

Foreløbig vejledning i

BETONSTØBNING OM VINTEREN

UDARBEJDET AF DANSK INGENIØRFORENING'S
ARBEJDSGRUPPE FOR BETON OG JERNBETON

00601 P
STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT

ex. 6
21 JULI 1988

BETONSTØBNING OM VINTEREN

Foreløbig vejledning i

BETONSTØBNING OM VINTEREN

Udarbejdet af

Dansk Ingeniørforenings arbejdsgruppe for beton og jernbeton

EFTERTRYK TILLADT, men kun med kildeangivelse og med udtrykkelig angivelse af, at denne vejledning er foreløbig.

Anden udgave

	Side
Forord	7
Vejledningens brug og gyldighed.....	9
I PRAKTISKE ANVISNINGER	11
Definitioner	13
Generelle bemærkninger.....	16
Temperaturforudsigelser	16
Kontrol	17
Temperaturer	17
Betonens kvalitet.....	18
Almindeligt	19
Egnede vinterstøbningsmaterialer	19
Cementer	19
Grus	19
Vand	20
Frostvædsker	21
Armering, forme, støbeskel m. m.....	21
Bestemmelse af afformningstidspunktet	21
Eksempel 1 (uden opvarmning)	23
Eksempel 2 (med opvarmning).....	23
Våd-lagring under størkning og hærdning	24
Støbning i udgravninger, fundamenter m. m.	25
Beskyttelse imod underfrysning.....	25
 A. Forholdsregler til sikring af betonens størkning og opnåelse af »frost-	
hårdhed«	26
Fremgangsmådens princip	26
Temperaturområder	27
Tø..... + 5° C til 0° C lufttemperatur	27
Let frost..... 0° C til ÷ 5° C lufttemperatur	28
Streng frost..... ÷ 5° C til ÷ 15° C lufttemperatur	30
Meget streng frost... ÷ 15° C lufttemperatur og derunder	31
Arbejdspladsens indretning.....	32
Almindeligt	32
Lagring og opvarmning af materialer	33
Cementen	33
Gruset	33
Uden opvarmning	33
Med opvarmning	34
I bunker	34
I siloer	35
Sparesten	35
Vandet	35

	Side
Tilsætning af frostvædske.....	36
a. Skæl	36
b. Opløsning	37
Blandemaskinen	37
Betontransport og støbning	38
Betonens tildækning efter støbningen.....	38
B. Forholdsregler for at sikre, at betonen efter størkningen hurtigt når sin normale styrke.....	39
Fremgangsmådens princip	39
Opvarmning af luften omkring bygværket.....	40
Eksempler	41
Huse med støbte dæk, murede vægge	41
Helstøbt betonhus m. m.....	42
Opvarmning af selve betonen.....	43
C. Bestemmelse af betonens opvarmningstemperatur.....	43
Betonens temperatur.....	43
Beregning af betonens begyndelsestemperatur.....	45
Eksempler	46
Delmaterialernes temperaturer	53
II TILLÆG	55
Indledning	57
Betons størkning og hærkning.....	57
Størkningstiden	57
Hærkningstiden	58
Cementmængdens betydning	58
Vandmængdens betydning	59
v/c-forholdets betydning	59
Varmetoning	59
Cementernes egnethed til vinterstøbning	59
Portland cement.....	60
S-cement og moler-cement	60
Hurtighærdnende cementer	60
Aluminatcement	62
Kemikalietilsætning (frostvædske)	62
Litteraturfortegnelse	65
III BILAG	71
no. 1. DS 411 § 14	73
no. 2. Rapporter	74
no. 3. Damp- og brændselsforbrug.....	78
no. 4. Statistiske oplysninger vedrørende temperatur	79
Index	81

Da beton- og jernbetonarbejder ikke uden særlige foranstaltninger kan udføres, når temperaturen nærmer sig frysepunktet, har man hidtil her i landet, bortset fra ganske enkelte undtagelser, indstillet disse arbejder i længere eller kortere perioder om vinteren, eftersom temperaturforholdene nu nødvendiggjorde det. Årsagen hertil har ikke så meget været af teknisk natur, thi betonstøbning om vinteren har i de sidste 20—30 år været almindelig i lande som U. S. A., Canada, Norge, Sverige, Finland og Rusland m. fl., snarere en vis tradition, hvorefter alt udendørs arbejde lå stille i frostperioder.

Efter at bl. a. Statens Byggeforskningsinstitut nu har rejst spørgsmålet om vinterbyggeriets betydning og har påpeget dets national-økonomiske perspektiver, har Dansk Ingeniørforenings Arbejdsgruppe for Beton og Jernbeton fundet det naturligt at foretage en undersøgelse*) af vinterstøbningens tekniske sider og har derfor den 16. december 1947 anmodet:

Anlægsdirektoratet,
 Dansk Formandsforening,
 Dansk Materialprøvningsforbund,
 De danske Betonfabrikker A/S,
 De Danske Statsbaner,
 Entreprenørforeningen,
 Ingeniørsammenslutningen,
 Jord- og Betonarbejdernes Fagforening,
 Københavns Murer- og Stenhuggerlaug,
 Stadsbygmesterens Direktorat,
 Stadsingeniørens Direktorat,
 Statens Byggeforskningsinstitut,
 Statsprøveanstalten,
 Teknologisk Institut og
 Vandbygningsvæsenet

om at lade sig repræsentere i et arbejdsudvalg, der nedsattes samme dag, og som kom til at bestå af:

*) DIF's eksisterende normer for vinterstøbning findes gengivet i bilag 1, side 73.

