg/cm² svarer til v/c=0,60, som kan benyttes, da det er lavere end de ovenfor anførte 0,65. Anvendes Rapid-cement, skal den krævede styrke være opnået efter 14 døgn, hvilket ifølge fig. 2 opnås med v/c=0,66, hvilket er betydeligt lavere end de 0,85 fra tabel 4. Anvendelsen af Rapid-cement giver mulighed for en besparelse i cementmængde på ca. 10%, og

da denne cement kun er ca. 8% dyrere end almindelig cement, vælges Rapid-cement, også fordi den giver fordel på andre punkter, som f.eks. muligheden for tidligere afformning. v/c fastlægges altså til 0,66.

Valg af konsistens.

Der regnes med, at betonen skal håndstampes. Af tabel 5 ses, at et sætmål på ca. 10 cm da vil være passende, hvorfor tallene fra tabel 7 direkte kan anvendes på prøveblandingen.

Sammensætning af tilslagsmaterialerne.

Af tabel 7 ses, at tilslaget – de sammenblandede grus- og stenmaterialer – skal indeholde 35% materiale under 4 mm. Da det anvendte betongrus indeholder 85% materiale af denne finhed og alle stenmaterialets korn ligger over denne grænse, skal der i 100 kg samlet tilslag indgå følgende mængder, regnet som tørt materiale:

$$\frac{35 \times 100}{85} \text{ kg} = 41 \text{ kg betongrus}$$

$$\text{og } 100 - 41 \text{ kg} = 59 \text{ kg sten.}$$

Denne blanding vil få en middeldkornvægtfylde på 2,64.

Betonrecept.

Af tabel 7 tages vand- og luftmængder pr. m³, henholdsvis 175 l og 20 l, hvorefter recepten for 1 m³ beton kan opstilles:

Materiale	Vægtfylde	Mængde pr. m ³ beton	
		kg	l
Vand V	1,0	175	175
Luft L	0	0	20
Cement C	3,12	$\frac{175}{0,66} = 265$	$\frac{265}{3,12} = 85$
V+L+C		440	280
Tilslag	2,64	2,64·720=1900	720
Grus 41%	2,62	780	
Sten 59%	2,65	1120	
Ialt		2340	1000

Opstillingen foregår, som det ses, ved at man successivt udregner vægt og absolut volumen af de forskellige materialer. Ud fra vandmængden og v/c beregnes cementmængden i kg, og ved division med kornvægtfylden

3,12 beregnes, hvad den fylder i blandingen. Ved at summere rumfangene af vand, luft og cement, bestemmes derefter tilslagsmaterialernes samlede rumfang som resten af de 1000 l, i dette tilfælde 720 l, svarende til 1900 kg, der fordeles med 41 % til gruset og 59 % til stenene.

Vægten af den hærdnede og tørre beton kan udregnes fra tørmaterialerne, idet man går ud fra, at cementen ved hydratisering og karbonatisering stiger 25 % i vægt. Man finder her en endelig vægt på ca.

$$2340 - 175 + \frac{265}{4} = 2231 \text{ kg pr. m}^3.$$

Der er hidtil regnet med tørre tilslag. Imidlertid indeholder gruset 5 % og stenene 1 % fugtighed, d. v. s. 39 kg og 11 kg. Der skal derfor regnes $780 + 39 = 819$ kg fugtigt grus og $1120 + 11 = 1131$ kg fugtige sten. Tilslaget medfører altså $39 + 11 = 50$ kg vand til blandingen, og denne vandmængde skal medregnes, således at der kun skal tilsættes $(175 - 50)$ kg = 125 kg vand til blandemaskinen.

Mængderne, der skal anvendes pr. m³ beton, bliver derfor:

	kg/m ³
cement	265
vand	125
grus	819
sten	1131
	<hr/> 2340

Arbejdsblanding.

Lad os antage, at blandemaskinen har en kapacitet på $\frac{3}{4}$ m³ blandet beton, og for at undgå at veje cementen tages denne i hele sække à 50 kg. Når 265 kg cement giver 1 m³ beton, skal vi bruge

$$\frac{3}{4} \times 265 = 199 \text{ kg cement} = \frac{199}{50} = 4 \text{ sække.}$$

Vi bruger 4 sække = 200 kg cement pr. blanding. Der afvejes derfor:

cement 4 sække = 200 kg

vand $125 \times \frac{200}{265} = 94$ kg

grus $819 \times \frac{200}{265} = 618$ kg (indeholdende 29 kg vand)

sten $1131 \times \frac{200}{265} = 854$ kg („ 8 „ „)

Prøveblandingen med disse mængder viser en slump på 14 cm, altså 4 cm for meget, så vandmængden reduceres med $4 \times 1\%$, d. v. s. $131 \times 0,04 = \text{ca. } 5$ kg. Den korrigerede vandmængde bliver herefter 89 kg.

Under forudsætning af, at den foretagne ændring fører til den ønskede konsistens, bliver materialemængderne 200 kg cement, 89 kg vand, 618 kg fugtigt grus og 854 kg fugtige sten.

Den ved reduktionen i vandmængden skete reduktion i vandcementforholdet (fra 0,66 til 0,63) og den deraf følgende stigning i styrken er for ringe til, at betonen straks gøres magrere. Da man bruger et helt antal sække cement, måtte dette gøres ved en forsigtig forøgelse af grus- og stenmængderne. Dette skal man dog kun gøre, hvis man til stadighed får styrker, der ligger væsentlig over de påregnede.

b. Proportionering efter rumfang.

Når der er tale om mindre arbejder, er det sjældent, man foretager nogen egentlig proportionering. Her spiller økonomien ikke en så afgørende rolle, men alligevel vil man tilstræbe en tilstrækkelig holdbar og stærk beton. Blandingsforholdet vælges da efter tabel 8 eller tabel 9.

Tabel 8.
Anvendelser af beton af forskellige blandingsforhold.

Blandingsforhold efter rumfang	
1:2:2	Pæle, tyndvæggede beholdere, mistbænke, tynde dæksler, bænke.
1:2:3	Jernbeton, vægge og gulve udsat for væsketryk, lette trapper, ajlebeholdere, siloer for ensilage, kølekar, vandtrug, gulve uden puds, kørebaner, småreparationer.
1:2½:3½	Jernbeton, gulve for svær færdsel, møddingsbunde, kældertrapper, siloer.
1:3:5	Stærke fundamenter, møddingsvægge, støttemure, havemure, ajlebeholdervægge med vandtæt puds, siloer, gulve for tungere færdsel.
1:4:7	Fundamenter, gulve med puds, grundmur uden vandtryk, gulve for let færdsel.
1:5:8	Svagt belastede fundamenter, udfyldning.

Tabel 8 angiver 6 forskellige standardblandinger fra den meget »fede« og cementrige blanding 1:2:2 til den meget »magre« og cementfattige blanding 1:5:8. Blandingsforholdet skal forstås således, at 1 rummål cement blandes med så mange mål grus, som det andet tal angiver, og med så mange mål sten, som det tredje tal angiver. Ud for hvert blandingsforhold er opført en række emner, til hvilke den pågældende beton må anses for velegnet, når den udføres omhyggeligt.

Skal man fremstille en beton, der tilfredsstillende visse krav med hensyn til styrken eller med hensyn til konsistens, må man yderligere støtte sig til tabel 9.

Arbejder man med hele sække cement, kan man som tidligere anført regne med, at 1 sæk Portland-cement à 50 kg fylder 37 l
 1 - Rapid-cement à 50 kg - 41 l
 1 - Super-Rapid-cement à 50 kg - 45 l
 og ud herfra kan størrelsen af de tilsvarende målekar for grus og sten beregnes.

Tabel 9.

Materialeforbrug til ca. 1 m³ beton og forventet trykstyrke $\sigma_{T,20}^*$)

Blandingsforhold efter rumfang	Cement, hvis der bruges						Grus	**) Sten	Trykstyrke	
	Portland-cement		Rapid-cement		Super-Rapid-cement				Sætmål ca. 10 cm Håndst.	Sætmål ca. 1 cm Vibrering
	kg	Sække	kg	Sække	kg	Sække			Liter	Liter
1:2:2	415	8,3	375	7,5	340	6,8	620	620	400	450
1:2:3	340	6,8	310	6,2	280	5,6	500	750	320	375
1:2½:3½	290	5,8	265	5,3	240	4,8	540	750	250	300
1:3:5	225	4,5	200	4,0	180	3,6	500	830	180	240
1:4:7	165	3,3	150	3,0	140	2,8	500	860	100	150
1:5:8	140	2,8	130	2,6	115	2,3	530	840	75	110

*) For Portland-cement 28 døgns styrke, 14 døgns styrke for Rapid-cement, 7 døgns styrke for Super-rapid-cement. **) Til den fedeste blanding er største stenstørrelse normalt 16 mm, til de to magreste 64 mm; til de øvrige 32 mm.

Af tabel 9 kan man aflæse de mængder, der skal bruges til ca. 1 m³ beton, og desuden de styrker, man kan regne med at opnå. Endvidere er der anført de vægtmængder cement, det tilsvarende antal sække cement og den samlede grus- og stenmængde, som rumfangsblandingsforholdet ved tabellens opstilling er regnet at svare til. Sluttelig er de styrker angivet, som

svarer til rumfangsblandingsforholdet, når betonen har et sætmål på ca. 10 cm henholdsvis 1 cm.

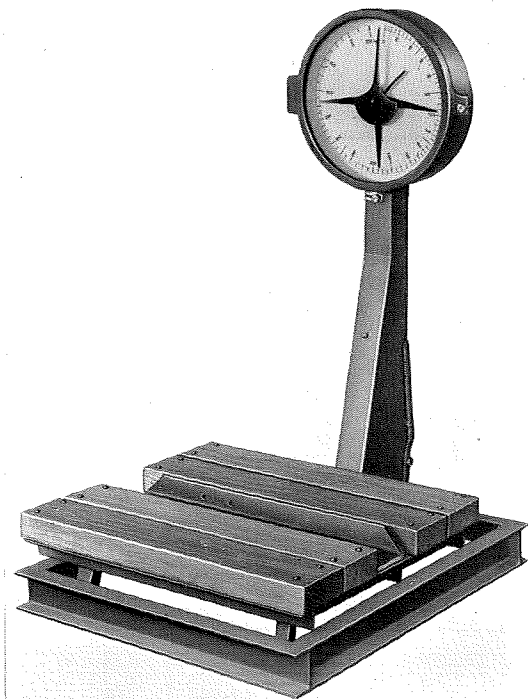
Tabel 10.

Materiemængder og udbytte i liter pr. sæk cement.

Blandingsforhold efter rumfang	Grus	Sten	Største mængde vand, når gruset er			Omtrentligt betonudbytte
			ret tørt	norm. fugtigt	ret vådt	
Portland-cement						
1:2:2	74	74	21	19	16	118
1:2:3	74	111	26	23	21	146
1:2½:3½	93	130	29	27	25	170
1:3:5	111	185	36	34	30	222
1:4:7	148	259	50	47	42	298
1:5:8	185	296	56	51	47	354
Rapid-cement						
1:2:2	82	82	24	21	19	130
1:2:3	82	123	28	26	24	165
1:2½:3½	102	143	38	31	27	190
1:3:5	123	205	41	38	34	245
1:4:7	164	287	58	53	48	335
1:5:8	205	328	64	58	52	390
Super-Rapid-cement						
1:2:2	90	90	26	24	21	140
1:2:3	90	135	29	27	25	180
1:2½:3½	113	158	35	32	28	205
1:3:5	135	225	45	40	35	270
1:4:7	180	315	60	55	50	370
1:5:8	225	360	66	60	55	425

I tabel 10 er angivet mængder pr. sæk cement. Man ser, hvorledes specialcementerne giver større betonudbytte for samme blandingsforhold efter rumfang.

Fig. 28. En specialvægt, der anbringes således, at boren med materialer kan køres direkte ind på den for vejning.



3. UDMÅLING AF MATERIALERNE

a. Efter vægt.

Er blandingsforholdet opgivet efter vægt, vil det i reglen være anført på den måde, at en sæk cement af en bestemt slags blandes med så og så mange kilo af de forskellige sorteringer, hvori materialet leveres, samt at den samlede vandmængde inklusive vandet i gruset ikke må overskride en bestemt størrelse.

Opgivelse af blandingsforholdet efter vægt er baseret på tørt materiale. For at bestemme, hvilke vægtmængder man skal afveje for at få netop de mængder, der er angivet, er det derfor nødvendigt at bestemme fugtighedsindholdet i de forskellige sorteringer. I stenene kan man normalt regne med

1%, medens indholdet i gruset ofte ligger omkring 4%. Selve bestemmelsen af grusets fugtighedsindhold er beskrevet side 35.

Når grusets vandindhold er bestemt nogle gange, vil man rimeligvis få så megen øvelse i at bedømme det, at man kan skønne vandindholdet med

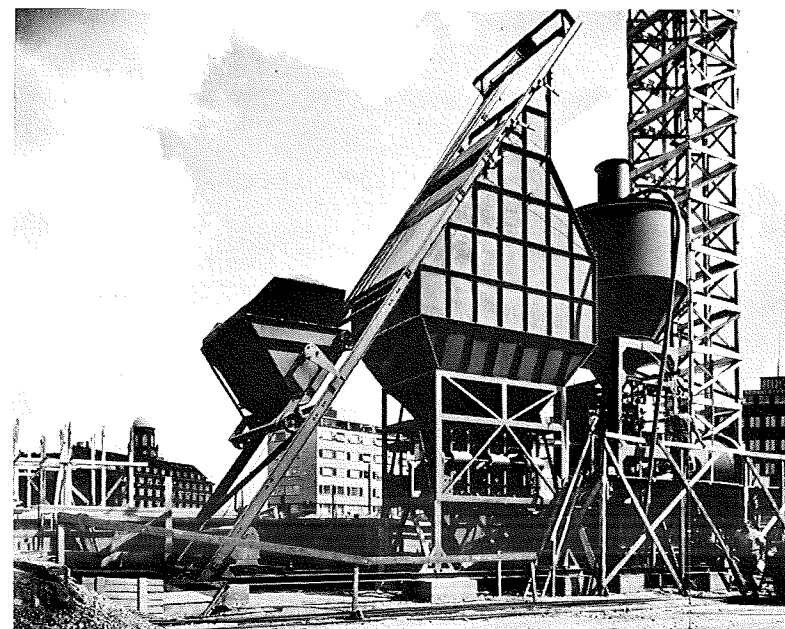


Fig. 29. Et Sawo-anlæg med siloer til opbevaring af de forskellige sorteringer af tilslagsmaterialer. Under siloerne findes automatiske udvejningsanlæg.

nogenlunde sikkerhed og derigennem bedømme, hvilke ændringer i grusmængden man skal foretage. Jævnlig kontrol må dog anbefales.

Afvejningen af de forskellige fraktioner kan foregå enten i automatiske vejeanordninger eller i særlige trillebøre, der selv er forsynede med vejeanordninger. Afvejningen kan også foregå derved, at materialerne køres hen over en decimalvægt, der er indstillet således, at den aflæste vægt svarer direkte til børenes indhold. Se figurerne 28 og 29.

b. Efter rumfang.

Hvis en beton skal fremstilles i et bestemt rumfangsblandingsforhold, f. eks. 1:2:3, sker det, at der udmåles med skovle, således at man i sin blanding bruger 1 skovlfuld cement, 2 skovle grus og 3 skovle sten. Det er imidlertid klart, at dette ikke giver 1 rummål cement til 2 rummål grus til 3 rummål sten, både fordi disse materialer ikke giver det samme rumfang på skovlen, og fordi de ikke fylder det samme hver gang. Udmålingen bør der-



Fig. 30. Trillebør til afmåling af materialer. Den er forsynet med lister, som angiver hvortil børen skal fyldes.

for ske i kasser, rammer (»kasser« uden bund) eller spande, eventuelt i trillebøre.

Ved små arbejder er skovlen imidlertid et meget brugt værktøj, fordi den i alle tilfælde skal bruges til at skovle materialerne med, hvad enten man udmåler efter rumfang eller efter vægt. Imidlertid må man aldrig bruge udmåling med skovl for cementen og kun ved ubetydelige arbejder for de andre materialer. Man bør da, før arbejdet udføres, undersøge, hvor mange skovle, altid fyldt på samme måde, der skal til af hver slags materiale for at give det rigtige rumfang.

Det er uheldigt at bruge brøkdele af en sæk cement, fordi delingen altid er unøjagtig. For at udnytte blandemaskinerne så godt som muligt kan man kun sjældent bruge et helt antal sække til hver blanding og fristes derfor til at dele.

Er således f. eks. 100 l cement passende for fuld udnyttelse af blandemaskinen, skal man bruge noget mere end 3 sække Portland-cement, der giver 3×31 l. De manglende 7 l cement bør afmåles i et særligt målekar.

