

SBI  
BETONBEREGNER

POUL NERENST  
OG  
JOHS. LANDBO

STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT SÆRTRYK NR. 55

I KOMMISSION HOS TEKNISK FORLAG KØBENHAVN 1955



kk. 1 00827 P

# SBI BETONBEREGNER

CIVILINGENIØRERNE POUL NERENST OG JOHS. LANDBO

For at lette anvendelsen af rationelle betonproportioneringsmetoder i praksis, ikke mindst i forbindelse med vinterbyggeriet, udsender Statens Byggeforskningsinstitut nu ca. 1. februar en »betonberegner«, som gør det muligt — uden anvendelse af særlige hjælpemidler — ved en enkelt indstilling af beregneren at aflæse samtlige for proportioneringen nødvendige oplysninger. Desuden indeholder beregneren tabeller vedrørende opnåelse af frostsikkerhed og nødvendig hærdningstid for afformning ved betonstøbning om vinteren.

Beregneren består af et trefarvet plant plastichylster (format 10×15 cm) med en række ruder på for- og bagsiden. Indeni hylsteret glider en plasticskyder med påtrykte tabeller, og ved hver indstilling kommer sammenhørende værdier af tabellerne frem i ruderne.

Beregneren leveres i et kartonetui, hvorpå der er trykt en kortfattet »brugsanvisning« samt et par eksempler på anvendelsen.

Det er hensigten med nærværende artikel dels at udbrede kendskabet til beregnerens fremkomst, dels i noget større udstrækning, end det har været muligt på beregneren, at redegøre for forudsætningerne og mulighederne for dens brug.

## Proportionering.

Beregnerens forside med tabellerne 1—7 (se fig. 1) omhandler proportionering. For givne komprimeringsbetingelser og for en given cementtype afhænger betonens styrke stort set kun af forholdet  $v/c$ , d. v. s. af vægtforholdet mellem vandet og cementen i betonblandingen. Desuden er  $v/c$ -tallet af afgørende betydning for betonens egenskaber i andre henseender, f. eks. for tætheden, modstandsdygtigheden mod vejrliget o. s. v. Betonberegnerens tabel 1 — indgangstabellen — indeholder derfor forskellige værdier af styrker (20 cm terningtrykstyrker — lagring efter betonnormerne  $\text{EDSE 411}$ ), samt de tilsvarende værdier af  $v/c$ . De anførte styrker er uden sikkerhedstillæg, hvorfor der ved udførelse efter kontrolklasse A eller B (jfr.  $\text{EDSE 411}$ ) må proportioneres for styrker, der er henholdsvis 10 og 15 % højere end de foreskrevne. Vil man således opnå en middeltrykstyrke på 300 kg/cm<sup>2</sup> og er betonkontrollen efter klasse B, må der proportioneres for styrken:

$$300 + 15 \cdot 3 \approx 350 \text{ kg/cm}^2.$$

Ved indstilling af skyderen til den ønskede styrke + sikkerhedstillæg (evt. det krævede  $v/c$ -tal, hvor andre end styrkemæssige

hensyn er afgørende for proportioneringen) aflæses umiddelbart i ruderne svarende til tabel 2, 3, 4 eller 5 mængderne af bestanddele til 1 m<sup>3</sup> beton. Cementmængden fås i kg, den samlede grusmængde i kg, sandet, — d. v. s. den del af gruset, der falder gennem 4 mm □ sigten — i vægtprocent af den samlede grusmængde, vandet i liter og den evt. indblandede luftmængde som procent af den færdige betons rumfang.

I hver af de 4 tabeller kan aflæses mængderne svarende til 3 forskellige anvendte maksimale størrelser hhv. 16, 32 og 64 mm.

Hvilken af tabellerne man skal benytte, afhænger af:

1. Om der anvendes almindelig beton (tabel 2 og 3) eller luftindblandet beton (tabel 4 og 5).
2. Om der ved komprimeringen benyttes håndstamping (tabel 3 og 5) eller vibrering (tabel 2 og 4).