Johs. Andersen, afdelingsingeniør, cand. polyt., Statsprøveanstalten.
 M. Holst Jensen, civilingeniør, De danske Betonfabrikker A/S.
 A. Jeppesen, afdelingsingeniør, cand. polyt., Statsbanerne.
 Aage Magnussen, murermester, Københavns Murer- og Stenhuggerlaug.
 Sigurd Nicolajsen, jord- og betonarbejder, Jord- og Betonarbejdernes Fagf.
 M. P. Nielsen, entreprenør, ingeniør, Ingeniørsammenslutningen.
 Adolf Petersen, formand, Formandsforeningen.
 A. Taumose, afdelingsingeniør, cand. polyt., Magistratens 4. Afd.
 Niels M. Plum, forskningsleder, civilingeniør, udvalgets formand, Statens Byggeforskningsinstitut.

Til at udrede en række særlige problemer og fremkomme med et-udkast til praktiske anvisninger nedsatte udvalget en studiekreds bestående af:

civilingeniør Ove Tang Barfod,	civilingeniør Poul Møller-Sørensen,
civilingeniør Palle Bruun,	civilingeniør Poul Nerenst,
arkitekt Ove Gerner Hansen,	jord- og betonarbejder S. Nicolajsen,
civilingeniør Palle Hauch,	civilingeniør Erik Rastrup,
civilingeniør Robert Jenker,	civilingeniør Odd Steenberg,

der af sin midte valgte civilingeniør P. Møller-Sørensen som leder. Ingeniør Møller-Sørensen har derefter samtidig fungeret som udvalgets sekretær.

Studiekredsens udkast, der efter afleveringen er blevet bearbejdet af en redaktionskomité bestående af:

afdelingsingeniør, cand. polyt., Johs. Andersen,
 civilingeniør P. Møller-Sørensen og
 formanden, civilingeniør Niels M. Plum,

følger hosstående i den af udvalget som foreløbigt forslag den 20. august 1948 vedtagne form.

Vejledningens brug og gyldighed.

Det bemærkes:

dels, at vejledningen er delt i to dele:

I: *Praktiske anvisninger*, omfattende alene de for den praktiske arbejdsudførelse nødvendige oplysninger, og

II: *Tillæg*, hvori gives dels begrundelserne for det i I anførte og dels en række ekstra oplysninger samt litteraturhenvisninger for den, der måtte ønske at fordybe sig nærmere i stoffet,

dels, at vejledningen kun er *foreløbig* og fortrinsvis tænkt som en hjælp for de entreprenører og bygherrer, der i vinteren 1948/49 forsøgsvis ønsker at gennemføre vinterbyggeri.

Udvalget har ønsket at fremme sagen mest muligt, således at en *foreløbig* vejledning kunne foreligge inden vintersæsonen 1948/49. På grund af den korte tid der derfor har været til rådighed til stoffets indsamling og bearbejdning, har det ikke været udvalget muligt at få gennemarbejdet og gennemprøvet dette udkast i fuldt omfang.

Vejledningen må derfor anvendes med forsigtighed og under udførelse af skærpet kontrol og udvidet beredskab, specielt hvad angår direkte måling af den udstøbte betons temperaturvariationer under størkning og hærkning, således at bl. a. det størst mulige materiale til prøvning af figurerne på side 46—52 kan fremskaffes.

Til brug for den endelige affattelse af vejledningen, der om muligt påtænkes udgivet i sommeren 1949, efter at Statens Byggeforskningsinstitut har afsluttet sine vinterstøbningsforsøg, vil udvalget være taknemmelig for at modtage alle ændringsforslag og resultater af erfaringer, der måtte være gjort også uden for Statens Byggeforskningsinstitut, og som skønnes at være af betydning for den endelige udformning. Sådanne ændringsforslag og oplysninger bedes indsendt til Dansk Ingeniørforening eller Statens Byggeforskningsinstitut,

og dels, endelig, at anvisningerne alene beskæftiger sig med spørgsmålets betonteknologiske og tekniske sider, medens den økonomiske side af sagen afgøres af de kontraherende parter sig imellem.

Definitioner.

Såfremt betonens temperatur ved *udstøbningen* falder under frysepunktet, således at det vand, betonen indeholder, fryser, kan den ikke størkne (binde af), og i temperaturområdet mellem frysepunktet og $+ 5^{\circ} \text{C}$, foregår størkningen meget langsomt.

Når størkningen på normal måde er afsluttet, kan man derefter lade *hærdningen* foregå ved en hvilken som helst temperatur, hvis man blot for konstruktioner, der tidligt skal afformes og/eller belastes, tager i betragtning, at den styrke, der opnås efter 28 døgn, afhænger af temperaturen, således:

<i>Tabel 1.</i>	Hærdningstemperatur $+ 20^{\circ} \text{C}$	=	100 % styrke*)
	Hærdningstemperatur $+ 10^{\circ} \text{C}$	=	ca. 85 % »
	Hærdningstemperatur 0°C	=	» 65 % »
	Hærdningstemperatur $\div 10^{\circ} \text{C}$	=	» 35 % »

idet det dog må erindres, at *når der er tale om hærdningstemperaturer under 0°C , må betonen, inden dens temperatur kommer under 0°C , have nået en sådan »frosthårdhed«**), at den ikke beskadiges ved den udvidelse, vandet undergår, når det bliver til is.*

Uklarhed og ukendskab til de ovennævnte forhold — der først er blevet klart udredet i allerseneste år — har, sammen med ønsket om under alle omstændigheder at være godt og vel på den sikre side, ført til, at man i en række lande, hvor vinterstøbning har været praktiseret i årtier, har stillet det krav til støbning af beton om vinteren, at den skal opvarmes så meget og isoleres så længe, at

*) Se nærmere i tillæg side 58 og fig. 1, side 22.