Grus og sten måles som omtalt i kasser eller i rammer, der står på et rent underlag og fyldes på ensartet måde. Man kan også måle i spande eller i trillebøre med påsatte lister, der angiver, hvortil de skal fyldes. Kasser og spande er mere nøjagtige end trillebøre, fordi en bør har en meget stor flade foroven og derfor vanskeligt fyldes nøjagtigt. For alle måleredskaber gælder det, at deres mål skal svare til det, man finder efter skemaet eller har regnet sig til.

Skal man f. eks. med 2 sække Portland-cement fremstille beton 1:2:3, skal man regne med, at cementen fylder 2×31 l = 62 l, og blande cementen med 2×62 l = 124 l grus – regnet med almindelig fugtighed – og med 3×62 l = 186 l sten.

c. Udmåling af vandet.

Vandtilsætningen til betonen foretages ofte meget skødesløst i forhold til den betydning det har, at vandmængden er rigtig.

Afmålingen af vandmængden kan ske i en målebeholder, der helst må være således indrettet, at den automatisk leverer en forud indstillet vandmængde, hver gang der åbnes til blandebeholderen.

Skal der, for at betonens konsistens kan holdes, bruges mere vand end det foreskrevne, må man huske, at man derigennem nedsætter betonens styrke, da kitmassen derved fortyndes. Dette må imødegås, som nævnt nedenfor.

Opmærksomheden henledes på, at variationer i konsistensen nøje bør følges, idet disse er tegn på variationer i grusets finhed eller dets fugtighedsindhold.

Ved kontrollen med vandcementtallet v/c er der en tilbøjelighed til at negligere det vand, der er i gruset og stenene, hvilket er utilladeligt, da denne vandmængde ofte kan være op mod en tredjedel af totalmængden.

Man kan nemt komme ud for, at betonen bliver så stiv, hvis den ikke får noget ekstra vand, at man ikke kan komprimere den ordentligt, og dette er naturligvis meget uheldigt, særlig hvis man skal støbe vandtæt beton til beholdere eller lignende. Som tidligere nævnt tyder dette på, at gruset er

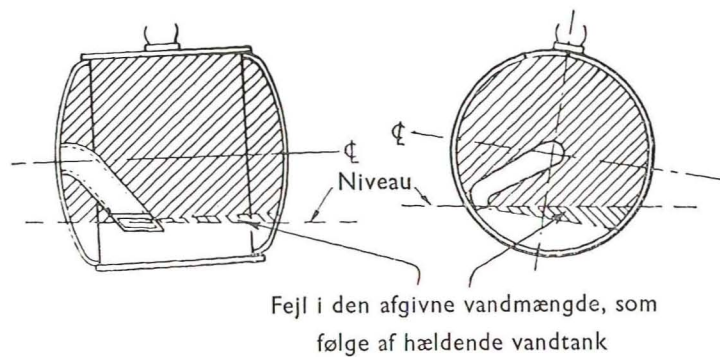
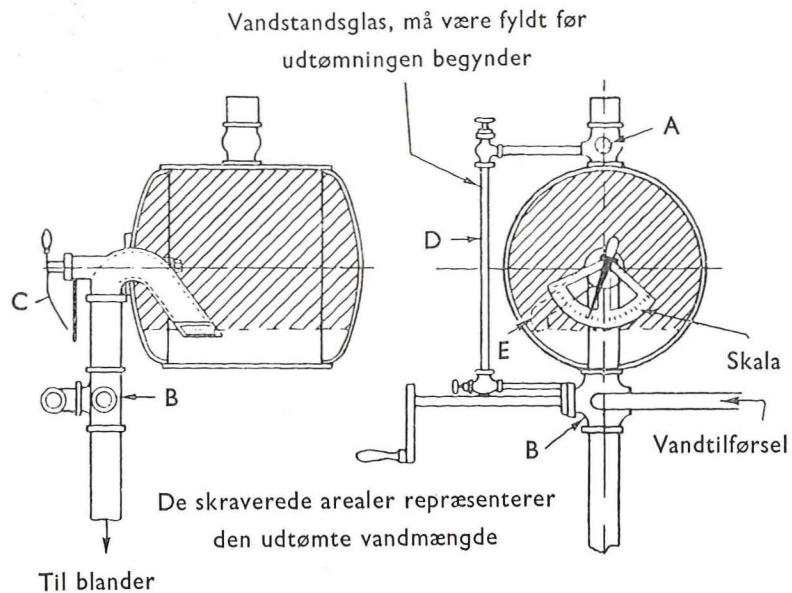


Fig. 31. Vandmålebeholder til blandemaskine. Man må påse, at vandstandsglasset er fyldt, og at vandtanken ikke står skævt.

blevet for finkornet. Man bør, for ikke at svække betonen, tilsætte en liter ekstra cement for hver liter vand, der sættes til ud over det opgivne, men vedbliver betonen at kræve ekstra vand, må man omproportionere.



Fig. 32. Gennemstrømningsmåler.

4. BLANDING

a. Maskinblanding.

Ved maskinblanding må man sørge for, at blandingen sker tilstrækkelig grundigt. De fleste maskiners effektivitet er afhængig af omdrejningstallet, og det er derfor vigtigt, at man sørger for, at maskinen løber det rigtige antal omdrejninger pr. minut. Den vil i regelen blande dårligere og kræve længere blandetid, både når den løber for hurtigt, og når den løber for langsomt. En passende blandetid vil i reglen være ca. $1\frac{1}{2}$ minut (se fig. 4, side 14), idet dog en stivere beton i nogle maskiner kan kræve en blandetid på omkring 2 min. Man bør altid overbevise sig om, at betonen er tilstrækkelig gennemblandet, altså tilstrækkelig ensartet i farve og konsistens, og man må ikke sætte ekstra vand til for at få betonen mere lind, medmindre man,

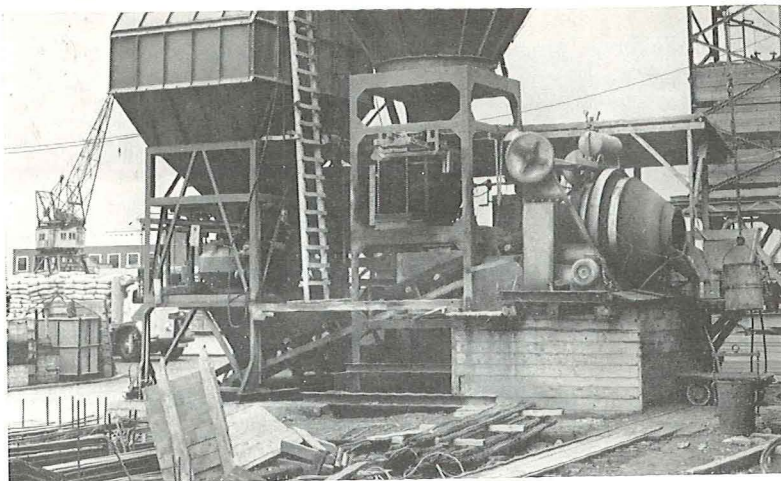


Fig. 33. Eksempel på fritfaldsblander. Til højre ses materialespanden, der tipper materialerne ind i blandemaskinen. Tømmingen sker, når maskinens omløbsretning ændres, idet betonen løber ud til den anden side, uden at maskinen tipper.

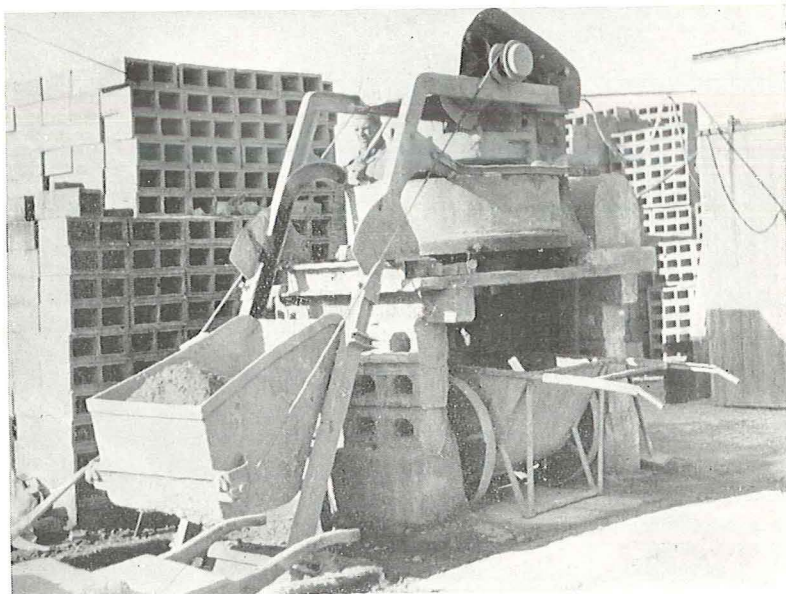


Fig. 34. Tvangsblander, i hvilken blandekarret roterer, samtidig med at en ekscentrisk anbragt »blandestjerne« med skraberne roterer den modsatte vej. Langs karrets sider arbejder desuden en sideskraber og en bundskraber. I midten er udtømningsåbningen. Der findes også blendere, i hvilke blandestjernen løftes og karret tømmes ved tipping.

efter at betonen har været blandet ca. 1 min., ikke mener, at den kan få passende konsistens. Betonen vil ofte se for tør ud, indtil denne tid er forløbet. Der skal blandes mindst 1 minut efter, at det sidste materiale – f.eks. ekstra cement – er sat til.

Man bør sørge for, at materialetilførslen ikke kræver unødvendigt arbejde, navnlig at materialerne ikke skal løftes unødigt. De større maskiner, der har påfyldningselevator, bør anbringes således, at materialerne kan styrtes i elevatorspanden. Skal materialerne fyldes i maskinen fra målekar, bør afmålingen finde sted i højde med indfyldningstragten.

Fyldes materialerne i elevatorspand, lægges stenene i bunden, så cementen og derover gruset. Der sættes vand til blandemaskinen således, at noget af det er løbet i denne, før de tørre materialer begynder at løbe ind.

Skal materialerne hældes direkte i maskinen, vil en forudgående tørblanding af cement og grus være heldig, men kan den ikke gennemføres, sættes først lidt af vandet til blanderen, derefter gruset, cementen og stenene.

Foruden de i fig. 33 og 34 viste blandertyper findes også kontinuerligt blandende maskiner, til hvilke materialerne føres fra siloer på maskinen, og som afleverer betonen kontinuerligt.

b. Håndblanding.

Håndblanding skal foregå enten på et rent betonunderlag eller på en blandeflage af træ, der er ca. 2 m bred og helst dobbelt så lang og med brædderne på den korte led. Man lægger gruset ud i en ca. 15 cm høj, aflang bunke, og oven på dette lægger man cementen. Cement og grus blandes nu tørt, derved at bunken skovles igennem og flyttes overlang. Blandingen bliver bedst, hvis der skovles fra begge sider på en gang, og man tager skovlfuldene nederst i bunken og vender skovlen og fordeler indholdet i hele bunkens bredde, efterhånden som den flyttes. Hvis man kaster materialerne, sker det let, at de grove materialer triller fra.

Grus og cement bør skovles igennem 3 gange frem og 3 gange tilbage, og skovlingen bør foretages langs brædderne og flytningen af bunken på tværs. Man breder nu bunken ud og giver den en fordybning i midten, og i denne hældes den afmålte vandmængde, hvorefter man atter blander bunken, til den er ensartet i farve og konsistens; derpå fordeles stenene ud over bunken, og man blander mindst 2 gange frem og tilbage, eventuelt mere, indtil betonen er ensartet. Det er altid heldigt at vande stenene, inden de blandes i, fordi den tørre overflade eller tørre, porøse sten kan virke uheldigt i betonen.

Der er mange, der er tilbøjelige til at mene, at man kan slippe igennem med færre gennemblandinger. Imidlertid er blandingen en meget vigtig del

af betonfremstillingen, og man bør aldrig nedsætte antallet af gennemblandingerne uden at have overbevist sig om, at gennemblandingen er tilstrækkelig god, ved at foretage en gennemskæring af bunken med skovlen og se på betonen. Det er ligeledes meget vigtigt for betonens konsistens, at gennemblandingen sker omhyggeligt, særlig hvis man kun har bestemt sig til at gå ud fra blandingsforholdet og konsistensen uden virkelig kontrol med vandmængden. En beton, der tilsyneladende er alt for stiv, og som man derfor kunne fristes til at sætte mere vand til for at få den mere levende, vil i mange tilfælde blive af god konsistens, dersom man gennemarbejder den videre uden at tilsætte mere vand. Det er klart, at man herved opnår en bedre og stærkere beton.

c. Færdigblandet beton.

I mange tilfælde vil det være fordelagtigt at bruge færdigblandet beton. Denne skal benyttes snarest muligt, efter at den er afleveret på byggepladsen, og man må sørge for ikke at få større portioner, end man kan anbringe i løbet af en times tid. Den færdigblandede beton må aflæsses enten direkte i formen eller på en ren betonflade eller en bakke af træ. Man må sikre sig, at betonen ikke afblander, og det er derfor heldigere at anbringe den på en bakke med kanter end på et underlag uden sidebegrænsning. Der må absolut ikke tilsættes ekstra vand – er betonen tilsyneladende for stiv, vil den ved gennemblending i reglen blive god.

5. TRANSPORT AF BETONEN PÅ BYGGEPLADSEN

Når betonen transporteres på byggepladsen, er der fare for, at den afblander, således at stenene skilles fra mørtelen i større eller mindre grad. Faren

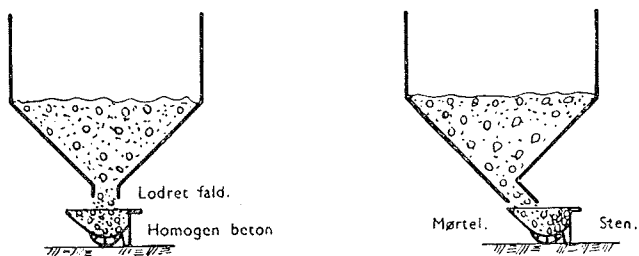


Fig. 35. Hvis arbejdet er så stort, at betonen anbringes i silo og fra denne tømmes ud i bore, bør udtømningen ske gennem et vidt, lodret rør under siloens midte, som vist til venstre. Er røret skråt, som vist til højre, vil materialerne have nogen fart på mod højre og stenene derfor hovedsagelig løbe til højre og mørtelen blive hovedsagelig i venstre side.

er størst for våd eller meget tør beton, og den er størst i transportmidler, hvor betonen har lejlighed til at brede sig ud. Betonen udstøbes derfor bedst fra blandemaskinen direkte i transportbøse, og fra disse skal den så igen enten udstøbes direkte eller aflæsses på en bakke med opstående kanter, i hvilken betonen ikke breder sig for meget ud, og hvorfra udstøbningen foregår. Som allerede nævnt bør blandingen også foregå så tæt ved udstøbningsstedet som muligt. Fig. 35 og 36 illustrerer nogle forhold, der bør tages i betragtning ved betonens udtømmning.

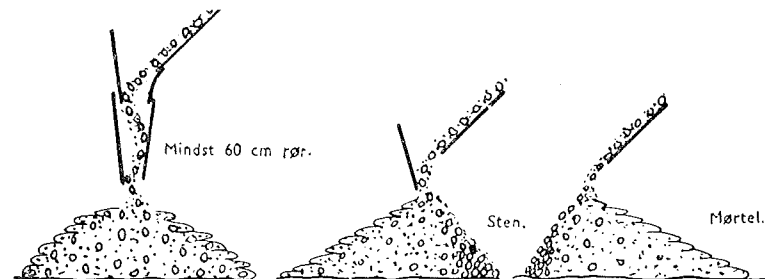


Fig. 36. Er betonen ret lind og skubbes ned langs en rende, må man ikke lade den falde frit, men gennem et tilstrækkelig langt rør, helst ikke under 60 cm. Til højre ser man, hvordan skråt nedhældt beton bliver for stenrig i den ene og for mørtelrig i den anden side. Røret tvinger materialerne sammen og giver en ensartet beton.

6. ANBRINGELSE I FORMENE

Anbringelsen af den nyfremstillede beton i formene kræver også omhu, idet der netop ved udlægningen kan ske en alvorlig afblanding, som det kan være vanskeligt at bøde på ved den senere bearbejdning. Dersom en del sten har skilt sig ud fra resten af betonen og har samlet sig i en bunke ved formens side, vil det være vanskeligt at arbejde mørtelen ned i stenenes mellemrum, og derved opstår de velkendte stenreder. Samtidig er andre dele af betonen blevet for mørtelrige, og konstruktionen er derfor ikke ensartet. Såfremt det ved udstøbningen konstateres, at der opstår stenreder, må stenene graves op og spredes over mørtelrige steder og aldrig omvendt, hvorved stenene blot skjules af mørtel.