Luftindblanding i beton vinder efterhånden større og større udbredelse og har på flere måder en gunstig indflydelse på betonen. Med samme vandmængde og kun nogle få procents luftindhold opnås større bearbejdelighed, uden at styrken nedsættes væsentligt, og med et passende luftindhold kan betonen tåle frost efter kun 2 døgnshærdning. De procentvise luftmængder, som fremgår af tabel 4 og 5, svarer til de luftindhold, der er nødvendige for at opnå frostsikkerhed efter 2 døgn forløb.

Som værdier for konsistensen er

for almindelig beton valgt 12 cm sætmål svarende til håndstamping og 2 cm svarende til vibrering. Anvendes luftindblanding opnås samme konsistens med sætmål på hhv. 10 og 1 cm.

Såfremt man ønsker en anden konsistens end de i tabellen angivne, ændres vandtilsætningen med 2,5 l pr. m<sup>3</sup> beton for hver cm sætmålet ønskes ændret.

*Eks.* For en beton uden luftindblanding til håndstamping (sætmål 12 cm) med maksimal størrelse  $d_{\max} = 32$  mm finder man i tabel 3, at vandbehovet  $V = 185$  l/m<sup>3</sup>. Konstruktionernes dimensioner og armering tillader imidlertid anvendelse af en stivere konsistens (sætmål = 7 cm). Vandmængden kan derfor reduceres med  $(12-7) \cdot 2,5 = 12,5$  l, og den totale vandmængde bliver:  $185 - 12,5 \approx 172$  l/m<sup>3</sup>.

På etuiets forside er anført hvilke forudsætninger, der er regnet med i tabellerne, samt hvorledes man skal rette de opgivne mængder, hvis forudsætningerne ikke er overholdt. Således gælder de angivne grusmængder for tørre materialer med vægtfylde 2,60; tabellerne 6 og 7 er korrektionstabeller for hhv. vægtfylde og fugtighedsindhold. Endvidere er regnet med, at sandet, d. v. s. fraktionen fra 0,125 til 4 mm har finhedsmodul ca. 2,3, hvilket er en meget almindelig værdi for det betonsand, der anvendes her i landet. Sandets finhedsmodul:  $FM_{\text{sand}}$ , der er et bekvemt talmæssigt udtryk for korn-

# SBI BETONBEREGNER

## PROPORTIONERING

### 1 20 cm terningtrykstyrke — kg/cm<sup>2</sup>

v/c	v/c	almindelig Porland					hurtighærdende				
0,96	0,85	15	50	75	125	150	35	75	150	180	210
u. luft	m. luft	1 d.	3 d.	7 d.	14 d.	28 d.	1 d.	3 d.	7 d.	14 d.	28 d.

### 2 Almindelig beton — materialer til 1 m<sup>3</sup>

#### Stiv konsistens — sætmål ca. 2 cm

$d_{\max}$ 16 mm				$d_{\max}$ 32 mm				$d_{\max}$ 64 mm			
165	1990	52	160	155	2020	44	150	155	2020	42	150
cem. kg	grus kg	sand %	vand l	cem. kg	grus kg	sand %	vand l	cem. kg	grus kg	sand %	vand l

#### 3 Blød konsistens — sætmål ca. 12 cm

$d_{\max}$ 16 mm				$d_{\max}$ 32 mm				$d_{\max}$ 64 mm			
215	1850	55	205	195	1900	46	185	180	1940	44	175
cem. kg	grus kg	sand %	vand l	cem. kg	grus kg	sand %	vand l	cem. kg	grus kg	sand %	vand l