***) Der gøres udtrykkeligt opmærksom på, at »frosthårdhed«, der betyder, at betonen i hærdningsperioden netop har nået en styrke, der kan modstå nogle få frysninger, ikke må forveksles med »frostfasthed« (eller »frostbestandighed«), der betyder, at betonen, efter at hærdningen er afsluttet, er i stand til at modstå et betydeligt antal frysninger.

fritbærende konstruktioner såsom plader og bjælker o. s. v. får tilstrækkelig styrke*) til, at de ved afformning i løbet af normal tid kan bære sig selv.

Dette krav er som nævnt betinget af ønsket om at være på den sikre side, men det er også nødvendigt for at kunne genanvende formene fra etage til etage, hvilket er en forudsætning for økonomisk vinter-etage-byggeri, og det vil også her i landet i en række tilfælde være på sin plads. Udvalget er imidlertid af den formening, at det vil være u hensigtsmæssigt at opretholde dette strenge krav i alle tilfælde, idet det ofte vil være tilstrækkeligt at hindre betonen i at tage frostskade under størkning og hærkning, men ikke stille det krav, at den skal have tilstrækkelig styrke til at kunne afformes i løbet af normal hærkningstid, idet man i mange tilfælde vil kunne lade stillads og forme blive stående gennem længere tid, således at hærkning vil kunne fuldendes uden særlige foranstaltninger.

Ved ikke-fritbærende konstruktioner, såsom fundamenter, vægge, søjler o. s. v., vil man således ofte blot behøve at kræve, at betonen:

- 1) har nået »frosthårdhed« og
- 2) har nået så megen mekanisk styrke (trækstyrke), at den kan tåle selve afformningen,

inden afformningen finder sted.

ad 1) Udvalget har ikke fra udlandet kunnet fremskaffe så pålidelige oplysninger, at man tør angive bestemte grænser for »frosthårdheden«, men mener, at man indtil nærmere forsøgsresultater foreligger, bør sætte den til: *mindst en fjerdedel af den normale 28 døgns styrke dog mindst 35 kg/cm²***) (terning-tryk-brudstyrke), og udfra denne forudsætning er figureerne side 46—52 beregnet.

*) Denne styrke afhænger af forholdet mellem hvilende og bevægelige belastning, og kan gennemsnitligt sættes til 50—60 % af den styrke, for hvilken konstruktionen er beregnet. Forholdet bør kontrolleres i hvert enkelt tilfælde, da det kan variere betydeligt. Hvor egenvægtsspændingerne er meget små, bør der dog altid forlanges en styrke af betonen på ca. 50 % af den, for hvilken konstruktionen er beregnet. Se iverigt side 21—23.

**) De forsøg, som udvalget har sat igang på Statsprøveanstalten, samt den kommende vinters erfaringer, håber man vil give fuldstændig klarhed inden udsendelsen af den endelige udgave af anvisningerne finder sted. Indtil denne afklaring har fundet sted, må forsigtighed tilrådes, således at man drager omsorg for, at betonen har den størst mulige styrke, inden den forudsættes at være »frosthård«.

ad 2) Heller ikke om tilladelig afformningsstyrke har der kunnet fremskaffes endelige oplysninger, men man mener at burde kræve for:

vandrette underflader:	trækstyrke 20 kg/cm ² ~
	trykstyrke 200 kg/cm ² ,
lodrette sideflader:	trækstyrke 5—10 kg/cm ² ~
	trykstyrke 50—100 kg/cm ² .

Det ses således, at afformningsstyrken for lodrette fladers vedkommende vil være omtrent sammenfaldende med »frosthårdheden«, så man i alle tilfælde er dækket ved anvendelse af figureerne side 46—52, samt at man for vandrette underflader må regne med en væsentlig større afformningsstyrke. Dette sidste får dog ingen større betydning, fordi konstruktionerne alligevel for at kunne bære sig selv ved afformningen skal have nået omtrent denne styrke.

Opmærksomheden skal dog henledes på, at spørgsmålet om hvornår man uden skade kan fjerne sideformene også afhænger af mange andre faktorer, såsom den anvendte forms glathed, den omhu, der udvises under afformningen, og hvilke sår i betonens overflade, der kan tillades.

Der kan dårligt opstilles almindelige regler for i hvilke tilfælde, man med fordel kan lade betonen fryse, såsnart den har nået »frosthårdhed«, og når man skal opvarme den efter dette tidspunkt; man må i hvert enkelt tilfælde, udfra kendskab til alle særlige forhold overveje, hvad der vil være fordelagtigst.

Der kan derimod opstilles følgende klare retningslinier for, hvornår de i de efterfølgende anvisninger omtalte forholdsregler skal sættes i kraft:

- a) når man alene ønsker uforstyrret størkning og opnåelse af »frosthårdhed«, og
- b) når man herefter ønsker at sikre, at betonen hurtigt opnår sin normale styrke.

ad a) De særlige foranstaltninger — der vil blive nærmere beskrevet i det følgende — skal være:

klare til iværksættelse:

såsnart man udfra meteorologiske målinger, vejrmeldinger eller andre erfaringer kan risikere, at døgnets laveste temperatur vil være under ca. + 5 ° C de første 3 døgn.

Selve iværksættelsen:

bør så finde sted, når den laveste lufttemperatur falder under $+ 5^{\circ} \text{C}$, og man har formodning om, at den enten (omend måske kun kortvarigt) vil falde helt ned under 0°C allerede indenfor det første døgn, eller at den de nærmeste tre døgn vil holde sig under $+ 3^{\circ} \text{C}$, og den

skal under alle omstændigheder finde sted, når lufttemperaturen falder under $+ 3^{\circ} \text{C}$, medmindre entreprenøren kan påvise, at betontemperaturen alligevel holder sig over $+ 5^{\circ} \text{C}$.

Angående foranstaltningernes varighed henvises til det følgende side 21 og 26—38.