Betonen udlægges i 10–30 cm tykke, vandrette lag efter arbejdets størrelse og spredes ud over en passende del af formen. Hvis betonen skal anbringes langt nede i forhold til den bakke, fra hvilken den skal udstøbes, må man ikke lade den falde ned, hvis afstanden er større end $\frac{3}{4}$ m, men

man bør da indrette en skrå, bred rende, som man kan skubbe betonen nedad, og den må være så flad, at betonen ikke glider af sig selv, da den så vil afblandes ved, at stenene triller i forvejen. Hvis renden er rigtigt anbragt, og navnlig hvis den har en udvidelse foroven, kan man tippe betonen ned på den direkte fra trillebøren. Se fig. 37.

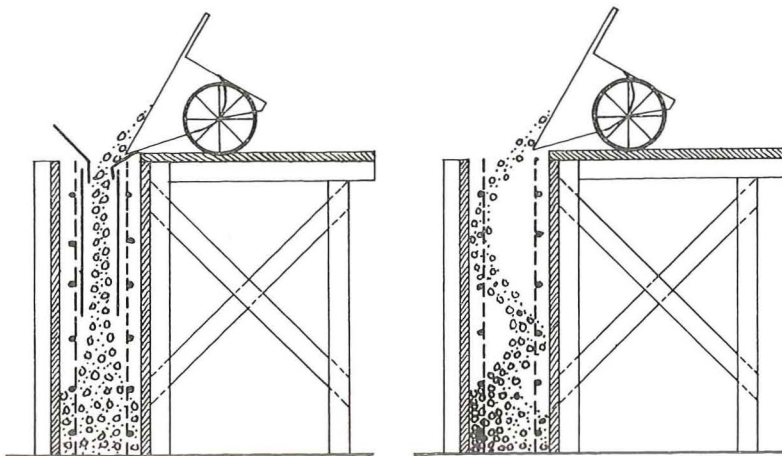


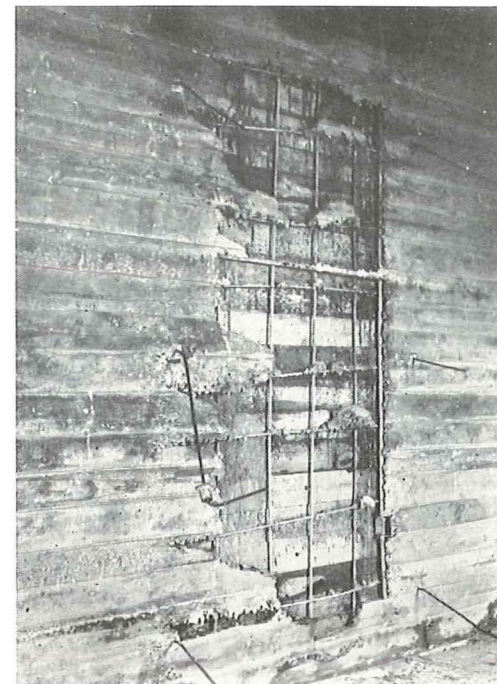
Fig. 37. Ved udstøbning i en høj form gælder det samme, som er sagt ved de foregående billeder. Her bliver yderligere armeringen tilstænket med mørtel, der tørrer eller binder af, medmindre der udstøbes gennem rør, som vist til venstre.

Hvis formen dannes af hulsten – altså når det drejer sig om såkaldte hulstensdæk – må der udvises særlig omhu ved udstøbningen. Dækket må vandes godt, da mange hulsten ellers vil suge vandet fra betonen og gøre udstøbningen vanskelig. Der må bruges en forholdsvis lind beton med ikke for stor største kornstørrelse. Man må sørge for, at betonen arbejdes godt ned i ribberne, og at jernene omstøbes omhyggeligt. Det er vigtigt, at jernene ikke tvinges højere op, end at de netop har den nødvendige dækning på undersiden, da dækket ellers får for ringe bæreevne.

7. KOMPRIMERING

Efterhånden som betonen anbringes, må man bearbejde den, således at formen bliver helt udfyldt, og således at armeringen bliver omstøbt uden

Fig. 38. Fejl i en betonvæg opstået ved for stor støbehøjde og utilstrækkelig komprimering af betonen.



at blive forrykket. Det kan ikke nytte at vente med bearbejdningen, til der er støbt så megen beton, at den nederste del af den kommer under så stort tryk, at man dårligt kan arbejde i den. Sker bearbejdningen derimod efterhånden, kan man også lettere følge, om udfyldningen er tilfredsstillende.

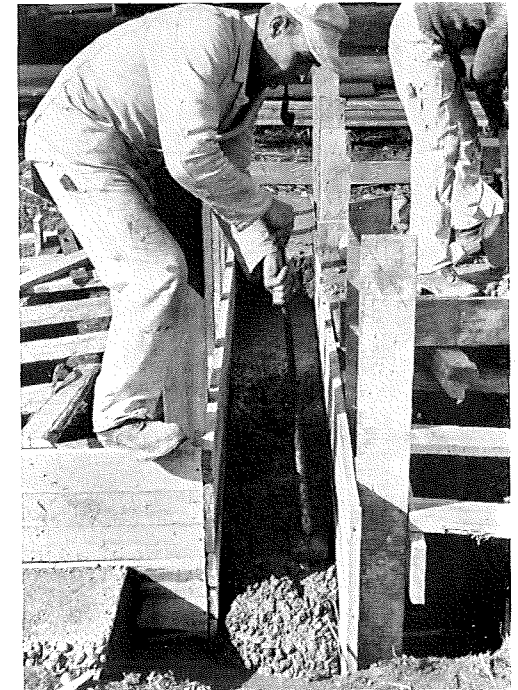
Håndbearbejdningen sker bedst med stampere af jern. Man kan også bruge stampere af træ; for mere tyktflydende beton må træstamperen være en træbom forsynet med et vandret håndtag, medens mere flydende beton kan bearbejdes med en trælægte. Naturligvis kan man også til en vis grad bearbejde betonen med skovl eller lignende. Man bør først arbejde langs formens sider, og til dette kan man anvende en spade, der kan glide ned mellem armeringen og formen. Også en bankning på formen vil være gavnlige, og det bør navnlig gøres, hvis der er tale om at støbe højere partier som vægge, søjler eller lignende. Det er vigtigt, at man under bearbejdningen husker at fjerne afstandsklodser af træ, inden de dækkes af betonen.



Fig. 39. Stenrederi en dårligt udført betonkonstruktion.

Bearbejdningen kan også ske ved vibrering, hvorved man opnår en meget kompakt beton, forudsat at vibreringen gennemføres rigtigt. Den beton, der vibreres, vil enten være jordfugtig eller stiv plastisk; kun i snævre forme eller meget tynde konstruktioner bliver der tale om at vibrere plastisk beton. Behandlingen må i alle tilfælde foregå på en sådan måde, at betonen ved vibreringen synker sammen uden at flyde ret meget til siden, idet betonen ikke må flyttes væsentlig i vandret retning under vibreringen. Man må altid nøje følge de forskrifter, der gives for brugen af de forskellige vibratorer, men den type, man hyppigst vil komme ud for, er den såkaldte neddykningsvibrator eller stavvibrator. Denne består af en ca. 8 cm tyk vibratorstav, som stikkes næsten lodret ned i betonen og sætter denne i svingninger. Ved vibreringen nedsættes den indre friktion i betonen omkring vibratoren, således at betonen flyder sammen, medens de større luftblærer, der findes i den, går til vejrs. Vibratoren skal holdes nede i betonen, indtil denne er fuldt komprimeret det pågældende sted. Dette er opnået, når der ikke mere stiger luftbobler op, når overfladen bliver blank, når der kommer mørtel

Fig. 40. Bearbejdning af betonen ved håndstampning. Foran til venstre ses et støbeskel, begrænset af en lodret flade.



frem ved formsiderne, og når vibratorlyden nærmer sig en konstant tone. Som regel varer dette ca. 10–30 sekunder.

Man kan herved se, om betonsammensætningen er god. Lægger der sig mere end cirka 1 mm mørtel på toppen, er betonen for mørtelrig, medens den er for mørtelfattig, hvis et overskud af sten »danser« på overfladen af den komprimerede beton.

Vibratoren skal stikkes hurtigt ned, men trækkes så langsomt op, at betonen lukker sig efter den og der kun efterlades et ringe spor i form af en lille fordybning, som straks vil forsvinde, når man arbejder i betonen et stykke derfra. De fleste stavvibratorer har et virkefelt svarende til et område med en radius på 30–40 cm, og vibreringen kan derfor foretages med en afstand mellem nedstikningerne på 50–60 cm. Det er vigtigt, at man går systematisk frem, så al betonen bliver komprimeret uden overvibrering.

Efter at bearbejdningen af betonen er tilendebragt, kan det hende, at der

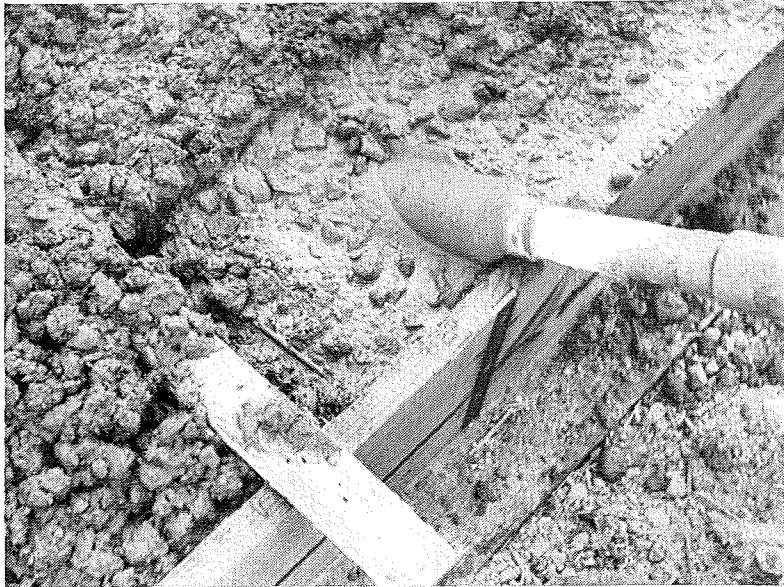


Fig. 41. Bearbejdning af beton ved hjælp af vibrator. Man ser, at den stive beton under vibratorens påvirkning bliver »levende« og flyder sammen, således at mørtelen omslutter stenene og det meste luft uddrives. Det drejer sig her om et dæk, hvorfor vibratoren er stukket skråt i betonen og ikke som normalt lodret.

på grund af de sætninger, der sker i betonen, allerede i de første par timer opstår revner i denne. Dette sker særlig i etageplader langs bjælker, navnlig hvis man har støbt op til pladens overkant uden stop i stedet for til underkant af pladen, hvad der er mere rigtigt. Sådanne revner skal senest 3-4 timer efter udstøbningen lukkes ved, at betonen bearbejdes meget grundigt. Når lukningen sker inden for denne tid og betonen stadig lader sig bearbejde, har det vist sig, at den ikke tager skade.

Kan man ikke nå at lukke revnerne i tide, bør de først næste dag hugges op og fyldes med en ret lind cementmørtel.

8. AFRETNING

Når støbningen har nået sin endelige højde, må betonen afrettes, inden den begynder at binde af. Betonen må være gennemarbejdet helt til toppen, og afretningen kan så foregå på forskellig måde, efter som det drejer sig om oversiden af en mur eller af et dæk.

For mures vedkommende vil afretningen i reglen foregå efter forsisdens overkant. Man foretager først en grov afretning med en lægtestump, og hvis der under den sidste bearbejdning er kommet meget slam op, bør dette fjernes og afretningen derefter ske med et rivebræt af træ.

Drejer det sig om en etageplade, kan man på forskellig måde sørge for, at pladetykkelsen bliver som forlangt. Skal der senere udlægges slidlag eller særlig jævnt underlag for gulvbelægningen, kan man nøjes med at kontrollere højden med en højdepind bestående af et rundjern med et bryst af træ, der er således gjort fast, at træet netop skal røre betonoverfladen, når jernet stikkes til bunds. Man kan også klare sig med et stikmål bestående af et vinkelbøjet rundjern. I alle tilfælde må man sørge for, at tykkelsen bliver passende over det hele, hvorefter overfladen glattes med skovl og fejes ren for slam, når den har opnået en passende tørhed. Skal overfladen i sig selv rettes af og ikke forsynes med slidlag, må man opstille ledere af træ i nøjagtig højde og med ca. 3 meters afstand, hvorefter afretningen foregår med retholt. Betonen glattes af ved fremadgående og tværgående bevægelser med retholtet, der efterhånden skubber den overflødige beton af. Også denne overflade må kostes fri for slam, når den er passende tør.

9. STØBESKEL

Det er altid godt at støbe en konstruktionsdel ud i ét, men det er langtfra altid muligt. Man er derfor af og til nødt til at afbryde støbningen, hvorved der fremkommer de såkaldte støbeskel. Et støbeskel i vægge bør så vidt muligt være vandret og lægges ved etageadskillelsen; er det nødvendigt at begrænse støbningen i lodret retning, gør man dette ved at støbe mod en midlertidig begrænsning indsat i formen. En fri, skrå flade vil altid give et svagt parti.

Den lodrette begrænsning kan være plan, hvis den er lav, eller den kan være aftrappet eller fortandet – det sidste bruges særlig i bjælker. Det er heldigt, hvis de vigtigste typer på støbeskel er angivet på tegningerne.

Den midlertidige begrænsning, man har fremstillet, må naturligvis fjernes, inden støbningen fortsættes, og dette kan først gøres, når betonen er tilstrækkelig stærk, normalt næste dag. Udragende jern må renses for afbundet beton.

At udføre støbeskellene ordentligt er meget vigtigt, idet disse ellers let danner udgangspunkter for ødelæggelser. Det mest hensigtsmæssige er, at den gamle beton dækkes med et stærkt bindelag, idet man f.eks. indkoster lodrette overflader, umiddelbart før der skal støbes, med et tyndt lag af en

tyk, flødeagtig vælling af ren cement og vand. På de vandrette overflader indkoster man et ca. 1 cm tykt lag af en cementmørtel i blandingsforholdet 1 : 2. Fladerne må være rene og fugtige, men uden blankt vand.

Det er vigtigt, at disse lag kostes omhyggeligt ind i betonen, for kun derved bliver forbindelsen god – eventuelt overset løst materiale vil blive arbejdet ind i mørtelen og ikke gøre skade. Hverken cementlaget på de lodrette sider eller mørtellaget på de vandrette må være tørret, endsiges bundet af, inden støbningen fortsættes. Støbeskellene kan være vanskelige at udføre ordentligt, hvis de ligger et stykke nede i formene. Hvis det er muligt, er det derfor godt først at opsætte den ene side af formen, umiddelbart efter at støbeskellet er forberedt. Ligger det langt nede, må man gøre sig så meget mere umage med at foretage indkostningen omhyggeligt, især hvis det drejer sig om støbning af beholdere o.l., hvor betonen skal være vandtæt.

Foruden de her nævnte egentlige støbeskel, som udføres ved afslutningen på en dags arbejde, fremkommer midlertidige støbeskel, hvor støbningen standses i arbejds pauserne. Støbningen skal her fortsættes senest efter 1 time, og betonen ved det midlertidige støbeskel – både den gamle og den nye – skal arbejdes så godt sammen, at skellet forsvinder. Ved denne grundige gennearbejdning tager den gamle beton ingen skade.

10. EFTERBEHANDLING

a. Beskyttelse mod udtørring og revnedannelse.

Som allerede tidligere nævnt er det en betingelse for, at cementen skal binde af og hærde og stadig vokse i styrke, at den har tilstrækkelig fugtighed. Det må fremhæves, at dette, at betonen holdes fugtig, er lige så vigtigt for styrken, som at betonen er rigtigt sammensat. Der henvises til fig. 6 side 16.

Beton fremstillet med Portland-cement skal i alle tilfælde holdes våd 1 uge, med Rapid-cement i 4–5 døgn og med Super-Rapid-cement i 2–3 døgn.

Det forhold, at en beton, der tørrer ud, har tendens til at få svindrevner, skyldes for det første, at den tørrende beton trækker sig sammen, men også, at den bliver svagere i overfladen ved udtørringen og stærk i det indre, som tørrer langsommere ud. Det er derfor af den største vigtighed, at betonen holdes tilstrækkelig fugtig, idet for tidlig udtørring er dens værste fjende, men desværre noget, som beton for ofte udsættes for. Udtørring kan ske ved solen, ved vinden eller udelukkende ved varme. Det skal anføres, at en kraftig fordampning og dermed følgende udtørring også kan finde sted i stærk kulde.