### 4 Luftindblandet frostsikker beton — materialer til 1 m<sup>3</sup>

#### Stiv konsistens — sætmål ca. 1 cm

$d_{\max}$ 16 mm				$d_{\max}$ 32 mm				$d_{\max}$ 64 mm						
150	1990	48	126	60	145	2020	40	124	50	150	2030	38	126	45
cem. kg	grus kg	sand %	vand l	luft. %	cem. kg	grus kg	sand %	vand l	luft. %	cem. kg	grus kg	sand %	vand l	luft. %

#### 5 Blød konsistens — sætmål ca. 10 cm

$d_{\max}$ 16 mm					$d_{\max}$ 32 mm					$d_{\max}$ 64 mm				
190	1900	51	164	50	175	1930	43	150	50	165	1990	41	143	45
cem. kg	grus kg	sand %	vand l	luft. %	cem. kg	grus kg	sand %	vand l	luft. %	cem. kg	grus kg	sand %	vand l	luft. %

### Korrektionstabeller

#### 6 Vægtfylde af grus

vægtfylde	2,50	2,55	2,60	2,65	2,70
faktor	0,96	0,98	1,00	1,02	1,04

#### 7 Fugtighed i grus

fugt %	1	2	3	5	10
faktor	1,01	1,02	1,03	1,05	1,10

Fig. 1: Forside af betonberegnerens plastichylster, format 10×15 cm. Inden i hylsteret findes en bevægelig plasticskyder.

størrelsesfordelingen, kan almindeligvis fås oplyst af grusleverandøren, eller beregnes efter sigtning af materialet, som angivet f. eks. i «Beton II» (D. I. F.'s arbejdsgruppe for beton og jernbeton, Teknisk Forlag 1950). En ændring på  $\pm 0,1$  af  $FM_{sand}$  giver en ændring af sandprocenterne på  $\pm 1\%$ . Normerne foreskriver, at sand, hvis finhedsmodul ligger udenfor området ca. 1,9–3,4, ikke bør anvendes til beton.

I praksis findes tilslagsmaterialerne imidlertid sjældent opdelt i sand med korndiameter mindre end 4 mm og sten indeholdende alle korn større end 4 mm. Som oftest får man leveret betongrus med største kornstørrelse 10–12 mm, samt en stenfraktion, hvor alle stenene har nogenlunde samme størrelse. Hvorledes proportioneringen da foretages, så at man netop får det ønskede sandindhold i tilslaget, ses af følgende eksempel:

Det leverede betongrus har et indhold af sand, d. v. s. af materiale, der falder gennem 4 mm □ sigten, på 86 vægtprocent. Endvidere indeholder de anvendte nøddesten så godt som ikke materiale under 8 mm □.

Er den samlede grusmængde, der skal anvendes til 1 m<sup>3</sup> beton, aflæst til G kg og sandprocenten til S %, skal der af betongruset bruges:  $\frac{S}{86} \cdot G$  kg, og af nøddestenene:  $\frac{86-S}{86} \cdot G$  kg.

Hvis  $FM_{sand} = 2,3$ , skal der for S anvendes det tal, der direkte aflæses af beregneren. Aflæses S = 40 % og er G fundet til f. eks. 1760 kg, skal der altså til 1 m<sup>3</sup> beton bruges:

$$\frac{40}{86} \cdot 1760 = 820 \text{ kg betongrus}$$

$$\text{og } \frac{86-40}{86} \cdot 1760 = \frac{46}{86} \cdot 1760 = 940 \text{ kg nøddesten.}$$

Med denne sammensætning vil man opnå, at vægten af de korn, der falder gennem 4 mm sigten, netop udgør 40 % af det samlede tilslags vægt.

Der gøres opmærksom på — som bemærket på beregnerens etui — at de mængder, der aflæses af beregnerens tabeller 2, 3, 4 og 5 kun er vejledende. Inden den pågældende beton skal udstøbes, bør man ved konstruktioner, hvor kvaliteten er af betydning, fremstille en prøveblanding, dels for at undersøge, om betonens konsistens bliver som tilstræbt, dels for om muligt ved knusning af prøvelegemer af kontrollere, om styrken holdes. Viser konsistensbestemmelsen, at sætmålet f. eks. er for lille, således at vandindholdet må forøges, må cementindholdet øges tilsvarende, for at v/c-tallet og styrken skal forblive uændrede.