- ad b) Spørgsmålet om fremskaffelse af højere hærdningstemperatur, efter at betonen har opnået »frosthårdhed«, er alene et spørgsmål om udførelsesøkonomi og kan, medmindre de særlige betingelser foreskriver andet, overlades til entreprenørens afgørelse. Se iøvrigt det følgende side 21 og 39—43.

Generelle bemærkninger.**Temperaturforudsigelser.**

Som det fremgår af det foregående, er det af største betydning for lederen af en byggeplads om vinteren at være orienteret om udsigterne for vejret i de nærmeste følgende dage, og hertil haves gode hjælpeklider.

Først er der Meteorologisk Instituts vejrmedlinger, der udarbejdes fire gange i døgnet og straks efter udarbejdelsen udsendes i radio, og dertil det fyldigere vejrkort, der udarbejdes een gang i døgnet og oplås forskellige steder, og som interesserede kan tegne abonnement på. Men dernæst kan enhver, der er interesseret i vejrudsigterne for et bestemt sted, ved telefonisk henvendelse til Meteorologisk Institut få fyldigere oplysninger om vejrforholdene og vejrudsigterne end der rummes i de korte, offentliggjorte vejrudsigter, således at han ved at sammenholde dette med sine egne iagttagelser har et rigtig godt grundlag for sine dispositioner.

Endelig er der i bilag 4, side 79, samlet nogle kortfattede statistiske oplysninger om de gennemsnitlige temperaturforhold her i landet om vinteren.

Kontrol.**Temperaturer.**

Som ved al anden betonstøbning bør der føres kontrol med og rapport over alle vigtigere forhold, der vedrører støbningen. Ved vinterstøbning bør man naturligvis i særlig grad holde kontrol med temperaturforholdene, og der henvises til vedføjede bilag 2, side 74; udkast til rapport for vinterstøbningsarbejder, hvoraf fremgår, hvad udvalget mener; det vil være nødvendigt at registrere — i hvert fald i begyndelsen så længe vinterstøbningen herhjemme endnu er på forsøgsstadiet*).

Som det fremgår af rapport-udkastet, må man nøje følge den udstøbte betons temperatur, især i de første 3 kritiske døgn, og dette gælder navnlig særlig udsatte eller meget spinkle konstruktioner. Ved indstøbning af 12 mm rundjernsstumper, der trækkes ud igen, så snart betonen er størknet, fås gruber i betonen, hvori et termometer kan indføres. Hvis termometeret ikke passer nøjagtigt i hullet, må der drages omsorg for tætning, således at luften ikke kan trænge ind i målegruben.

Med tilnærmelse kan man regne, at betonens temperatur falder nogenlunde retliniet fra den temperatur, den ifølge figurerne side 46—52 har i tildækningsøjeblikket, og ned til den temperatur på 5°C , som den forudsættes at have, når den har opnået »frosthårdhed«. Den tid »tildækningstiden« varer fremgår for hvert enkelt tilfælde af figurerne side 46—52.

Falder betontemperaturen på noget tidspunkt under det retliniede forløb, må man straks isolere den pågældende konstruktionsdel yderligere eller træffe foranstaltninger til dens opvarmning.

Lufttemperaturen måles med et almindeligt termometer, der hænges, så det er beskyttet imod sol og udstråling til himmelrummet og dog lader vinden stryge frit forbi.

*) Inden brugen bør man undersøge, om hvert enkelt termometer viser rigtigt. Termometrene skal, når de i fem minutter — under omrøring — har været nedsenket i en blanding af is og vand, vise nøjagtig 0°C .

Grusets temperatur måles ved indstikning (mindst 15 cm) af et robust, hurtigtreagerende termometer i bunken. Aflæsningen foretages, når søjlen er kommet i ro, dog tidligst efter 30 sekunders forløb.

Ved store byggeforetagender bør benyttes en termograf til måling af lufttemperaturen (41 K 1) (41—21)*).

Betonens kvalitet.

Betonens kvalitet vil som regel med tilstrækkelig nøjagtighed kunne kontrolleres ved hjælp af trykstyrken.

Ifølge normerne skal der ved fremstilling af beton efter klasse B (sædvanlig kontrol) støbes 3 prøvelegemer for hver 150 m³ samt del deraf, og det samme gælder ved klasse A (skærpet kontrol). idet der tilmed her kræves seks prøver til forudbestemmelse af betonens styrke.

Endvidere bestemmer normerne, at hvis man ønsker både 7 og 28 døgns styrker, skal der støbes tre prøvelegemer til hver prøvning, altså seks ialt, dog kan prøvningen af de sidste tre udelades, hvis styrken af de første i gennemsnit er over 80 % af den forlangte 28 døgns styrke.

For vinterstøbning vil disse bestemmelser som regel ikke være tilstrækkelige.

På grund af temperaturens hyppige skiften må der i tillæg til kravet om prøvning for hver 150 m³ kræves en prøvning, hver gang lufttemperaturen falder mere end 5 ° C. Hver prøvestøbning bør omfatte mindst seks prøvelegemer, hvoraf de tre — som af normerne forudsat — er beregnet til bestemmelsen af styrken efter kortere tid end 28 døgn for fastlæggelse af afformningstidspunktet. Da det ikke sjældent vil ske, at de tre første kort-tids-prøvelegemer viser for ringe styrke, og 28 døgns prøvelegemerne *aldrig* må prøves før efter 28 døgn, bør man ved vinterstøbning hver gang tage ni prøvelegemer, så man har tre ekstra kort-tids-prøvelegemer.

Prøvelegemerne kan være terninger eller bjælker, som i normerne nærmere angivet. Kort-tids-prøvelegemerne opbevares tæt ind til den virkelige konstruktion og isoleres (og evt. opvarmes) på nøjagtig samme måde som denne. 28 døgns prøvelegemerne opbevares som angivet i jernbetonnormerne.