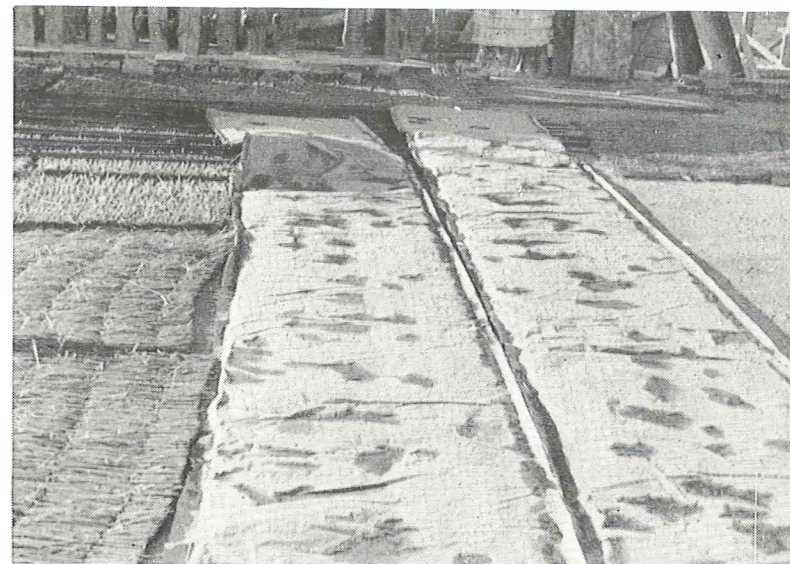


Fig. 42. Beton, som ved tildækning, dels med halmmåtter, dels med sisalkraftpapir, er beskyttet mod udtørring. Halmmåtterne må vandes for at være effektive. De kan også bruges til beskyttelse mod frost.

Særlig i stærkt solskin og blæst er det af betydning, at den nystøbte betons overflade beskyttes mod den kraftige fordampning ved tildækning med måtter, presenninger, papir eller lignende. Man må sørge for, at de materialer, man dækker med, ikke kan skade betonen. Bruger man f.eks. jute- eller stråække, må disse således ikke have indeholdt sukker, sojabønner eller lignende. Formen giver i sig selv en god beskyttelse mod udtørring.

Den mest effektive måde at forhindre udtørring på, efter at betonen har været dækket den første dag, er at supplere tildækningen med en vanding. På steder, hvor vanding er vanskelig at gennemføre, vil man kunne benytte sådanne påstrykningsmidler eller påsprøjtningmidler, som hjælper til at holde betonen fugtig (membrane curing), idet betonens vand kun langsomt fordamper gennem en sådan hinde.

b. Beskyttelse mod frost, regn og sne.

Vel udført beton kan, når den har nået en vis alder, tåle frost, men udsættes den for frysninger, før den har nået en tilstrækkelig styrke, vil den blive ødelagt. Man regner med, at god beton tåler frysning og optøning nogle

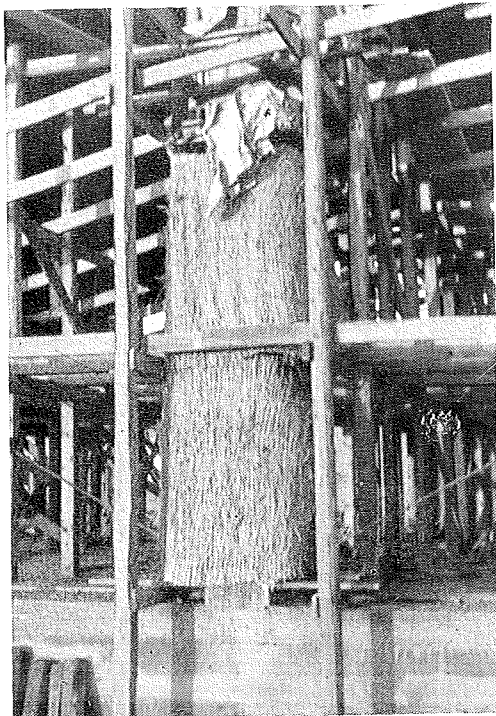


Fig. 43. Betonsøjle, som er beskyttet mod frost, ikke blot af sin forskalling, men også af halmmåtter og papirsække fra cementen.

gange, hvis dens temperatur i de første 3 døgn ikke kommer under 2°C . Der henvises til afsnittet: Støbning i frost. Regn og sne tåler betonen forholdsvis hurtigt, men hvis betonen er helt frisk, kan den få betydelige skader, og den bør derfor dækkes med presenninger, hvis man venter nedbør.

c. Beskyttelse mod overlast.

Det er indlysende, at nystøbt beton vil lide skade, hvis den udsættes for overlast, før den er afbundet. Er det nødvendigt at færdes hen over bygværket, bør det ske på udlagte bræddebøer.

d. Skader ved for tidlig afformning.

Hvis formen fjernes, før betonen er blevet tilpas stærk, kan der ske stor skade; hjørner kan blive løsrevet eller dele af betonen følge med formen. Endvidere kan en for frisk betonkonstruktion komme til at hænge som følge

af krybning under påvirkning af sin egenvægt. Denne krybning kan man dog hindre ved under plader eller lignende at anbringe afstivninger i ikke for stor afstand. Jo længere man kan lade disse blive stående, des bedre. Under normale temperaturforhold kan det tidspunkt, hvor formene kan fjernes, aflæses af tabel 11. Ved temperaturer under 6°C skal tidsfristerne forlænges til det 2–3 dobbelte.

Tabel 11.

Betonens mindste alder ved afformningen. Temperatur: $10\text{--}15^{\circ}\text{C}$.

	Cementsort		
	Portland	Rapid	Super-Rapid
	Alder i døgn		
Formen kun begrænsende	3	2	1
Formen bærende.			
Konstruktionens spændvidde L			
$L < 2\text{ m}$	7	2	2
$L = 2\text{--}3\text{ m}$	7	3	2
$L > 3\text{ m}$	$4L - 5$	L	$\frac{2}{3}L$
Længste tid	28	14	7

11. KONTROL OG PRØVNING

Den beton, der fremstilles, skal kontrolleres for at sikre, at den opnår de egenskaber, man har tilstræbt under planlægningen.

a. Konsistens.

For den friskblandede betons vedkommende er det først og fremmest konsistensen og bearbejdigheden, der har interesse. Konsistensen måles for de let bearbejdelige betoner ved hjælp af det såkaldte sætmål:

Prøven udføres på følgende måde: Betonen udstøbes på et plant, vandret, ikke vandsugende underlag i en keglestubform åben fornedet og foroven og med et nedre tværmål på 20 cm, et øvre på 10 cm og en højde på 30 cm. Formen fyldes i fire nogenlunde lige tykke lag, der hver stemples 25 gange med et ca. 50 cm langt 16 mm rundjern med afrundet ende. Når formen er fyldt, løftes den forsigtigt af, hvorved den støbte betonkegle synker mere eller mindre sammen. Sammensynkningen måles f.eks. ved, at man stiller formen

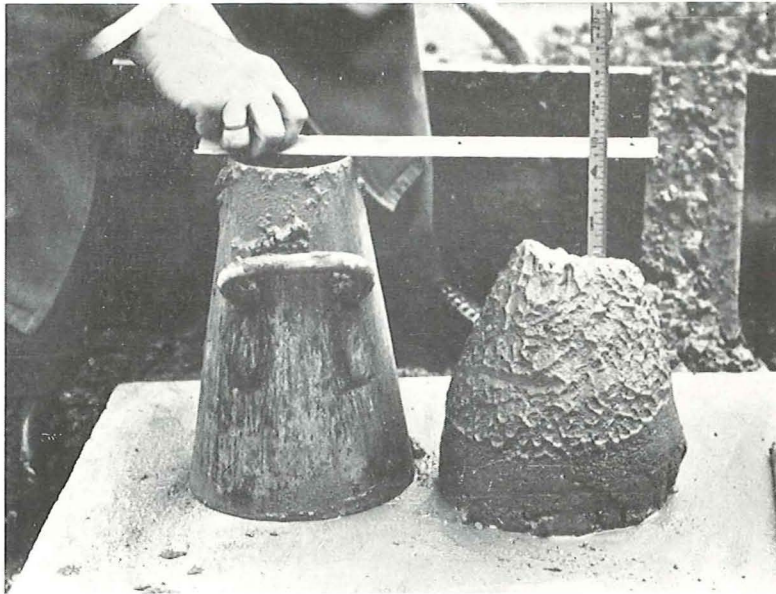


Fig. 44. Bestemmelse af sætmål.

op ved siden af den sammensunkne kegle og bruger dens overside til at flugte langs og udmåle synkningen fra. Sten, der er over 32 mm, bør fjernes under fyldningen, idet de kan bevirke en skæv skridning af keglens top. Alt efter sætmålets størrelse kaldes betonen jordfugtig, stiv plastisk o. s. v. som anført i nedenstående tabel 12:

Tabel 12.
Betonkonsistenser og tilsvarende sætmål og vebesekunder.

	Sætmål	Vebesekunder
Jordfugtig (jf).....	0- 3 cm	40-5
Stiv plastisk (stpl).....	3- 6 -	5-3
Plastisk (pl).....	6-10 -	3-2
Tykflydende (tkfl).....	10-15 -	<2
Flydende (fl).....	over 15 -	-

Man må gøre sig klart, at sætmålet ikke giver noget fuldstændigt billede af betonens bearbejdelighed. Yderligere oplysninger om denne egenskab kan, med nogen øvelse, fås, hvis man banker på den afformede kegles sider og top og iagttager, hvorledes betonen skrider ud under denne påvirkning.

Ved stive betoner er sætmålet ofte 0, men deres bearbejdelighed kan dog være meget forskellig. I tilfælde, hvor sætmålet er nær ved 0, måles konsistens og bearbejdelighed derfor bedst ved anvendelsen af vebeparatet, som vist på fig. 45.

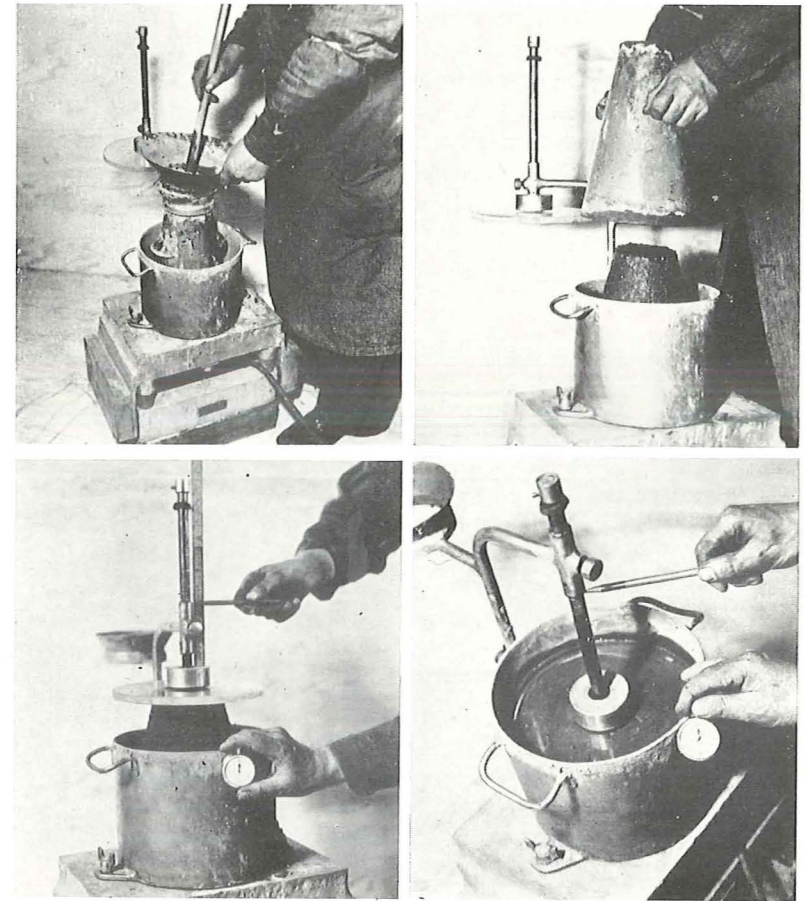


Fig. 45. Vebeparat i funktion.

Som det fremgår af figuren, består apparatet af et vibratorbord, på hvilket en spand er fastspændt. I spanden udstøbes og afformes som vist en sætmålskegle. Hen over keglen drejes en til apparatet hørende svær glasplade, der frit kan synke ned mod betonen, som den netop berører. Vibratoren sættes i gang, betonkeglen synker sammen, og pladen følger efter. Den tid, der forløber, indtil hele glaspladens underside dækkes af betonen, måles med stopur. Tiden kaldes vebesekunder eller vebeograder; jo færre vebeograder, des lettere bearbejdelig er betonen.

b. Rumvægt og porerumfang.

Den friske betons rumvægt bestemmes ved brug af et kar med nøjagtigt kendt rumfang – f.eks. 10 l. Karret fyldes i tre lag, der hver komprimeres på samme måde, som det sker med betonen i bygværket, altså ved håndstampning eller vibrering. Efter at tredje lag er komprimeret, afstryges betonen, dens nettovægt bestemmes og rumvægten R udregnes i kg/l. Ud fra de vægtmængder, i hvilke delmaterialerne er afvejet, samt disses vægtfylder, kan man udregne den luftfri betons teoretiske rumvægt R_0 i kg/l. Den udstøbte betons porerumfang L i % bestemmes da som

$$L = \frac{R_0 - R}{R_0} \times 100\%$$

L bør normalt ikke overstige 3%¹⁾, og man har her direkte et mål for komprimeringens godhed. Se iøvrigt tabel 7 side 52.

Luft- eller poreindholdet kan også måles med dertil indrettede apparater; men disses anvendelse er især beregnet til brug ved luftindblandet beton og skal ikke nærmere omtales her.

c. Styrke.

1. TRYKSTYRKE.

Den hærdnede beton undersøges først og fremmest for trykstyrke. Det har tidligere været mest almindeligt her i landet at arbejde med prøvebjælker, da disse kan prøves direkte på byggepladsen; se fig. 46 og 47. For sammenhængen mellem de belastninger P , der giver brud, og betonens bjælkestyrke σ_B henvises til jernbetonnormerne DS 411. Imidlertid anser man terninger eller cylindre for at give et pålideligere billede af styrken, og det anbefales at benytte 20 cm terninger eller 30 cm høje cylindre med 15 cm diameter; se fig. 48. Man har lov til at regne med, at bjælkestyrken er 25 % større end terningstyrken, og man kan regne med, at cylinderstyrken er ca. 80–85 % af terningstyrken.

1) Der regnes ikke med luftindblandet beton.

Der bør mindst udføres 3 prøvelegemer for hver påbegyndt 150 m³ beton. Vil man følge arbejdet særlig omhyggeligt, kan man f.eks. udføre 3 prøvelegemer for hver påbegyndt 100 m³ beton.

2. TRÆKSTYRKE OG BØJNINGSTRÆKSTYRKE.

Ved visse arbejder har det mest interesse at kende betonens trækstyrke. Denne styrke kan også bestemmes i en presse, idet en betoncylinder ved at blive påvirket til tryk langs to modstående linier (frembringere) brydes ved rent træk ved en spaltning i det lodrette plan, som forbinder de nævnte to linier, således som vist på fig. 49.

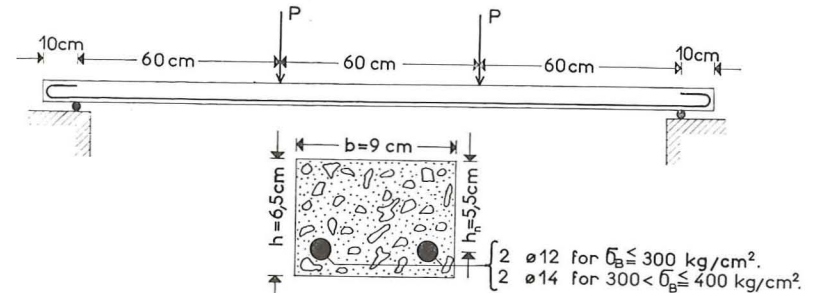


Fig. 46. Probebjælke iflg. danske jernbetonnormer.

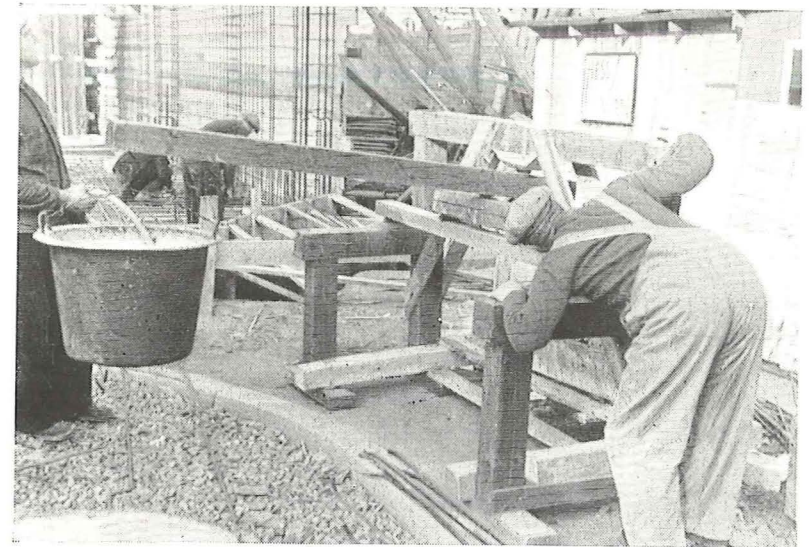


Fig. 47. Brudforsøg med betonprobebjælke på en byggeplads.