Eks. Der proportioneres efter tabel 2, ønsket sætmål 12 cm, v/c = 0,51,  $d_{max} = 32$  cm.

En prøveblanding viser, at sætmålet er ca. 3 cm for lille; vandindholdet må forøges med  $3 \cdot 2,5 \approx 7$  l pr. m<sup>3</sup>, for at konsistensen bliver som ønsket.

Den ekstra cementmængde c, der skal tilsættes, findes af:

$$\frac{7}{c} = 0,51; \quad c = \frac{7}{0,51} = 14 \text{ kg.}$$

Idet beregneren giver C = 360 kg/m<sup>3</sup> og V = 185 l/m<sup>3</sup>, bliver de virkelige indhold: 360 + 14 = 374 kg cement pr. m<sup>3</sup> og 185 + 7 = 192 l vand pr. m<sup>3</sup>\*).

På skyderen er i skema 8 efter  $\approx DS = 411$  angivet de mindste tilladelige cementmængder pr. m<sup>3</sup>, samt de største tilladelige v/c-tal for forskellige anvendelser af beton, hvor ikke styrkemæssige hensyn kræver en lavere værdi.

\*) Ved helt nøjagtig proportionering må grusvægten ændres i overensstemmelse med cement- og vandændringerne.

På beregneren aflæses den samlede grusvægt G = 1790 kg. Grusrumfanget må formindskes ligeså meget som vand- og cementrumfanget forøges, d. v. s. med:  $7 + \frac{14}{3} = 12$  l, idet cements vægtfylde er ca. 3 kg/l.

Den virkelige grusvægt bliver da: 1790 — 12 · 2,6 = 1760 kg/m<sup>3</sup>. (Gruset vejer 2,60 kg/l).

8 Maksimale v/c-tal efter $\approx DS = 411$		
almindelig Portland-cement	jernbeton	varm. beton
1. indendørs beton i tørre lokaler .....	0.75 <sup>1)</sup>	1.00 <sup>1)</sup>
2. indendørs beton i fugtige lokaler eller beton helt under terræn, men ikke udsat for aggressivt eller strømmende vand .....	0.70 <sup>1)</sup>	1.00 <sup>1)</sup>
3. beton udsat for vejrliget eller helt omgivet af strømmende, ikke aggressivt vand .....	0.65 <sup>1)</sup>	0.80
4. beton i aggressivt grundvand eller udsat for ensidigt vandtryk, angreb af røg o. lign. eller beton helt under havvand .....	0.60	0.65
5. beton ved vandlinien i hav- eller ferskvand udsat for frost eller beton udstøbt under vand .....	0.55	0.60

Anvendes hurtighærdende cement, forøges tallene med 0.20.

<sup>1)</sup> Der kan ses bort herfra, når den anvendte cementmængde pr. m<sup>3</sup> for henholdsvis 1., 2. og 3. udgør mindst 250, 275 og 300 kg almindelig Portland-cement eller 225, 250 og 275 kg hurtighærdende cement.

<sup>2)</sup> For beton til kælder-mure, husbygning-fundamenter o. lign. kan v/c-tallet forøges til ca. 1.3 (1.5 for hurtighærdende cement), hvis kravene til betonen er ringe.

Mindste tilladelige cementmængder pr. m <sup>3</sup> beton		
cementtype	jernbeton	varm. beton
almindelig Portland .....	225 kg	150 kg
hurtighærdende .....	200 kg	135 kg

Fig. 2. Grænser for v/c-tal og cementindhold i henhold til normerne  $\approx DS = 411$ .