*) Numrene refererer til litteraturfortegnelsen, side 65.

Almindeligt.

Det gælder ved al betonstøbning, at man ikke på grund af uforudsete vanskeligheder under arbejdets udførelse må løbe nogen risiko, men skal erindre, at de øjeblikkelige problemer, hvor store de end kan forekomme, er ret små sammenlignet med betydningen af bygværkets gode udførelse, som skal sætte det i stand til at leve mindst hundrede gange byggeperiodens varighed.

Ved vinterstøbning er denne omhu særlig aktuell, idet en enkelt efterladdenhed kan betyde, at betonen bliver frostskaadet, omend måske ikke i en sådan grad, at det viser sig inden afleveringen, men dog således, at konstruktionens holdbarhed forringes betydeligt, og der er derfor anledning til at understrege, at nok kan det lade sig gøre at støbe i frostvejr, men *kun* hvis man — som f. eks. angivet i det følgende — omhyggeligt tager de rette forholdsregler.

Egnede vinterstøbningmaterialer.

Cementer.

Almindelig Portland- og Rapidcement er, hvis den er frisk, så dens størkningstid er kort, velegnet til vinterstøbning. Det tilrådes altid at anstille forsøg angående størkningstiden. Se mere herom i tillægget side 57 og 60.

Ved anvendelse af varm beton opstår der en vis fare for, at cementen skal blive alt for hurtigt størknende, det bør derfor tilrådes, at betonens temperatur, når den forlader blandemaskinen, ikke overstiger:

<i>Tabel 2.</i>	40 ° C ved anvendelse af Portlandcement
	25 ° C ved anvendelse af Rapidcement

og nærmer man sig disse grænser, bør man anstille forsøg over størkningstiden. Se tillæg side 60.

Angående egnetheden af andre cementer, samt særlige forhold ved leveringen etc. henvises til tillægget side 60.

Grus (sand og sten).

Ved valg af grus til vinterstøbning af beton er det af særlig betydning, at dette er af bedst mulig kvalitet og uden cementskadelige stoffer. Det må tilrådes at lade foretage sammenlignende styrke-

undersøgelser af cementmørtler fremstillet dels under anvendelse af de materialer, der påtænkes benyttet, dels af anerkendte gode materialer, thi de almindeligt benyttede bestemmelser af humus og ler er ikke her tilstrækkelige.

Selv en mindre hæmning af cementens reaktion med vand, der i almindelighed er af ringe betydning, kan i koldt vejr, hvor det gælder om at få processerne fremskyndet, inden frosten kommer, være stærkt medvirkende til et dårligt resultat.

Porøse sten, såsom visse kalksten, er altid uheldige i beton, og dette gælder i særlig grad i beton, der anvendes til vinterstøbning, idet disse vandmættede sten ved frysning kan beskadige betonen*).

Ved betonstøbning i frostvejr må man derfor vise særlig omhu ved valg af materialer; således er strandmaterialerne at foretrække fremfor bakkematerialer, da strandmaterialer indeholder færre urenheder (som f. eks. humussyre o. lign.) og færre bløde kalksten, og fordi de på grund af et vist indhold af kogsalt — omend kun i ringe grad —, medvirker til at nedsætte betonvandets frysepunkt.

Fillermaterialer benyttet i en passende mængde nedsætter ikke betonens styrke, tværtimod**).

Findelt ler kan optræde som filler, men på grund af dets kolloidale (meget lille) kornstørrelse er lerpartiklerne stærkt tilbøjelige til på deres overflade at binde cementskadelige stoffer, der er vanskeligt påviselige, men har en betydelig skadelig virkning, navnlig ved vinterstøbning.

Vand.

Kravene til vand ved vinterstøbning er de samme, som man bør stille ved almindelig støbning.

Det bør erindres, at vandets varmfylde er ca. fem gange så stor som tørstoffernes, d. v. s. at man ved at opvarme 1 kg vand f. eks. 10 grader kan tilføre betonen fem gange så meget varme som ved at opvarme 1 kg grus de samme ti grader.

Da det samtidig er billigere og bekvemt at tilføre vandet en given varmemængde, vil det forstås, dels at man først og fremmest skal

*) Dette gælder ikke alene under arbejdets udførelse, men også efter hærkning, hvis betonen i våd tilstand udsættes for vekslende frost og tø.

***) Forsåvidt filler virker modsat »air entrainment« er det muligt, at den større tæthed, brugen af det medfører, nedsætter betonens holdbarhed overfor vekslende frost og tø.

opvarme vandet, dels at hvis man derimod opvarmer tørstofferne vil vand, der er koldere end betonens middeltemperatur, sluge uforholdsmæssig meget af tørstoffernes varme.

Frostvædsker.

Der henvises til tillægget side 36 samt side 62.

Armering, forme, støbeskel m. m.

Under arbejdet med formene og jernene bør man i tilfælde af snevejr dække arbejdspladsen omhyggeligt til, for at bjælke- og søjleforme ikke skal fyge til med sne, og for at der ikke skal danne sig is på jernene.

Inden støbningen skal jern og forme være rensed for is og sne, og armeringen bør samtidig — når lufttemperaturen er under 0°C — opvarmes til over 0°C . Rensningen og opvarmningen sker bedst med varmt vand — hvor det kan lade sig gøre at bortlede det — ellers med dampstråle.

For at få god forbindelse med tidligere udstøbt beton er det af meget stor betydning, at denne er opvarmet til mindst $+5^{\circ}\text{C}$. Har den gamle beton en temperatur omkring frysepunktet, bliver der ingen sammenhæng i støbeskellet.

Ved vinterstøbning bør man *ikke* anvende jernforme.