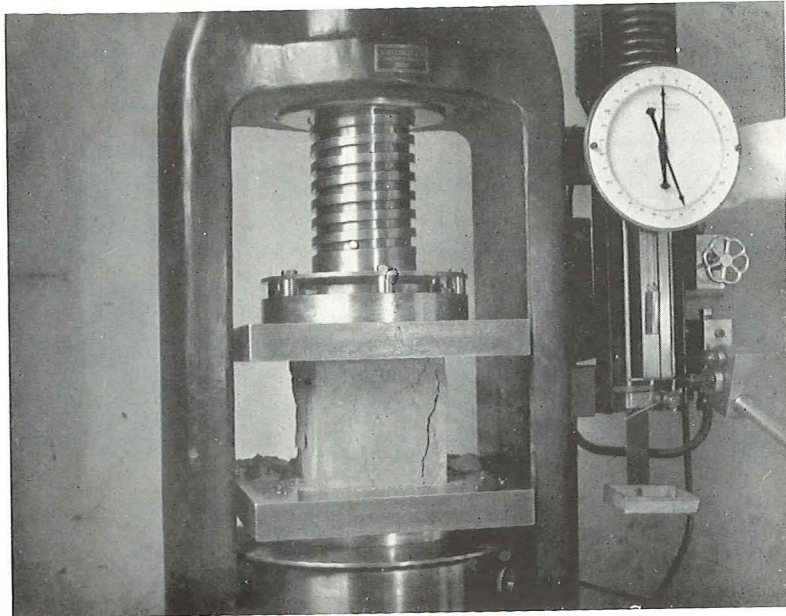


Fig. 48. Hydraulisk presse til bestemmelse af betons trykstyrke.

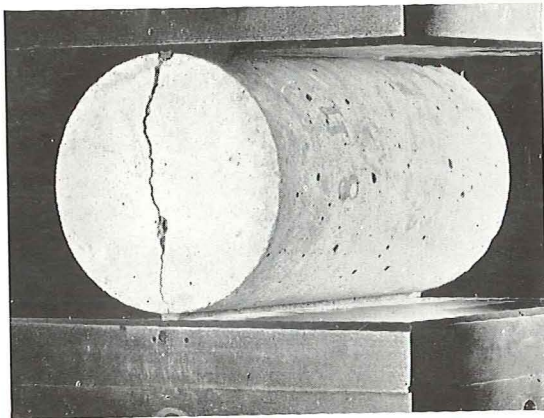


Fig. 49. Spaltningsforsøg til bestemmelse af en betons trækstyrke.

Betonens trækstyrke σ^t beregnes af det målte spaltetryk P og spaltefladens areal: $d \cdot h$, ved følgende formel:

$$\sigma^t = \frac{2P}{\pi \cdot d \cdot h} \text{ kg/cm}^2 \quad P \text{ måles i kg, } d \text{ og } h \text{ i cm.}$$

For beton fremstillet med danske tilslagsmaterialer af middelgod kornform og lagret ifølge jernbetonnormerne vil forholdet mellem tryk- og trækstyrke være omtrent som vist på diagrammet fig. 50.

Ved visse arbejder – særlig vejarbejder – er det almindeligt at undersøge betonens bøjningstrækstyrke gennem brudforsøg med uarmerede 80 cm lange prøvebjælker med bredden $b = 15$ cm og højden $h = 10$ cm. De prøves med undersiden som trækside. Bøjningstrækstyrken vil for beton af normal kvalitet blive ca. 50% højere end trækstyrken.

Ved brug af kantede stenmaterialer og materialer med aflange korn kan trækstyrken og bøjningstrækstyrken blive en del højere (op til ca. 50%).

3. PRØVELEGEMERNES LAGRING.

For at få et tilstrækkelig godt billede af betonens styrke skal betonen i prøvelegemerne fremstilles på samme måde som i bygværket. Dette vil sige, at betonen tages direkte ud af en normal blanding, og at den efter udstøbningen i prøvelegemet bearbejdes ved håndstamping eller vibrering, ganske som betonen i bygværket.

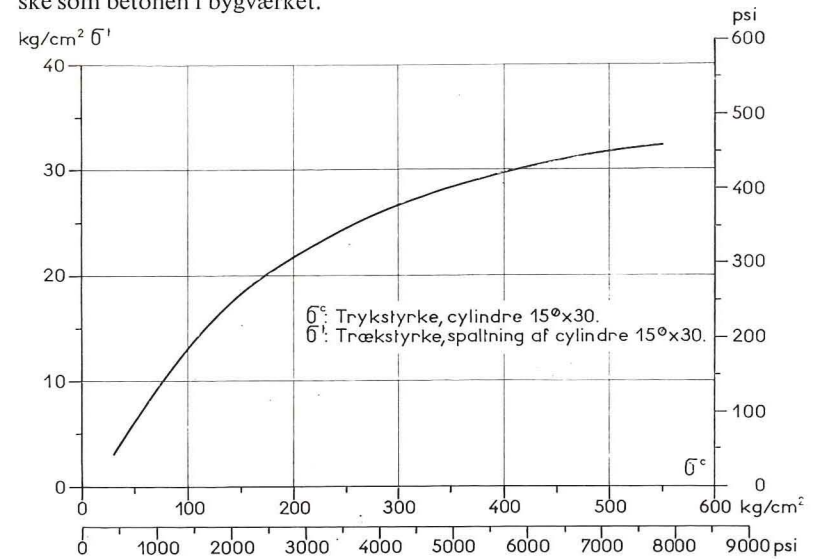


Fig. 50. Opnået relation mellem trykstyrke og trækstyrke. Angående lagring m. m. se teksten.

Opbevaringen og prøvningen skal ske på standardiseret måde – se DS 411 – for at man kan få et pålideligt billede af betonens kvalitet. Uarmerede prøvebjælker opbevares dog under vand indtil prøvningen, da svindspændingen ellers influerer stærkt på resultaterne.

Man må ikke prøve at følge betonens styrke i bygværket om vinteren af hensyn til afformningen ved hjælp af prøvelegemer, som opbevares i opvarmede rum. Prøvelegemerne bør i så tilfælde henlægges side om side på bygværket og tildækkes, således at de ikke afkøles mere end betonen i bygværket.

Terninger bliver bedst, når de støbes i hølvede stålforme, men de kan dog støbes i træforme, hvis disse er tætte og vel indsmurte. Man bør dog ved terninger støbt i træforme forlange, at trykfladerne afrettes ved en påstøbning, inden terningerne prøves.

Man må regne med visse udsving i de fundne betonstyrker, således at man finder både lavere og højere værdier end de tilstræbte. Ved store bygværker kan der være anledning til en omfattende betonkontrol, eventuelt med statistisk behandling af de opnåede resultater. Der henvises her til de specielle vejledninger i betonkontrol, f. eks. S. B. I.s anvisning nr. 27. I hvilken grad de fundne resultater skal give anledning til ændringer i betonsammensætningen, må nærmere overvejes.

4. INDIREKTE PRØVNINGSMETODER.

Her skal desuden lige nævnes, at man har forskellige mere eller mindre tilfredsstillende metoder til bestemmelse af betonens styrke, ved hvilke betonen ikke ødelægges. Af disse skal følgende tre metoder kort omtales: Måling af lyd hastigheden i betonen, måling af et kugleindslags diameter og måling af tilbageslaget fra betonens overflade med en speciel prøvehammer.

1) De lydtekniske målinger foretages med specielt, ret kompliceret, elektrisk apparatur. Ved målingen bestemmes lyd hastigheden i betonen, og ud fra denne kan trykstyrken bestemmes med nogenlunde sikkerhed, hvis betonens rumvægt er kendt. Bestemmelsen er nøjagtigst for forholdsvis svage betoner. Metoden vil have størst interesse ved eftersporning af grovere inhomogeniteter i færdige konstruktioner.

2) Kugleindslagsmetoden må foretages på et forholdsvis plant stykke af betonoverfladen. Et stykke karbonpapir med sværten udad og oven på dette et stykke almindeligt papir holdes hen til en lodret flade af betonen, som vist på fig. 51, og en stålkugle af bestemt diameter svinges som pendul ind mod papiret fra vandret stilling. Jo blødere, mere plastisk betonen er, des større bliver indslaget, og desto større bliver den cirkelflade, som sværtes på papirets bagside. Anvendes en 50 mm stålkugle og en 30 cm pendularm, fås

Fig. 51.
Udførelse af
kugleindslags-
prøven.



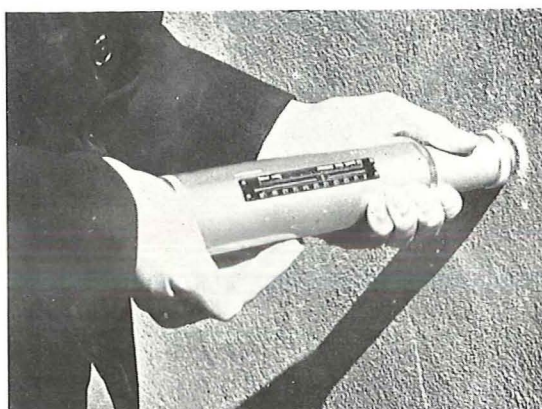
omtrent følgende sammenhæng mellem indtrykkets diameter og betonens trykstyrke:

12	mm	35	kg/cm ²
10	–	70	–
9	–	100	–
8,5	–	130	–

Der vil naturligvis blive ret stor spredning på en sådan måling, men der kan på den anden side meget let fås et stort antal forsøgsværdier. Metoden er først og fremmest velegnet ved ganske frisk beton til måling af hærdningens fremadskriden.



Fig. 52. Anvendelse af en betonprøvehammer.



3) Undersøgelse med betonprøvehammeren er en videreudvikling af kugleindslagsmetoden. Den foretages med et specielt konstrueret apparat, som vist på fig. 52. Apparatet presses an mod betonens overflade, og ved et vist tryk udløses et fjederbelastet slaglod i apparatet, således at betonen herved udsættes for et slag med en bestemt energi. Hammeren er således indrettet, at den måler tilbageslagets størrelse i procent af slagenergien; den dertil svarende betonstyrke kan da bestemmes ved hjælp af et diagram. Også denne metode giver nogen spredning, således at bestemmelsen bør foretages som et gennemsnit af f.eks. 10 slagprøver, men målingerne er overordentlig hurtige og enkle at udføre.

IV DEL

SPECIELLE PUNKTER AF INTERESSE

1. FORDRINGER TIL ARBEJDSPLADSEN

For at der kan udføres god beton, må der stilles en del krav til arbejdspladsen, til dens udstyr, til den forskalling, hvori betonen skal støbes, og til placeringen af armeringen.

a. Opbevaring af cement, grus og sten.

Af hensyn til betonen er det især af betydning, at cementen opbevares tørt og godt, og at grus og sten findes hver for sig og placeres tilgængeligt. Cementen må beskyttes mod fugtighed, idet den ellers bliver stenløben og taber i styrke. Cementsækkene må derfor ikke anbringes direkte på jorden, men på et træunderlag eller på et betongulv, og helst heller ikke umiddelbart op ad ydervæggen. Træk kan medføre fugtighed. Leveres cementen i løst mål, bør den opbevares i siloer, der må være forsynet med udtagnings- og afvejningsanordninger.

Grus og sten bør ikke ligge direkte på jorden, fordi man derved nemt får dem forurenede, hvilket svækker betonen. Materialerne bør ligge adskilte enten på beton eller på et underlag af træ og helst i hver sit rum.

Der må føres kontrol med, at grus og sten, som leveres til byggepladsen, er af ensartet kvalitet, da det ellers kan blive nødvendigt at foretage ændringer i blandingsforholdet eller, som allerede nævnt, i vandmængden og cementmængden. Naturligvis er det først og fremmest nødvendigt ganske enkelt at se på materialerne, at lægge mærke til deres udseende og at føle på dem og derigennem holde øje med, om kvaliteten – finheden, renheden, kornformen o. s. v. – ikke undergår væsentlige ændringer. Angående kontrollen henvises til afsnittet om materialerne. Det er allerede nævnt, at hvis der sker større ændringer i den vandmængde, der skal til for at gøre den beton, der fremstilles af afmålte portioner cement og grus, tilpas bearbejdelig, tyder det på, at materialerne har forandret finhed. Hvori forandringerne består, kan man så undersøge som nævnt under sigtning, og når sigtningen er foretaget, kan man skønne over, hvilke ændringer der bør ske i sammensætningen af tilslaget.

b. Forskallingen.

Der skal ikke her angives detaljer vedrørende opstillingen af forskallingen eller forskallingens beregning og udførelse. Det skal blot fremhæves, at de forskrifter, der er givet vedrørende dimensioner og mål, må følges ganske nøje. Understøtningerne skal være forsvarlige, og de overhøjder i forhold til de færdige dimensioner, der er angivet på forskallingstegningerne, skal overholdes. Når alt dette er i orden, er der endnu punkter, som er af betydning for arbejdets kvalitet, og som må være i orden, og uden hvilke den omhu, der er brugt på forskallingen, vil være spildt. Det drejer sig især om formenes renhed og tæthed.

Under opstillingen af formene er der stor risiko for forurening, idet f.eks. høvlspåner eller lignende kan samle sig i bunden af vægforskallinger og søjleforskallinger. Disse urenheder kan være vanskelige nok at fjerne, og der bør derfor i forskallingen med 3–4 meters mellemrum indsættes renselemme, for at urenhederne kan fjernes f.eks. ved udskylning. Afstandspinde af træ bør undgås, fordi det ofte hænder, at afstandspinde under anbringelsen tabes eller oven i købet glemmes og indstøbes i betonen, hvad der giver en betydelig svækkelse. Man bør bruge afstandsklodser af beton.

Formene skal være tætte, da vand, medtagende cement og fint sand, ellers siver ud, hvorved betonen bliver ringere. Tætheden kan sikres ved at formene udføres med pløjede brædder, men fremgangsmåden er dyr. Udføres formene med fuldkantede brædder, må man give disse et lille mellemrum, for at flagerne ikke skal kaste sig, når forskallingen gennemvædes, og træet derved udvider sig. Det er nødvendigt at gennemvæde en sådan form inden arbejdets udførelse, idet udvidelsen, hvis den sker efter at betonen er støbt, kan bevirke sprængninger i betonen f.eks. ved hjørner, i søjler, vægge og lignende steder.

c. Armeringen.

For armeringen gælder det ligesom for cement og tilslag, at den bør opbevares omhyggeligt. Den bør ligge adskilt efter dimensioner og kvalitet, og jernene må ikke blive forurenede af olie, fedt eller lignende, idet de derved mister deres evne til vedhæftning til betonen. Jernene må heller ikke være forurenede af løs rust, og er de det, må rusten fjernes med stålbørste, inden jernene bruges. Med hensyn til jernenes placering må man nøje følge tegningerne og de betondækninger, der angivet i forskrifterne eller i jernbeton-normerne, gælder de yderste jerndele, altså i virkeligheden f.eks. i en jernbeton-plade fra bindetrådenes underkant til pladens underside.

Det dækkende betonlag skal mindst være:

- 1 cm i indendørs, tørre konstruktioner,
- 2 cm i udendørs konstruktioner eller på steder, hvor betonen udsættes for stærk fugtighed,
- 3 cm i udendørs, større konstruktioner som brobjælker, brosjøler og lignende. I ajlebeholdere, ensilagebeholdere og -siloeer, ved havvandsarbejder og lignende går man gerne op til 5 cm.

Jo større dækning, des bedre beskyttelse, forudsat at betonen er tæt.

Afstandsklodser og lignende bør anbringes under krydsende, sammenbundne jern, og jernene må ikke blot »ruskes« på plads. Det er klart, at selv vel gennemførte forholdsregler af denne art er omsonst, hvis jernene trædes så meget ned, at de på nogle steder kommer til at røre forskallingen. Hvor man kan anbringe løbebroer, på hvilke betonen kan køres og færdsel foregå, er det udmærket, forudsat at de hviler direkte på forskallingen.

Til slut skal det påpeges, at den armering, der bukket op, skal ligge tilstrækkelig højt, eventuelt fastholdt af »stole«, idet dette er af stor betydning for at sikre f.eks. altaners bæreevne, idet de opbøjede jern i reglen er bærejern for disse.