# BETONSTØBNING OM VINTEREN

9

## Frostsikkerhed

betontemperaturen afhænger af:	tabel 10 omfatter	
temperatur ved udstøbning	5° varmt grus + 5° varmt vand frostfrit grus + 60° varmt vand varmt grus + 60° varmt vand	betontemperatur + 5° C betontemperatur + 13° C betontemperatur + 20° C
varmeudvikling under hærning	cementtype cementmængde	almindelig Portland hurtighærdnende 150 kg/m <sup>3</sup> 300 kg/m <sup>3</sup>
varmetab til omgivelserne	isolering lufttemperatur art og dimension af konstruktion	forskalling alene (forsk.) halmmatte (h) halmmatte + presenning (h + p) + 1, + 5, -10° C pladetykkelse vægtykkelse

## 10 Mindste tykkelser $d_{min}$ for opnåelse af frostsikkerhed

Plader		Plader		Vægge		Vægge	
alm. Portland 300 kg/m <sup>3</sup>	hurtighærdn. 300 kg/m <sup>3</sup>	lufttemp. + 5° C		alm. Portland 150 kg/m <sup>3</sup>	300 kg/m <sup>3</sup>	alm. Portland 150 kg/m <sup>3</sup>	hurtighærdn. 300 kg/m <sup>3</sup>
isolering: h h + p	isolering: h h + p	betontemp. + 5° C		isolering: forsk. forsk.		isolering: forsk. forsk.	
$d_{min}$ $d_{min}$ 17 14 cm cm	$d_{min}$ $d_{min}$ 11 9 cm cm			$d_{min}$ $d_{min}$ 25 17 cm cm		$d_{min}$ $d_{min}$ 20 11 cm cm	
$d_{min}$ $d_{min}$ 12 10 cm cm	$d_{min}$ $d_{min}$ 9 8 cm cm		betontemp. + 13° C	$d_{min}$ $d_{min}$ 17 12 cm cm		$d_{min}$ $d_{min}$ 14 9 cm cm	
$d_{min}$ $d_{min}$ 8 cm cm	$d_{min}$ $d_{min}$ cm cm		betontemp. + 20° C	$d_{min}$ $d_{min}$ 14 8 cm cm		$d_{min}$ $d_{min}$ 11 cm cm	

11

## Afformning

### Nødvendig hærningstid ved 15° C for afformning

cementtype	sideform	underform (L = spændvidden)			
		L < 3 m	3 < L < 4 m	4 < L < 5 m	5 < L < 6 m
alm. Portland	3 døgn	7 døgn	11 døgn	15 døgn	19 døgn
hurtighærdn.	2 døgn	3 døgn	4 døgn	5 døgn	6 døgn

12

## Døgnværdier

betontemp. °C	-10-5	-5-0	0-3	3-7	7-10	10-15	15-20	20-25
døgnværdi	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1,2	1,7

## Betonstøbning om vinteren.

Betonberegnerens anden side, der omfatter tabellerne 9 til 12, omhandler betonstøbning om vinteren. Ved betonstøbning i kuldegrader rejser sig straks følgende spørgsmål: Hvilke foranstaltninger må træffes, for at betonen ikke ødelægges af frosten, medens hærningen foregår? Og da hærningsprocessen og dermed styrkeudviklingen forsinkes meget ved lave temperaturer: Hvornår kan der da afformes?

Som nævnt låler beton, hvori der er indblandet luft i en vis mængde, frost allerede efter 2 døgns hærning. Anvendes luftindblanding, skal man derfor blot forhindre, at betonens temperatur i dette tidsrum falder under nulpunktet. Betontemperaturen til enhver tid vil afhænge af:

1. Temperaturen ved udstøbning.
2. Den varmeudvikling, der finder sted under hærningen.
3. Varmetabet til omgivelserne.

1. Temperaturen ved udstøbning afhænger af materialernes temperatur og kan forøges f. eks. ved opvarmning af vandet, opvarmning af gruset eller begge dele.