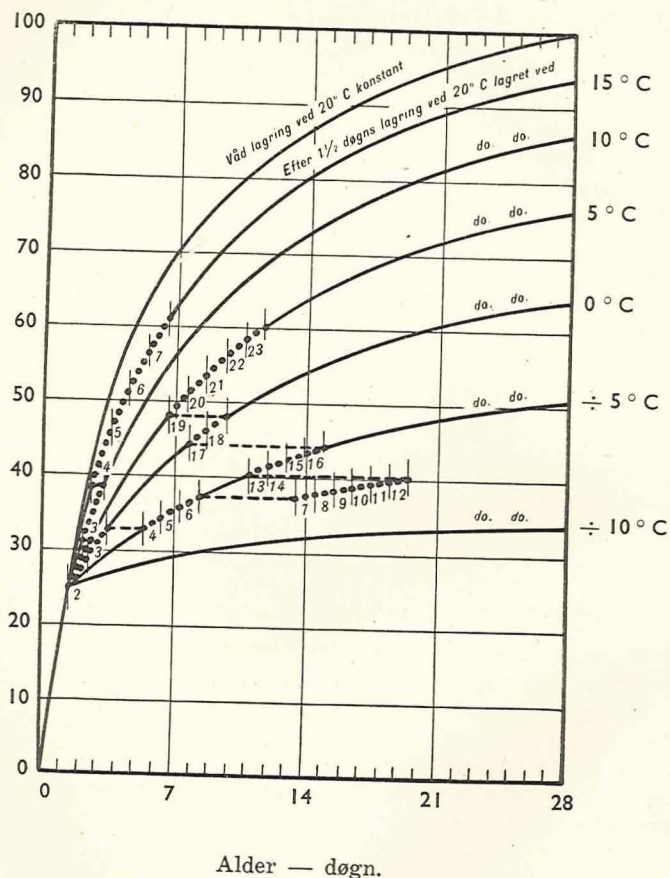
Bestemmelse af afformningstidspunktet.

For at konstruktionen skal kunne tåle afformning, må den have nået en styrke, der svarer til den af egenvægten (plus den forekommende bevægelige belastning) fremkaldte spænding multipliceret med sikkerhedsgraden, og denne spænding tillige med den, der svarer til fuld belastning, må af den projekterende udregnes og anføres på tegningerne, tillige med deres indbyrdes forhold angivet i procent (se iøvrigt side 14). Forbliver konstruktionen ca. 20°C varm, og holdes den passende fugtig, bør den kunne nå den til fuld belastning svarende styrke på 28 døgn.

Er lagringstemperaturen, efter at betonen har nået »frosthårdhed«, en anden, vil den opnå så mange procent af den fulde styrke, som kurverne i fig. 1 angiver, idet det stadig forudsættes, at den holdes godt våd (se side 23—24).

Beton-terning-brud-styrke — % af normal 28 døgns styrke ved 20 ° våd-lagring.

Fig. 1.



Angående de med prikker indtegnede eksempler henvises til teksten.

Diagrammet modsvarer middel jernbeton forhold. Der må i specielle tilfælde forudses ikke ubetydelige afvigelser.

I praksis vil hærningstemperaturen sjældent være konstant, og den virkelige styrkeudvikling vil derfor forløbe uensartet, men man vil med god tilnærmelse af figuren, som vist i det indtegnede eksempel, være i stand til at få en orientering om styrken efter et hvilket som helst tidspunkt.

Eksempel 1 (uden opvarmning).

Tabel 3.

Ca. 1½ døgn ved 20 ° C betontemperatur.....	ca. 25 % styrke,
herefter 2 døgn ved 0 ° C, ialt 3½ døgn	» 33 % »
» 3 » » ÷ 5 ° C, » 6½ »	» 38 % »
» 6 » » ÷ 7½ ° C, » 12½ »	» 41 % »
» 4 » » ÷ 5 ° C, » 16½ »	» 44 % »
» 2 » » 0 ° C, » 18½ »	» 48 % »
endelig 5 » » + 5 ° C, » 23½ »	» 60 % »

Er det f. eks. foreskrevet, at afformningsstyrken skal være mindst 50 % af den fulde styrke, findes i dette tilfælde, at afformningen kan finde sted efter 19 dage; er procenten 60, vil der kræves 24 dage.

Eksempel 2 (med opvarmning).

Tabel 4.

Ca. 1½ døgn ved 20 ° C betontemperatur.....	ca. 25 % styrke,
herefter opvarmning af luften omkring betonen til 15 ° C. Betonstyrken burde her uden videre følge kurven mærket + 15 ° C i fig. 1, hvorved f. eks. 60 % styrke ville opnås i løbet af 6½ døgn, men ved så store temperaturspring — og i det hele taget altid, når temperaturen ændrer sig mere end 5 ° C — må man regne med, at betonen ikke straks kan antage luftens temperatur og bør f. eks. regne med	

endnu 1 døgn ved + 5 ° C, ialt 2½ døgn	ca. 31 % styrke,
derefter 1 » » + 10 ° C, » 3½ »	» 38 % »
endelig 4 » » + 15 ° C, » 7½ »	» 61 % »

Det bemærkes, at en foreskreven afformningsstyrke på 60 % vil nås allerede i løbet af syv døgn, samt at betonens langsomme tilpasning til lufttemperaturen har forlænget hærningstiden 1 døgn.

Da kurverne i fig. 1 angiver middelværdier, må de anvendes med nogen forsigtighed, og ønsker man mere pålidelige tal, må man knuse

prøver, der er lagret sammen med den virkelige konstruktion. Se nærmere side 18.

Der gøres slutteligt udtrykkeligt opmærksom på, at disse beregninger af afformningstidspunktet kun tager sigte på tilstrækkelig styrke og ikke kan tages som garanti for, at de elastiske, endsige de plastiske, nedbøjninger er mindre end tilladeligt.