2. BETONSTØBNING UNDER SÆRLIGE FORHOLD

a. Støbning i frost.

Når det er mere end et par graders frost, eller man venter længere frostperioder, og man ønsker at fortsætte sit betonarbejde, må der træffes forskellige foranstaltninger for at sikre, at betonen også under disse forhold bliver tilfredsstillende. De væsentligste af dem skal kort gennemgås i det følgende.

Hvis frisk beton straks fryser, sinkes både afbinding og hærkning, men hvis god beton hindres i at blive koldere end ca. 2°C i de første 3–4 døgn, vil den i reglen kunne tåle at fryse, og hærkningen vil fortsætte, omend langsommere end ved almindelig temperatur.

De vigtigste forholdsregler ved vinterstøbning er følgende:

- 1) Opvarmning af materialerne, hvorved man giver betonen en begyndelsestemperatur på indtil 30°C – lidt højere når der støbes med Portland-cement – lidt lavere, når der bruges hurtighærdnende Portland-cement. Man kan varme sand og sten, men det er lettest og ofte tilstrækkeligt alene at opvarme vandet til 50–60°C, hvorved den friske beton bliver omkring 15–20°C.

- 2) Beskyttelse af den udstøbte beton mod afkøling, hvilket sker ved tildækning. Formene yder naturligvis nogen beskyttelse, men en ekstra tildækning både af formene og af selve betonen med isolerende materiale er nødvendig, jo mere, des tyndere konstruktionerne er, og jo koldere vejret er.
- 3) Brug af hurtighærdnende cementer, der forøger varmeudviklingen i betonen, særlig i den første tid. Cement udvikler varme under afbindingen og hærdningen, og denne varmeudvikling gør sig stærkere gældende, jo federe betonen er, og jo større betonmassen er. Da de hurtighærdnende cementer udvikler varmen hurtigere, er de velegnede til vinterstøbning.
- 4) Brug af frostvæsker, som imidlertid kun er tilladt i uarmeret beton. De indeholder i reglen kalciumklorid, der i øvrigt ofte anvendes rent. Der bør højst anvendes ca. 0,8 kg kalciumklorid pr. sæk cement. Frostvæskerne virker dels ved at fremme hærdningen og varmeudviklingen, dels ved at nedsætte mørtelvæskens frysepunkt. Når frostvæske bruges, regner man at kunne støbe i indtil 4-5° frost.

b. Støbning under vand.

Ved støbning under vand gælder det om, at cementen ikke udvaskes. Det er klart, at hvis man ligefrem hælder beton gennem vand, vil stenene først synke og dernæst det grovere grus, medens cementen fuldstændig vil udvaskes. Det gælder derfor om at støbe på en sådan måde, at betonen så lidt som muligt eller helst slet ikke skal falde igennem vandet, men umiddelbart trænger dette bort på det sted, hvor den udlægges. Den bedste måde er at udstøbe betonen gennem vide rør, der føres helt til bunds. Det bliver så væsentlig den første beton, der skal fortrænge vandet direkte, idet man stadig under den videre støbning sørger for at holde røret neddykket i den allerede støbte beton.

c. Støbning i havvand.

Støbning af beton i eller ved havet adskiller sig ikke væsentligt fra anden støbning, men man må her tage hensyn til de salte, der er i havvandet, og må i reglen bruge en beton med et noget lavere v/c. Der kan være grund til at nævne, at betonens vådholdelse bør ske meget omhyggeligt for de konstruktionsdeles vedkommende, der er over vandet. Hvor faren for angreb af havvandet er meget stor og havet stærkt salt, bør man bruge særlig modstandsdygtige cementer, som f.eks. Havvand-cement.

3. TILSÆTNINGSMIDLER

Af de talrige tilsætningsmidler, der anvendes til beton, skal følgende omtales:

a. *Luftindblandingsmidler*, hvis virkning består i frembringelsen af et stort antal meget små luftblærer, således som nærmere omtalt under »Luftindblandet beton«.

b. *Plastificeringsmidler*, hvis virkning er en forøgelse af betonens bearbejdelse uden luftindblanding.

c. *Materialer, der ændrer betonens afbinding og hærdning.*

Af disse midler skal her kun omtales kalciumklorid. Dette er et let opløseligt salt, der har en ganske betydelig indflydelse på beton, når det sættes til blandingsvandet. Virkningen er meget afhængig af, hvor store mængder der anvendes, som det fremgår af nedenstående (tilsætningen angivet i vægtprocent af cementmængden):

Væsentligt under 1%: afbindingstiden forlænges.

1-4%: hurtigere afbinding – voksende styrke.

Over 4%: særdeles hurtig afbinding, men formindskelse af slutstyrken, voksende svind og fare for ødelæggelse.

Man bør i almindelighed være forsigtig med anvendelse af mere end 2% kalciumklorid i forhold til cementvægten. Når man holder sig til denne grænse, er der heller ikke fare for rustangreb på armeringen, blot betonen er tæt, d.v.s. vel komprimeret og med v/c højst = 0,60 for Portland-cement og højst 0,80 for hurtighærdnende cement. Her i landet er tilsætning til armeret beton i almindelighed dog endnu ikke tilladt.

Desuden findes visse specialpræparater beregnet til at forlænge afbindingstiden.

d. *Frostvæsker*, der sænker blandingsvandets frysepunkt. Se i øvrigt afsnittet »Støbning i frost«, punkt 4 og ovenstående punkt c.

e. *Plasticstoffer* anvendes mest i form af emulsioner som tilsætningsmidler til cementmørtel. De anvendes især ved reparationer, idet de forøger cementmørtelens adhæsion til underlaget og gør mørtellaget mere elastisk.

f. *Vandtætningsmidler* anvendes for at gøre beton eller mørtel mere vandtæt. Deres virkning består i reglen i, at plasticiteten forøges, således at bearbejdningen bliver lettere og gennemgående hullheder derved nemmere undgås.

g. *Aluminiumpulver* benyttes i små mængder i injektionsmørtel til kabelgange og visse typer pakbeton. Ved reaktion mellem aluminiumspulveret og mørtelen udvikles brint, således at mørtelen får tendens til at ekspandere.

4. DAMPHÆRDNING

Ved fabrikation af betonvarer, f.eks. bygningselementer af beton, vil det ofte være af stor betydning at forkorte den tid, der nødvendigvis må gå fra fabrikationen til udleveringen, ligesom det for anvendelsen af betonelementer er af betydning, at disse er så stærke og tørre som muligt og har fået det meste af deres udtørningsvind, inden de anvendes. Der benyttes derfor ofte en vis dampbehandling som supplement til den naturlige hærkning.

Selve udtørningsvindet reduceres mest, dersom damphærdningen finder sted ved højt tryk og høj temperatur f.eks. i mættet vanddamp af 10 at. ved ca. 180°C, såkaldt autoklavhærkning. Anlæg til denne behandling er imidlertid temmelig kostbare og anvendes mest ved specialfabrikationer, og denne form for hærkning skal derfor ikke nærmere omtales her.

Man klarer sig ofte med damphærkning i et hærdekammer, i hvilket varen kan indføres, og som derefter blot lukkes og sættes under damp ved atmosfæretryk en passende tid, således at varen hurtigt opnår så stor styrke, at den kan håndteres.

Her skal ikke gives en detaljeret vejledning i damphærkning, men det skal nævnes, at det vigtigste forhold ved damphærkning ved atmosfærisk tryk er den hastighed, med hvilken man lader temperaturen stige i betonen. Den bedste stigning kan variere noget for de forskellige cementtyper, men man kan være sikker på at opnå gode resultater, hvis temperaturen ikke når 50°C, før der er gået 2 timer, eller 100°C, før der er gået 6 timer, efter at blandingen har fundet sted. Dersom man fortsætter behandlingen, kan man regne med, at styrken omtrent vil være proportional med betonens såkaldte modenhed – d.v.s. produktet af °C og antal timer, eller summen af disse produkter, hvis hærningen er foregået ved forskellige temperaturer. Plejer man f.eks. at kunne flytte en betonvare efter 24 timer ved 20°C, kan man således flytte den efter ca. 6 timers hærkning ved 80°C o. s. v. ($24 \cdot 20 = 6 \cdot 80$).

Det er dyrt at hærde ved for høj temperatur, og det er dyrt at hærde for længe, og man må derfor indrette disse to forhold efter hinanden. Det er en almindelig fejl at anvende for hurtig temperaturstigning hvis man har været nødt til at begynde behandlingen på et lidt senere tidspunkt. Herved kan man komme til at bruge overflødig tid med lavere styrke som resultat. Hvis man har mere end seks timer til rådighed for damphærdningen, synes de bedste resultater at kunne nås ved en langsom stigning i temperaturen til at begynde med.

V DEL SPECIELLE BETONER

1. VANDTÆT BETON

Til mange arbejder er det af betydning, at den fremstillede beton er vandtæt. Beton kan gøres vandtæt uden anvendelse af særlige tilsætningsmidler, blot tilslagsmaterialerne har en god kornfordeling og bruges i de rette mængdeforhold, og konsistensen tillader en virkelig god komprimering, således at den ved den anvendte bearbejdning udfylder formene helt og smyger sig om den eventuelle armering.

En vandtæt beton er ikke altid dyrere at fremstille end en utæt beton, og den byder mange fordele. Udsættes den f.eks. for blødt eller kulsyreholdigt vand, kan dette kun angribe fra overfladen, og angrebet skrider derfor meget langsomt fremad. Er betonen utæt, kan vandet sive igennem, og angrebsfladen bliver langt større, så nedbrydningen vil ske med voksende fart.

En beton bliver vandtæt, når hulrummene i sand-stenblandingen udfyldes helt med en cement-vandblanding, der i sig selv bliver tæt efter afbindingen og hærningen. Tilslagsblandingen skal helst indeholde ca. 20% materiale under 0,25 mm, og v/c må ikke overstige 0,65 for almindelig Portlandcement og 0,85 for hurtighærdnende cement. Man bør dog, som tidligere nævnt, være varsom med at gå helt til de nævnte grænser.

Det er endvidere af betydning, at betonen får lov til at hærde under gunstige forhold, d. v. s. at den ikke udsættes for udtørring og dermed følgende mulighed for revnedannelse, før den har opnået tilstrækkelig styrke.

Beton, der blandes i forholdet 1:2:3 efter rumfang, vil i almindelighed blive vanótæt, såfremt der ikke anvendes mere vand end nævnt og materialerne er blot nogenlunde gode. Med de fleste materialer vil det imidlertid være muligt at fremstille vandtæt beton med mindre cementmængde end de ca. 300–350 kg/m³, der almindeligvis anvendes til beton 1:2:3, men der kræves da en omhyggelig proportionering og udførelse.

2. LUFTINDBLANDET BETON

I de senere år er anvendelsen af luftindblandet beton blevet mere og mere almindelig. Nyere undersøgelser har vist, at såvel betonens frostbestandighed som dens modstand mod andre nedbrydende kræfter forøges i væsentlig grad, når der ved dens fremstilling anvendes et luftindblandingsmiddel. Ved

denne fremgangsmåde vil der i betonen under blandingen fremkomme en uendelighed af yderst små luftblærer. Da betonen herved bliver mere bearbejdelig, kan der spares på blandingsværdet, således at den nedsættelse af styrken, som den indblandede luft forårsager, helt eller delvis ophæves. Luftindblandet beton har også større indre sammenhæng og betydelig mindre tendens til vandudskillelse end almindelig beton.

De mængder, der i almindelighed bruges, er meget små, ca. 10–50 g luftindblandingsmiddel pr. sæk cement. Frostbestandig beton bør indeholde 3½–6% luft i friskblandet tilstand, og luftindholdet bør altid kontrolleres, hvilket kan ske på forskellige måder.

Ved komprimeringsmetoden undersøges betonens sammentrykkelighed, der er afhængig af luftindholdet; ved udrystningsmetoden uddrives og måles luften, hvilket ligeledes sker ved pyknometermetoden. For nærmere oplysninger om emnet henvises til DIF's »Foreløbige retningslinier for fremstilling af luftindblandet beton« og SBI's anvisning nr. 33.

3. FORSPÆNDT BETON

I de senere år benyttes i udstrakt grad beton med forspændt armering, idet man herved opnår spinklere, revnefri, materialebesparende konstruktioner. Der anvendes forskellige systemer, nemlig:

a. Strengbeton. Armeringen består af tynde (3–5 mm) stålstrengene, der udspændes i formen med en forspænding på ca. 100–120 kg/mm². Stålstrengene er af specielt, koldtrukket stål med brudstyrke på ca. 160–180 kg/mm². Når betonen er hærdnet, skæres stålstrengene af der, hvor de træder ud af betonen. På grund af disse strenges forholdsmæssigt store overflade kan de fastholdes ved adhæsionen. Dette forhold forbedres yderligere derved, at strengene ved overskæringen bliver tykkere ved overskæringsstedet og derved låses fast i betonen.

b. Kabelbeton. Armeringen består af såkaldte kabler sammensat af mange stålstrengene (5–7 mm tykke). Kablerne føres gennem kanaler i betonen og strammes først, efter at betonen er hærdnet, hvorefter de fastlåses for enderne i den udspændte stilling. Til slut presses cementvælling ind i de kanaler, hvor kablerne ligger, for at beskytte kablerne mod rust. De to mest kendte systemer er *Freyssinets* og *Magnels*.

c. Forspændt beton med stålstænger. Man har på forskellig måde anvendt sværere, ca. 25 mm, stålstænger ført gennem kanaler i betonen og senere

spændt. Stængerne har gevind ved enderne og fastholdes efter udspændingen ved hjælp af særlig store møtrikker, der spændes an mod en underlagsplade mellem møtrikken og betonen. Det mest kendte system er *Dywidag*.

4. LETBETON

Disse betoner kan deles i tre hovedgrupper, nemlig:

Første gruppe, hvor lethed fremkommer ved, at der bruges porøse tilslag som slagger, pimpsten, savsmuld, træspåner, betonklinker (ekspanderet ler) og lignende. Disse letbetoner kan enten støbes på anvendelsesstedet eller bruges i form af plader, blokke eller sten. For denne gruppe betoner kan rumvægten variere fra ca. 600–1600 kg/m³.

Til anden gruppe hører Gasbeton og Siporex, i hvilke luftblærene fremkommer ved luftudvikling i den friske mørtel. Disse materialer fås i form af blokke og armerede eller uarmerede plader, og da de er damphædede, har de næsten intet svind. Rumvægten varierer fra ca. 500–800 kg/m³.

Tredje gruppe er cellebeton, som fremstilles af cementmørtel og skum, der enten fremstilles for sig eller fremkommer under mørtelens fremstilling i blandemaskinen. Cellebeton kan enten støbes på brugsstedet eller fås i form af blokke eller plader. Rumvægten varierer fra 300–1200 kg/m³.

5. TUNG BETON

Det forekommer, at man ønsker at fremstille særlig tung beton, f.eks. til strålingskærme i atomreaktorer, til kontravægte i broer, til ballastblokke i skibe o. s. v. Sådanne betoner fremstiller man ved at anvende tilslag med stor vægtfylde som f.eks. jernstykker af forskellige størrelser, jernmalme, magnetit og hematit samt bjergarten baryt. De naturlige materialer knuses og graderes således, at der fremkommer grove tilslag med brugelig kornfordeling. Til tider anvendes også sand fremstillet af disse stoffer, men i almindelighed er det mest økonomisk at anvende naturligt forekommende sand til trods for dets lavere rumvægt. De opnåede betonrumvægte varierer fra omkring 3500 til 5600 kg/m³, altså fra ca. 1½ til 2½ gange almindelig betons.

6. VAKUUM BETON

Fremgangsmåden ved fremstilling af vakuum beton er, at den friske beton efter udstøbningen udsættes for et vakuum, hvorved en del af støbevandet fjernes. Der anvendes såkaldte vakuummåtter, der f.eks. kan bestå af en krydsfinérplade på ca. 1 × 1,5 m, et lag stålvæv og nærmest betonen et lag lærred, der hindrer, at cement fjernes sammen med vandet. En gummipak-

ning langs måttens kant danner en lufttæt forsegling mod den friske beton, og måtten sættes i forbindelse med en vakuumpumpe, hvorefter vandud-drivningen begynder.

Metoden finder mest anvendelse ved fremstilling af tynde plader, vægge og lignende. Fjernelsen af en del af blandedvandet forbedrer betonkvaliteten, tillader anvendelsen af vådere blandinger og medfører den fordel, at efter-behandling kan foretages hurtigt, ligesom betonen kan afformes efter kortere tid end sædvanlig.