2. Varmeudviklingen afhænger af cementmængden pr. m<sup>3</sup> samt af den anvendte cementtype; således er varmeudviklingen større for hurtighærdnende end for almindelig Portland-cement.

3. Varmetabet afhænger af luftens temperatur, konstruktionens art og dimensioner samt af den eventuelt anvendte isolering.

Desuden kunne der være tale om kunstigt at tilføre betonen varme, efter at udstøbningen har fundet sted; dette spørgsmål omfattes dog ikke af betonberegneren.

Tabel 9 og 10 (se fig. 2) omfatter frostsikkerhed af plader og vægge. I tabel 9 er skematisk opført de værdier af cementmængder pr. m<sup>3</sup>, former for isolering o. s. v., der indgår i den efterfølgende tabel 10.

Denne tabel benyttes på følgende måde: Man indstiller skyderen til den lufttemperatur, som man forventer at få i middel i de 2 første døgn efter støbningen; svarende til danske forhold er her valgt 3 temperaturer: -1, -5 og -10° C, imellem hvilke der let kan interpoleres.

Idet der er forudsat indblanding af luft i betonen i en procentvis mængde som angivet i tabel 4 eller 5, aflæses da umiddelbart i tabellen de mindste konstruktionstykkelser, der giver frostsikkerhed for de valgte passende kombinationer af cementmængde, isolering o. s. v. og for følgende 3 muligheder af betontemperaturen ved udstøbning: + 5° C, svarende til den temperatur, man kan forvente at opnå i forårs- og efterårsperioderne uden opvarmning af materialerne.

+ 13° C, svarende til anvendelse af 60° varmt vand og frostfrie materialer i ikke for streng vinter.

Fig. 3. Bagside af betonberegneren. Tabel 9 og 10 giver oplysning om de nødvendige konstruktionstykkelser for at opnå frostsikkerhed under givne omstændigheder. De nødvendige hærningstider, inden afformning kan tillades, kan beregnes af tabel 11 og 12.

+ 20 ° C, svarende til anvendelse af 60 ° varmt vand og varmt grus (f. eks. opvarmet med damp) i strenge vinterperioder.

Hvis den forekommende væg- eller pladetykkelse  $d$  er større end  $d_{\min}$  angivet af beregneren, er der frostsikkerhed. Blåt felt i tabellen betyder frostsikkerhed, uanset hvor lille den virkelige konstruktions-tykkelse er.

Tabel 11 og 12 omhandler det andet spørgsmål: Hvornår kan der afformes? Som nævnt forsinkes hærtningsprocessen væsentligt ved lavere temperaturer, hvorfor de nødvendige hærtningstider for afformning om vinteren er betydeligt længere end de tider, som normerne kræver for hærtning ved en konstant betontemperatur på +15° C. Disse hærtningstider er angivet skematisk i tabel 11 for såvel almindelig Portland- som for hurtighærtnende cement.

Den tilstrækkelige hærtningstid for afformning findes ved hjælp af tabel 12. Betonens middeltemperatur bestemmes hvert døgn ved jævnlig måling, og den tilsvarende »døgnværdi« noteres. Når disse »døgnværdier« sammenlagt når op på det af normerne krævede antal døgn — jfr. tabel 11 — kan der afformes.

Betontemperaturen måles på konstruktionens mest udsatte sted, d. v. s. det sted, hvor betonspændingerne bliver størst ved afformning.

Betonberegneren er udarbejdet på grundlag af SBI's anvisning nr. 17: »Betonstøbning om vinteren«, ~~EDS~~ 411 samt D. I. F.'s »Foreløbige retningslinier for fremstilling af luftindblandet beton«. I disse publikationer er angivet mere udførlige beregningsmetoder.

Betonberegneren — såvel som ovennævnte anvisninger — kan rekvireres hos Teknisk Forlag, V. Farimagsgade 31. Betonberegnerens pris er 2,00 kr.

PRIS KR. 2,—.

KROHN