Våd-lagring under størkning og hærkning.

Det er fra den almindelige betonteknologi velkendt, at beton kræver en omhyggelig beskyttelse imod fordampning, for at den kan opnå sin fulde styrke.

Ved vinterstøbning er dette særlig vigtigt og samtidig særlig vanskeligt at gennemføre, fordi den opvarmede luft om vinteren uden særlige foranstaltninger (conditionering) er meget tør*).

Når betonen er varm, vil dens vand fordampe væsentligt hurtigere end normalt, og det må derfor være en ufravigelig regel, at man altid samtidig med varmen tilfører betonen fugtighed eller på særlig måde hindrer den tilstedeværende fugtighed i at forsvinde.

Lader man betonen fryse, når den er blevet »frosthård«, må man huske meget rigelig vanding, når det bliver tøvej, thi man skal ikke alene sikre fordampning under hærkningen i tøvejret, men også tilføre betonen den fugtighed, der er gået tabt ved, at en del af dens frosne vandindhold er fordampet i frostperioden.

Opvarmer man betonen i hærkningsperioden, bør dette helst ske med damp, der samtidig tilfører fugtighed. Anvendes tør varme, må store fordampningskar, der stadig holdes fyldte, anbringes på varmegiverne. *Betonens temperatur må da ikke komme over + 25 ° C for at undgå udtørring.*

Det vil altid være meget vanskeligt at få betonen til at genoptage eventuelt fordampet fugtighed med de midler, der her — hvor almin-

*) Amerikanske forsøg har vist, at beton, der en overgang har været lagret koldt, når den senere igen lagres i varmt vand, opnår 100—90 % af sin normale styrke, medens samme beton, når den senere lagres i varm luft med 55 % rel. fugtighed, kun opnår 90—35 % af sin normale styrke (34 T 3).

delig vanding som regel ikke kan gennemføres — kan bringes i anvendelse, og det må derfor anbefales, at man såvidt gørligt ved påsprøjtning af en vandtæt hinde lige efter udstøbningen sikrer, at intet vand fordampes (39 K 1) (40 S 1) (42 B 4) (44 V 1) (46 B 5).

Støbning i udgravninger, fundamenter m. m.

Støbning af fundamenter på og mod frossen jord kan ikke tillades.

Skal man støbe fundamenter i kuldeperioder, bør man udstøbe betonen straks efter udgravningen, idet den af betonen udviklede varme i almindelighed kan holde fundamentet fri for skadelig kuldepåvirkning.

Er man i den situation, at man har gravet fundamentsrender og ikke fået dem udstøbt, inden frosten sætter ind, er der 3 muligheder:

- 1) Afvente tøvejrets indtræden.
- 2) Optø jorden. Man kan ved presenninger overdække renden og opvarme den ved hjælp af damp, indtil frosten er borte. Metoden kræver et meget omhyggeligt tilsyn med, at jorden under fundamentet er optøet helt ned, da man har eksempler på, at man får sætninger om foråret, hvis kun 10—20 cm er optøet.
- 3) Vil man undgå opvarmning, kan man gå frem efter følgende metode: Der udgraves til frostfri dybde i den frosne jord og udstøbes grovbeton i tilstrækkelig bredde straks.

Med hensyn til siderne bør man for at være helt sikker benytte forme, dels for at forhindre jorden i at skride sammen og dels for at isolere, så betonen ikke afgiver varme til den omgivende frosne jord.

Beskyttelse imod underfrysning.

Såsnart det er gørligt, bør fundamentssiderne afformes og jorden tilkastes, for at ikke frosten skal arbejde sig ned under fundamenterne og forårsage løftninger, der helt kan ødelægge disse.

Ønskes jorden ikke benyttet, må man midlertidigt fylde udgravningen op med andre eventuelle fyldstoffer som f. eks. halm, tang, spåner, tørt sand eller lignende. Drejer det sig om kælderetager, bør man, såsnart stuegulvet er lagt, tildække alle vindues- og døråbninger med presenninger, måtter eller bræddeflager og i og efter særlig kolde perioder anbringe et par koksgrøder i kælderetagen. Opmærksomheden skal også henledes på faren for, at frosten kan gå ned gennem allerede udstøbte og hærdnende fundamenter, hvis disse ikke har tilstrækkelig højde.

Ved mindre højde af fundamenterne, eller ved særlige ugunstige forhold, må fornøden tildækning af fundamenterne finde sted.

Der syndes utroligt meget imod disse simple foranstaltninger i almindelig praksis idag, hvilket har haft ganske betydelige skader til følge, som det delvis er umuligt at udbedre tilfredsstillende, og det skal derfor anbefales, at man ikke undlader disse sikkerhedsforanstaltninger ved alt *efterårs-* og *vinterbyggeri*.

A. Forholdsregler til sikring af betonens styrkning og opnåelse af »frosthårdhed«.

I dette afsnit behandles alene de forholdsregler, der i betonens første to-tre døgn må træffes for at sikre, at den ikke fryser, før den har nået »frosthårdhed«. Vedrørende kontrol af den udstøbte betons temperatur henvises til side 17.

Som tidligere nævnt kan man herefter frit vælge hærdningsomstændighederne, d. v. s. om man f. eks. skal lade den fryse indtil foråret, eller man kunstigt skal opvarme den for hurtigere at få den normale styrke frem. I et følgende afsnit (side 39) vil der blive nærmere redegjort for, hvilke forholdsregler dette sidste kræver.

Fremgangsmådens princip (41 K 1).

Såvidt det overhovedet er muligt, bør sikringen af betonens »frosthårdhed« ikke ske ved kostbar indbygning og opvarmning af konstruktionen, men *alene ved at opvarme betonmaterialerne så meget inden udstøbningen, at denne varme tillige med den kemiske varme, der udvikles under styrkningen og under begyndelsen af hærd-*

ningen, er tilstrækkelig til, ved anvendelse af passende isolering, at holde betonen frostfri, til den har nået »frosthårdhed«.