7. PAKBETON (beton med injiceret mørtel)

Fremgangsmåden ved fremstilling af pakbeton er, at formene først fyldes – pakkes – med stenmateriale, fra hvilket alle partikler under en vis størrelse er fjernet. Hulrummene mellem stenene udfyldes derefter ved injicering af en mørtel, hvis flydeevne og stabilitet er forbedret enten ved brug af visse til-sætningsmidler eller ved en speciel mekanisk bearbejdning. Den resulterende beton er stærk, giver god adhæsion til gammel beton og viser ringe eller ingen ydre svind, fordi stenene danner et stift skelet ved at være i direkte berøring med hinanden. Pakbetonen anvendes til reparationer og undervandsstøb-ninger, vejbelægninger og jernbeton, og i den sidste tid ved fremstilling af betonskærme omkring atomreaktorer.

VI DEL OVERFLADEBEHANDLINGER

Veludført beton har en overflade, der meget vel kan stå og ofte bruges uden overfladebehandling. Imidlertid bruges overfladebehandling i mange til-fælde, og her skal gives en kort beskrivelse af de vigtigste former:

1. Slidlag på betongulve.
2. Puds på beton.
3. Svumning og maling.
4. Udførelse af betonoverflader med hvid cement.
5. Brugen af farvede cementer.

Visse af spørgsmålene behandles mere udførligt i særlige brochurer.

1. SLIDLAG PÅ BETONGULVE

Hvis slidlaget pålægges umiddelbart efter betonunderlagets støbning, er det let at opnå en god forbindelse, så slidlaget ikke løsner sig eller revner. Det er dog almindeligst, at slidlaget først lægges efter betonens hærkning. Slidlag på isolationsmaterialer kræver som oftest specielle hensyn og skal ikke nærmere omtales her.

Forarbejder.

Betonunderlagets overflade renses grundigt, inden udlægningen af slid-laget foretages. Cementslam og spildt beton fjernes med huggeværktøj og stålbørste; olie-, fedt- og farvepletter fjernes på samme måde eller ved an-vendelse af passende opløsningsmidler.

For at modvirke senere revnedannelse i slidlaget skal underlaget være vandmættet, inden slidlaget udlægges. Betonen bør holdes våd (ikke blot fugtig) i mindst én uge før slidlagets udlægning.

For at sikre vedhæften til underlaget skal, umiddelbart før slidlaget ud-lægges, en blanding af vand og cement af *konsistens som tyk fløde* indbørstes i overfladen med stålbørste. Denne konsistens opnås, når vand-cement-forholdet er 0,3–0,4. Laget skal være ca. 1 mm tykt (ca. 1,5 kg cement pr. m²). Indbørstningen må ikke udføres så meget tidligere end slidlagets ud-lægning, at cementslammen når at tørre så meget, at den bliver mat at se på.

Materialer:

Cementen forudsættes at være almindelig Portland-cement eller hurtighærdnende cement.

Gruskornene bør være uporøse, hårde og stærke som granit og kvarts. Det kan være naturligt forekommende grus eller skærvegrus, men bør være frit for aflange eller flade korn, støv og urenheder. Grusets grovhed er af lige så stor betydning som kornenes styrke og hårdhed; det skal hovedsagelig bestå af korn fra 1 til 5 mm.

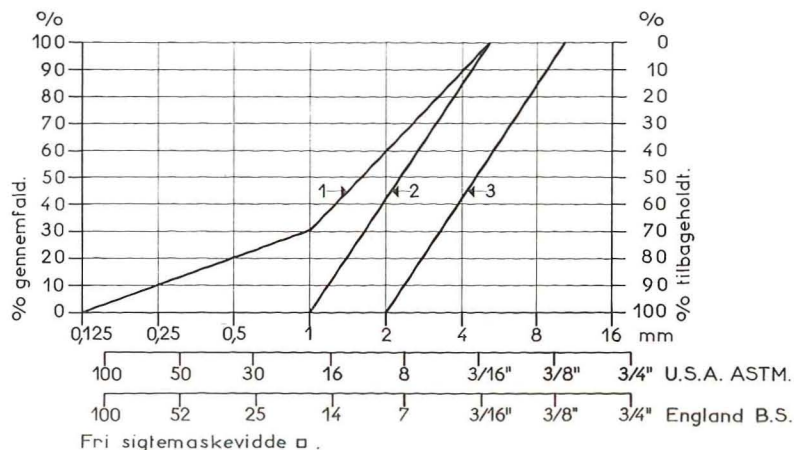


Fig. 53. Kornkurveområder for tilslagsmaterialer til slidlag. Kornkurven bør ligge mellem linierne 1 og 3, men helst mellem 2 og 3. (Efter ATV's beretning no. 19).

Stenene kan være en blanding af perle- og ærtesten ca. 4–10 mm eller granitskærver af tilsvarende størrelse.

Tilslagets kornkurve skal helst ligge inden for det i diagrammet fig. 53 angivne område og bedst mellem linierne 2 og 3. Kornstørrelsen bør hverken overstige ca. $\frac{1}{3}$ af slidlagets tykkelse eller 10 mm.

Granitskærver 2–5 mm og 2–10 mm kan som regel bruges uden tilsætning af finere sand, tværtimod må skærverne undertiden harpes, idet de kan indeholde for meget fint materiale.

Blandingsforhold.

Det bedste blandingsforhold mellem cement og grus afhænger af grusets kornkurve. Det er nødvendigt, at der er så megen cement i mørtelen, at denne bliver bearbejdelig, men det er på den anden side uheldigt, hvis der

er så megen cement, at den danner overflødig slam. Man må forsøge sig frem for at finde det for det pågældende grus bedst egnede blandingsforhold, der i reglen vil ligge mellem 1:2½ og 1:4 efter rumfang.

Jo mere stiv konsistensen af mørtelen er, des stærkere bliver slidlaget for samme blandingsforhold mellem cement og tilslag, forudsat at slidlaget komprimeres tilstrækkeligt. En konsistens så stiv, at mørtelen netop kan trækkes af med et retholt, vil passe for vibrering, hvorimod man ved håndstamping må anvende en noget blødere konsistens. Vandindholdet – inklusive fugtigheden i tilslaget – bør ligge mellem 0,3 og 0,5 kg pr. kg cement.

Blandingen af materialerne kan udføres som håndblanding, hvis denne foregår omhyggeligt. Det bedste er dog at anvende en tvangsblender.

Arbejdets udførelse.

Man opdeler gulvet – ved at udlægge ledere – i baner af indtil 3,5 m's bredde. Det er hensigtsmæssigt at gøre hveranden bane færdig først, hvorefter lederne fjernes og de resterende felter udføres.

Mørtelens udlægning eller udkastning sker på sædvanlig måde med skovl, og overfladen afrettes med retholt, idet der trækkes på aftagelige lister, som lægges oven på lederne (eller på de færdiggjorte baner). Listernes tykkelse skal svare til en overhøjde på ca. $\frac{1}{6}$ af den foreskrevne slidlagstykkelse ved håndstamping og ca. $\frac{1}{3}$ ved vibrering.

Overfladebehandlingen bør afsluttes så tidligt som muligt, så glitningen ikke i væsentlig grad forstyrrer afbindingen; hurtigt arbejde forøger slidfastheden og formindsker derfor støvdannelsen. Også af denne grund må mørtelen ikke være unødigt vandrig, da den så først bliver egnet til glitning på et senere tidspunkt.

Tykkelsen af det færdige slidlag bør, når der vibreres, være ca. 25 mm, ved håndstamping eventuelt noget mindre, afhængig af største kornstørrelse og underlagets jævnhed.

Under og efter fremstillingen skal slidlaget beskyttes mod solbestråling, og helst også mod træk. Så snart overfladen kan tåle det, og senest efter et døgn forløb, skal slidlaget vandes, og i mindst én uge skal overfladen *til stadighed* holdes våd.

Midler mod støvdannelse.

Ønsker man at fjerne overfladens slamhinde, som, indtil den slides bort, vil støve, kan man, efter at slidlaget er hærdnet, slibe 0,5–1 mm af overfladen med en slibemaskine. Ved at slibe dybere, så gruskornenes farve kommer frem, forbedres gulvets udseende væsentligt.

Støvdannelsen kan også nedsættes ved imprægnering med forskellige kemikalier, oftest indeholdende vandglas, fluater eller visse plasticforbindelser. Også ved behandling med olie kan overfladen gøres støvfri, men den bliver herved noget mørkere. Vask med sæbevand et par gange ugentlig er gavnlig.

2. PUDS PÅ BETON

En virkelig plan og ensartet overflade opnås ved pudning, det vil sige, ved anbringelse af et så tykt overfladelag af mørtel, at alle betonoverfladens ujævnheder dækkes. Udførelse af et godt pudslag stiller store krav til håndværkeren, og der er få områder, hvor tilsyneladende små forsyndelser kan få så ubehagelige følger.

Det er nødvendigt, at pudsen sidder så fast, at den ikke på noget punkt løsner sig fra underlaget, en fejl, som man kan konstatere ved bankning på pudsen, der vil lyde hul. Der skal således være den bedst mulige forbindelse både mellem det første pudslag og væggen og mellem de forskellige pudslag indbyrdes. Dette kan opnås ved, at alle lag slås på med stor kraft og ikke trækkes på. (Man kan her drage sammenligning med det kendte syn af drenes snebolde, der sidder fast, når de kastes med stor kraft mod en mur, medens det vil være umuligt at »trække« sne på en væg).

Det enkelte pudslag bør normalt være stærkere end det lag, det skal bære. Lagets tykkelse har dog også en vis indflydelse, og hvis et enkelt lag er meget tyndt, kan det godt bestå af et stærkere materiale end et underliggende, tykkere lag, uden at det trækker dette i stykker.

De enkelte pudslag bør i øvrigt være tynde, således at pudslagets samlede tykkelse ikke bliver for stor. I dag anser man en samlet tykkelse på $\frac{1}{2}$ – $1\frac{1}{2}$ cm for passende, medens man tidligere gik op til 3, ja endda til 5 cm.

Materialer.

Sandets kvalitet har meget stor betydning; det bør være så groft som muligt. Nogle gode kornkurver er vist på fig. 54. Største kornstørrelse bør ligge imellem en tredjedel og halvdelen af det enkelte pudslags tykkelse.

Bindemidlerne er kalk, hydraulisk kalk eller cement. Kalkmørtelen bliver aldrig videre stærk, og man bør derfor altid bruge en hel del cement i sin pudsmørtel. Pudsmørtel skal fremstilles ved blanding af kalkmørtel og cementmørtel og ikke ved, at man sætter kalk til cementmørtel eller cement til kalkmørtel. Kalkmørtelen bør som nævnt fremstilles af groft sand, og indholdet af kalkhydrat skal være 8–9%, svarende omtrent til rumfangsblandingsforholdet 1:5, medens cementmørtelen bør fremstilles af 1 del ce-

ment og 3–5 rumdele groft sand. Pudsens blanding må ske meget omhyggeligt og helst på en såkaldt aktivator, der pisker mørtelen meget intensivt.

Idet CM betyder cementmørtel og KM kalkmørtel som angivet, fås omtrent følgende trykstyrker (7 cm terninger) for forskellige mørtler:

CM	350–550 kg/cm ²
1 CM:1 KM	60–120 kg/cm ²
1 CM:2 KM	20–40 kg/cm ²
1 CM:4 KM	10–15 kg/cm ²

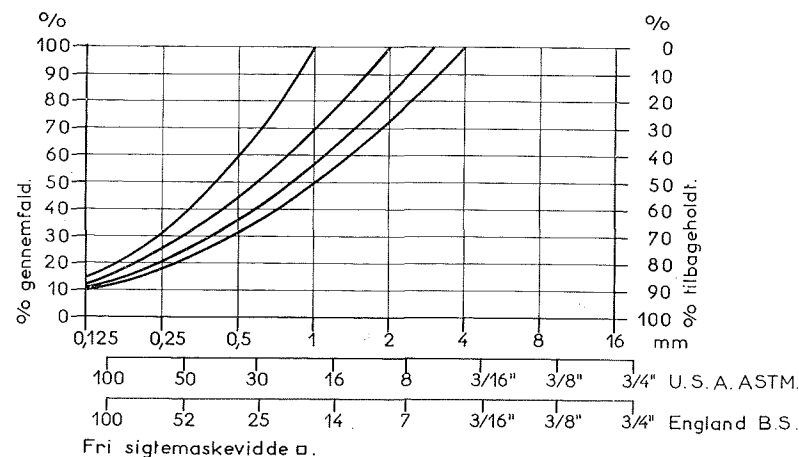


Fig. 54. Kornkurver for sand til pudsmørtler.

Udførelse.

Betonens overflade bør være rengjort og passende fugtig. Da beton er langt mindre sugende end mursten og overfladen i reglen er jævn, må man forlange et kraftigt fasthængende første udkast af ren cementmørtel 1:2 à 1:3 med groft sand uden kalk. Udkastet skal være så tyndt, at det kun lige dækker, og det skal holdes fugtigt. Dagen efter – eller et par dage efter – kastes næste lag på, og resultatet bliver bedst, når dette er det endelige pudslag, i hvilket tilfælde det inden for nogle timer må have den endelige behandling. Man kan til dette lag bruge ren cementmørtel eller lige dele cementmørtel og kalkmørtel.

Indvendige betonoverflader pudses ofte i ren kalkmørtel, men der bør være cement også i et sådant pudslag. Man kan f.eks. bruge en blandingsmørtel af 1 del cementmørtel til 2 dele kalkmørtel.

3. SVUMNING OG MALING

Svumning er påføring med kost af et ganske tyndt lag mørtel – i reglen sammensat af lige rumdele cement og fint sand. Betonoverfladen skal være rengjort og gjort godt våd og netop være begyndt at tørre, når svumningen udføres. En lille kalktilsætning gør svummevællingen smidig. Svumningen bliver kun stærk, hvis den holdes *fugtig en uges tid*. Ved svumningen gives betonoverfladen kun en nødtørftig udjævning, medens alle større ujævnheder forbliver synlige.

Svumning kan også foretages med *hvid eller farvet cement*, hvorved opnås et smukkere udseende af den svummede flade. Denne behandling er især egnet til betonoverflader, som er vel udført, således at de er fri for større ujævnheder og fordybninger. Også om hvid og farvet cement gælder det, at den kun bliver stærk og ikke afsmittende, hvis den holdes *fugtig i en uges tid*.

Af de moderne farver på cementbasis skal nævnes specialproduktet *Cempexo*. Denne murfarve er holdbar, vandafvisende og ikke afsmittende.

Cempexo kan bruges på alle normalt forekommende byggematerialer såvel udvendig som indvendig. Det må dog frarådes at påføre Cempexo på gips-puds eller gips-plader, træ eller lignende materialer samt på vægge, der er malet med olie- eller plasticmaling, og på andre ikke porøse materialer.

Fladerne må være rene og faste, fri for rester af tidligere maling, kalkning o.s.v. Løstsiddende støv og snavs må fjernes, om fornødent med stålbørste og rent vand. Skader må være udbedret i god tid i forvejen. Hvis fladen suger, hvad den jo i almindelighed gør, kan denne svære farve ikke stryges ud uden en passende fugtning af bunden ved forvanding, og dette er forvandingens formål. Forvandingen må ikke overdrives, da særlig våd bund tynder farven ud, så den dels ikke dækker og dels får store porer.

Cempexo leveres som et pulver, der blot skal røres op med vand. Udrøringen foregår ved portionsvis tilsætning af rent vand – ikke omvendt – 0,6 til 0,7 liter pr. kg under omhyggelig, eventuelt mekanisk omrøring.

Påføringen kan ske med hvidtekost eller en egnet sprøjtepistol. Cempexo kan desuden påføres med malerulle. Medens man ved påsprøjtning kan nøjes med ét lag, må der ved påkostningen altid regnes med to, undertiden tre lag, påført med mindst ét døgn mellemrum.

Der kræves et vandtilskud til at opveje for hurtig udtørring og for at opnå en god hærkning, så farven bliver stærk og uafsmittende. Dette vandtilskud tilvejebringes ved en rimelig overbrusning dagen efter påstryg-

ningen. Er der særlig stærk tørring i luften, kan der foretages eftervanding efter 4–5 timers forløb.

Spande, koste og andet værktøj bør skylles helt rene, før Cempexo'en binder af. Cempexo skal opbevares på et tørt sted, og emballagen holdes godt tillukket. Flader, der er jordslåede eller begroede med mosser, alger o.s.v., bør efter en grundig afskrabning behandles med et anti-mugmiddel.

På friske Cempexo-arbejder, udført i perioder med megen fugtighed i luften, kan der fremkomme saltudfældning. I så tilfælde kan man foretage en afvaskning med fortyndet saltsyre, men hellere påføre endnu et lag Cempexo på et gunstigere tidspunkt.

4. UDFØRELSEN AF BETONOVERFLADER MED HVID CEMENT

Når man skal udføre beton med hvid eller lys overflade, er den mest hensigtsmæssige løsning at bruge hvid cement og lyse tilslagsmaterialer. Tidligere var det meget almindeligt at udføre en forstøbning af hvid beton eller påføre et hvidt pudslag – men med vore dages slanke konstruktioner kan det ofte betale sig at bruge hvid beton til al facadebeton og eventuelt slibe de synlige flader.

Ved fremstilling af hvid beton bruges i reglen lyse tilslagsmaterialer. Til fliser og terrazzo bruges endvidere forskellige marmorskærver eller skærver af andre materialer.

For at få en smuk overflade er man tilbøjelig til at vælge en nemt bearbejdelig beton, men dette er farligt, fordi en sådan beton indeholder for meget vand og derfor har for stort svind og tilbøjelighed til at revne. Vil man undgå skæmmende krakeleringer i de hvide betonoverflader, er det derfor nødvendigt at gøre alt for at *undgå for stort vandforbrug*. Dette er som tidligere nævnt et kardinalpunkt med hensyn til svind og svindridser, idet en betons svind næsten udelukkende afhænger af den benyttede vandmængde og kun i mindre grad af den anvendte cements art eller mængde. Det må derfor anbefales meget stærkt at reducere vandbehovet ved følgende forholdsregler:

a. *En meget grundig blanding* af cement, vand og tilslagsmaterialer – et punkt, man desværre langtfra ofrer tilstrækkelig opmærksomhed. Selv om en blanding ud over de normalt anvendte 1 ½–2 minutter ikke har væsentlig betydning for styrken, har den uden tvivl betydning for bearbejdigheden, og man bør derfor ofre i hvert fald et ekstra halvt eller helt minut på blandingen ud over, hvad man ville gøre, hvis overfladens udseende ikke spillede nogen rolle. Herved kan man få en blanding, der har den tilstræbte bearbejdighed ved et mindre vandindhold.

b. *Grundig bearbejdning i formen*, der spiller en meget stor rolle ligesom ved almindelig beton; den mest stive beton kan naturligvis anvendes, når betonen behandles med vibrator – helst neddykningsvibrator. Formvibrering kan også bruges, men ved denne fremgangsmåde er betonen tilbøjelig til at samle cementslam mod formoverfladen. Selv om det er lettere at vibrere en ikke for stiv beton ned i formen, må man vogte sig for at bruge en blød, hvid beton, der ganske vist smukt vil udfylde formen, men senere vil krakelere.

c. *Tilsætning af et plastificeringsmiddel eller et luftindblandingsmiddel* i ringe mængde, hvorved bearbejdigheden yderligere bliver god, faren for separation mindre og frostbestandigheden bedre. En beton med tilsat luftindblandingsmiddel kan have mindre sætmål end en beton uden luftindblandingsmiddel og dog være lige så let bearbejdelig.

Når den hvide beton er støbt og afformet, må man ikke glemme at *holde den våd i det mindste i otte dage*, og selv om den ind mellem slibes, må man stadig ikke glemme vandingen.

At gennemføre det ovenfor nævnte gør naturligvis udførelsen med hvid beton mere besværlig, men på den anden side kan man kun på denne måde undgå ridsedannelser, der særlig i hvid beton vil virke skæmmende.

For overfladelag, terrazzo og lignende gælder i og for sig ganske de samme principielle synspunkter. Blandingen af cement og tilslagsmaterialer bliver der meget ofte sløset med. Det sker ikke sjældent, at materialerne blandes for hånden, og her gælder det i høj grad om at huske, at bearbejdigheden stiger med fortsat bearbejdning i mørtelbunken. Der sker lige som ved betonfremstilling meget ofte det, at man påbegynder blandingen, synes, at mørtelen er for stiv, og giver den mere vand. Når den derefter udlægges og man enten bearbejder den ved vibrering eller stampning, får den den ekstra bearbejdning, den egentlig burde have haft i mørtelbunken, og en masse vand og slam kommer op til overfladen med det resultat, at overfladen sidenhen krakelerer. Man skulle have undladt at give mørtelen en del af vandet og arbejdet mere i den, således at den allerede i bunken havde fået passende konsistens ved blandingen og derfor, når den blev udlagt, ikke havde givet slam fra sig.

Efterbehandlingen af slidlag af hvid cement er også af stor betydning, men den forsømmes ofte. Efter at arbejdet er udført og blevet en 5-6 timer gammelt, er det vigtigt, at det vandes, og særlig er det naturligvis vigtigt, at det ikke får lov til at tørre ud. Hvis der sker en udtørring inden den første vanding, kan man risikere, der er opstået ridser, der er så fine, at man ikke opdager dem. De lukkes igen under vandingen, og de forbliver lukkede, så

længe vandingen finder sted, men den dag, der sker en udtørring, viser ridserne sig igen.

Faren for udtørring består især på de steder, der er udsat for sol eller træk, f.eks. på trappeopgange i bygninger under opførelse. Terrazzo, der udlægges på sådanne steder, er særlig udsat for at få svindridser.

Ved fremstilling af betonvarer med hvid overflade må man erindre, at efterbehandlingen har en vis indflydelse på overfladens udseende, således at dens karakter f.eks. kan påvirkes af, om varen stables flade mod flade eller med luft mellem elementerne.

5. BRUGEN AF FARVEDE CEMENTER

Ved fremstilling af farvet beton gælder de samme hovedregler som anført for udførelsen af hvide betonoverflader. Man kan tilsætte farvepigmenter til beton med hvid eller grå cement og må da først og fremmest påse, at disse pigmenter er kalkægte, lysægte og bestandige. Det vil altid kræve stor omhu at få pigmentet blandet omhyggeligt, ensartet og i konstant mængde i betonen, og disse ulemper undgås ved brugen af farvede cementer, der her i landet fås i 9 standardfarver.

Den farvede betons kulør og hele karakter påvirkes naturligvis stærkt af de tilslagsmaterialer, man vælger, og den behandling, man giver overfladen, f.eks. slibning. En blotlægning af aggregaterne kan ske enten ved sandblæsning eller ved behandling af formen med en specialvæske, der forhindrer den alleryderste del af mørtelen i at binde af.

De almindelige danske tilslagsmaterialer er ikke særlig velegnede til farvet beton. Til sløbne produkter er forskellige marmorskærver og blødere stenarter velegnede, medens de hårdere stenarter som kvarts, porfyr, feldspat m. fl. kan bruges, hvis overfladen skal behandles på anden måde.

APPENDIKS

BETONTEKNOLOGISKE UDTRYK

Absolut volumen: Summen af de enkelte korns volumen i et materiale.

Svarer til ydre rumfang minus luftmellemrum.

Afbinding: Den stivnen eller størkning, der finder sted i beton nogle timer efter, at den er fremstillet.

Bakkematerialer: Betonmaterialer stammende fra grusgrav.

Bastarmørtel: En blanding af cement, læsket kalk, sand og vand.

Bearbejdelighed: Betons evne til ved bearbejdning at udfylde formen og omslutte armeringen.

Betongrus: Tilslagsmateriale bestående af sand og sten med største kornstørrelse ca. 10 mm.

Betonmaterialer: Cement, sand, grus, sten og vand, som bruges til fremstilling af beton.

Betonrecept, betonopskrift eller betonforskrift: Angivelse af de materialer og det blandingsforhold, hvori beton skal fremstilles.

Bindemiddel: Et materiale med evne til at hærde efter at det er udrørt med vand. Cement og læsket kalk er bindemidler.

Blandingsforhold: En angivelse af de indbyrdes mængdeforhold, hvori betonmaterialerne skal anvendes – i reglen med 1 del cement som udgangspunkt.

Cementdej eller cementpasta: Den blanding af cement og vand, som kitter sand- og stenkornene sammen i den færdige beton. Den kaldes også *kitmassen*.

Cementmørtel: En blanding af cement, sand og vand.

Cementslam: En tyndflydende blanding af cement og vand, som fremkommer på overfladen af for vandholdig beton.

Cementvælling: En tykflydende blanding af cement og vand.

Damphærdning: Behandling af f. eks. betonvarer med varm, fugtig luft for fremskyudelse af hærdeningen.

Filler: Meget fint materiale med kornstørrelse op til 0,125 mm.

Finhedsmodul: Et mål for et kornet materiales finhed – jo større finhedsmodul, des grovere materiale.

Gradering: Det samme som kornfordeling (se dette).

Grus: Et materiale bestående af sand og sten – enten som naturlig forekomst eller fremstillet ved blanding af sand og sten. Bruges også i betydningen »Betongrus«.

Grusgravsmateriale: Se »Bakkemateriale«.

Humussyre eller humus: En organisk syre, som optræder som forurening i sand eller grus, og som kan virke forstyrrende eller ødelæggende på cementens afbinding og hærdening.

Hydratisering: Cementens kemiske reaktion med vand.

Hydratiseringsvarme: Den varme, som udvikles ved cementens hydratisering.

Hærdening: Den proces, der foregår i beton efter at den er bundet af (se »Afbinding«), og som bevirker dens styrketilvækst.

Jordfugtig: Betegnelse for en meget tør betons konsistens.

Karbonatisering: Cementens reaktion med luftens kuldioxid.

Kalkmørtel: En blanding af læsket kalk, sand og vand.

Kitmasse: Se »Cementdej«.

Konsistens: Et mål, der giver et vist begreb om bearbejdeligheden.

For letbearbejdelig beton angives konsistensen ved sætmålet, medens konsistensen for stivere beton også angives i vebegrader.

Kornfordeling: Kornenes fordeling efter størrelse i et foreliggende materiale.

Kornform: Formen af sand- og stenkorn. Man taler om kubiske (omtrent terningformede), runde, aflange eller flade korn, samt om skarpkantede, normale eller afrundede korn.

Korngradering: Se »Kornfordeling«.

Kornkurve: Se »Sigtekurve«.

Kornstørrelse: Maskevidden i den fineste sigte, kornet kan passere.

Kornstørrelsesfordeling: Se »Kornfordeling«.

Kornvægtfylde: Forholdet mellem et materialekorns vægt og dets rumfang (inclusive kornets porer).

Krybning: Betonens plastiske deformation som følge af belastningen.

Litervægt: Vægten i kg pr. l af et materiale. Se også »Rumvægt«.

Lufttørt: Sand eller grus kaldes lufttørt, når det er tørret så meget i luften, at det kan sigtes. Det indeholder da gerne ½% vand, medens det tørret kraftigt på pande ikke indeholder vand.

Mørtel: Se »Cementmørtel«, »Kalkmørtel« og »Bastardmørtel«.

Neddykningskoefficient: Forholdet mellem et legemes vægt under vand og i luften.

Nøddesten: Handelsbetegnelse for en stensortering, som kan passere en 32 mm maskesigte, men ikke en 16 mm sigte.

Perlesten: Handelsbetegnelse for en stensortering, som kan passere en 8 mm maskesigte men ikke en 4 mm.

Puzzolan: Materiale, der indeholder reaktiv kiselsyre. Anvendes i fin-delt tilstand som tilsætning til cement og beton.

Ral: Sten mellem 20 og 100 mm skyllet op af havet.

Rumvægt: Vægten i kg pr. m³ eller i kg pr. l af et materiale, som f.eks. sand, sten, beton o.s.v.

Sand: Finkornet, i reglen naturligt forekommende tilslagsmateriale. Teoretisk regnes korn, som kan passere en 4 mm maskesigte, som sand – i praksis endnu ofte korn, der kan passere en 8 eller 10 mm sigte.

Sigte: Redskab til sortering efter størrelse af kornet materiale. Der regnes nu almindeligvis med trådsigter med kvadratiske huller, medens man tidligere brugte rundhulssigter (sold). Man regner med, at et rundt hul med diameter d vil lade de samme korn passere som en sigte med maskevidde 0,8 d.

Sigtekurve: En kurve optegnet i et sigtediagram visende hvor stor procent af et kornet materiale, der kan passere de forskellige sigter. Kurven angiver med andre ord kornfordelingen (se dette), og kaldes også »kornkurven«.

Singels: Handelsbetegnelse for en stensortering, som kan passere en 64 mm maskesigte, men ikke en 32 mm.

Skærver: Sten fremkommet ved kunstig sønderdeling af stenmateriale.

Skærvesand: Sand fremkommet ved kunstig sønderdeling af stenmateriale.

Sparesten: Meget store sten, som nedlægges i beton under dennes udstøbning og ikke er med i blandemaskinen.

Sten: Tilslagsmateriale over 4 mm.

Stemmel: Den fineste del af det materiale, der fremkommer ved knusning af sten.

Strandmaterialer: Se »Sømaterialer«.

Storkning: Se »Afbinding«.

Sveining: Se »Udvidelse«.

Svind: Betonens dimensionsændring ved udtørring.

Sætmål: Det stykke målt i cm, som en beton udstøbt i en sætmålskegle synker sammen efter afformningen.

Sætmålskegle: En 30 cm høj i begge ender åben keglestub af jernplade; nedre diameter 20 cm, øvre diameter 10 cm.

Sømaterialer: Tilslagsmaterialer stammende fra havbund eller strand.

Tilslag eller tilslagsmaterialer: Sand, grus og sten til betonfremstilling.

Udvidelse: Det, fugtigt sand fylder mere end samme sand i tør tilstand.

Måles i % af det tørre sands volumen, og den optagne fugtighed angives gerne i vægtprocent i forhold til det tørre sands vægt.

Vandcementtal eller vandcementforhold: Total vandmængde i betonen divideret med cementmængden, d.v.s. kg vand pr. kg cement.

Vebeapparat: Et apparat til måling af betons bearbejdelse og konsistens i vebegrader.

Vebegrader eller vebesekunder: Det antal sekunder, det tager for en i et vebeapparat udstøbt beton at synke sammen under apparatets vibrering.

Vægtfylde: Forholdet imellem et legemes vægt og dets absolutte rumfang. I betonteknologien anvendes »kornvægtfylden«; se denne.

Ærtesten: Handelsbetegnelse for en stensortering, som kan passere en 16 mm maskesigte, men ikke en 8 mm.

Cementfabrikkernes tekniske Oplysningskontor

der har udsendt denne bog, yder cementforbrugerne bistand i spørgsmål vedrørende anvendelsen af cement (beton, puds m. m.). Oplysningskontoret beskæftiger sig derimod ikke med dimensionering af jernbeton eller lignende opgaver, der hører ind under egentlig rådgivende ingeniørvirksomhed; kontoret afgiver heller ikke skøn eller oplysninger til brug i retssager.

Ønskes C.t.O.'s assistance, bedes henvendelse rettet til kontoret, Christians Brygge 28, København V, telefon C. 4685. C.t.O.'s ingeniører aflægger gerne besøg på byggepladser eller hos betonvarefabrikanter. På C.t.O.'s laboratorium foretages undersøgelse af eller forsøg med tilslagsmaterialer, og efter ønske afgives forslag til passende blandingsforhold. Endvidere foretages styrkeforsøg med indsendte prøvelegemer.

C.t.O.'s ingeniører holder efter aftale gerne foredrag eller deltager i gennemførelsen af kursus. Anmodning om assistance fra C.t.O. rettes til kontoret.

Hvis man ønsker tilslagsmaterialer undersøgt for kornkurve og renhed, bør omhyggeligt udtagne gennemsnitsprøver – se vejledningen i Betonbogen – forsvarligt emballerede, således at sammenblanding undgås, og tydeligt mærkede, sendes franco til adressen: C.t.O., Laboratoriet, Aalborg.

Anmodninger om undersøgelse sendes til kontoret i København med kopi til laboratoriet i Aalborg. I skrivelsen gives helst fyldige oplysninger om de indsendte materials oprindelsessteder.

Hvis man herudover ønsker forslag til blandingsforhold, må hver gennemsnitsprøve være på ca. 20 l og indsendelsen til laboratoriet ligeledes ske franco. I skrivelse til kontoret i København med kopi til laboratoriet gives ud over de ovenfor nævnte oplysninger også meddelelse om, hvilken styrke, bearbejdelighed, luftindhold m. m. man tilstræber hos betonen, samt om hvilken cement man har tænkt sig at anvende. Er indsenderen ikke klar over disse forhold, angives det formål, til hvilket betonen skal anvendes.

Drejer det sig om prøvelegemer, må de indsendes franco til laboratoriet i god tid før prøvningen, forsvarligt mærkede og emballerede – eventuelt under hensyntagen til »lagringen« under forsendelsen. Anmodning om prøvningen sendes til kontoret i København med kopi til laboratoriet i Aalborg indeholdende oplysninger om, hvorfra prøvelegemerne stammer, så fyldige oplysninger om fremstillingen som muligt, herunder støbedato og cementsort og *angivelse af på hvilke datoer, de ønskes prøvet*. Resultatet vil blive meddelt indsenderen og kun efter aftale med denne meddelt andre.

Den service, C.t.O. yder cementforbrugerne, er i almindelighed gratis.



I kommission hos Berlingske Forlag

Pris 10 kr.