I afsnit C, side 43—53, findes angivet figurer, der viser den temperatur, betonen under visse forudsætninger bør have for at svare hertil. Vi skal senere komme tilbage til disse figurer samt til spørgsmålet om, hvorledes disse betontemperaturer opnås; her skal blot, inden vi går over til beskrivelsen af de praktiske forhold, nævnes, at det, alt andet lige, almindeligvis er billigere at isolere meget og opvarme mindre end omvendt.

Temperaturområder.

Af hensyn til anvisningernes praktiske anvendelse er det naturligt at opdele lufttemperaturerne under $+ 5^{\circ} \text{C}$ i fire områder:

Tabel 5.	Tø	$+ 5^{\circ} \text{C}$ til 0°C
	Let frost	0°C » ÷ 5°C
	Streng frost	÷ 5°C » ÷ 15°C
	Meget streng frost.....	÷ 15°C og derunder

som behandles hver for sig.

Tø: $+ 5^{\circ} \text{C}$ til 0°C lufttemperatur.

De forholdsregler, der her skal bringes i anvendelse, er:

Tabel 6. Isolation af vandledninger og beholdere. Hvis dette er vanskeligt at iværksætte, kan man klare sig med omhyggelig tømning af hele vandanlægget hver nat og ved hvert stop i støbningen.

Tilsætning af frostvædske, hvis en sådan efter forholdene må anvendes*). (Denne forholdsregel vil som regel alene, d. v. s. uden opvarmning af støbevandet, være fyldestgørende, indtil lufttemperaturen falder under ca. $+ 3^{\circ} \text{C}$).

Opvarmning af vandet. (Når lufttemperaturen falder under ca. $+ 3^{\circ} \text{C}$, eller hvis frostvædske ikke må anvendes).

Isolation af den udstøbte beton.

Vedrørende nærmere beskrivelse af de enkelte forholdsregler henvises til side 32—39.

*) Se side 62—63 vedrørende fordele og ulemper ved anvendelse af frostvædske.

Da det ved en overfladisk betragtning kan synes ret overflødigt overhovedet at foretage noget særligt, når luft- og betontemperaturen er over 0°C , er det måske på sin plads her at gentage, at omend betonen ikke ødelægges i dette temperaturområde, selv om man intet foretager sig, så foregår størkning og hærkning alligevel så langsomt, at der må foretages noget for at fremme dem, idet det kan indebære betydelig risiko med hensyn til mekanisk overlast, for ikke at tale om pludselig frost, at have beton liggende i denne udsatte tilstand.

Opvarmningen af vandet*) samt tilsætningen af frostvædske virker fremmende på de kemiske processer, så størkningen forløber hurtigt. Isolationen skal dels virke til at holde på den udviklede varme og dels til at beskytte inod uventet nattefrost.

Til iværksættelse af ovenstående forholdsregler kræves følgende materiel og materialer:

<i>Tabel 7.</i>	Frostvædske (eventuelt**).
	Beholder og målebeholder til samme.
	Lokomobil eller lille kedelanlæg.
	Varmtvandsbeholder, ekstra rør og isolationsmaterialer.
	Halmmåtter, presenninger og løs halm.
	Brændsel***).

Vedrørende nærmere beskrivelse af materiellet se side 32—39.

Let frost: 0°C til $\div 5^{\circ}\text{C}$ lufttemperatur.

De forholdsregler, der her skal bringes i anvendelse, er:

<i>Tabel 8.</i>	Tildækning af materialer.
	Isolation af vandledninger og beholdere.
	Tilsætning af frostvædske, hvis en sådan efter forholdene må anvendes.
	Opvarmning af vandet (eventuelt også sandet).
	Is og sne fjernes fra formene.
	Blandemaskinen overdækkes.
	Isolation af den udstøbte beton.

*) Se tabellerne side 53.

**) Angående medgående mængder se side 36.

***) Angående medgående mængder se side 78.

Vedrørende nærmere beskrivelse af de enkelte forholdsregler henvises til side 32—39.

På grund af de i cementen indeholdte salte, der opløses i betonvandet, fryser dette først ved ca. $\div 3^{\circ}\text{C}$. Når man hertil ekstra sætter frostvædske, falder frysepunktet yderligere, således at der i dette temperaturområde ikke er nogen større risiko for, at betonen bliver ødelagt af frost.

De foreslåede forholdsregler tager da også først og fremmest sigte på at fremme størknings- og hærkningsprocesserne, der ellers i dette temperaturområde ville foregå overordentligt langsomt, med de samme ubehagelige følger som beskrevet i forrige afsnit.

For de fleste normale konstruktioner vil der ikke kræves højere begyndelsestemperatur for betonen, end at denne kan nås ved opvarmning af vandet alene. (Sammenlign tabellerne side 53). Er dette i særlige tilfælde ikke tilstrækkeligt, eller hvis gruset indeholder is, må også sandet opvarmes. Dette kan ske ved forskellige simple anordninger som side 34 nærmere beskrevet.

Alle vandledninger må isoleres og tømmes ved længere stop.

Med varmt vand eller damp rengøres alle forme samt armeringen inden støbningen. Støbes imod ældre beton, må dennes overflade opvarmes til mindst $+ 5^{\circ}\text{C}$. Angående støbning på jord og i render se side 25.

Isolationen skal udføres som forudsat i figurerne side 46—52. Den skal henligge urørt i mindst tre døgn.

Iøvrigt iværksættes de »almindelige foranstaltninger«, der er beskrevet side 32, samt de under foranstående temperaturområde beskrevne foranstaltninger, forsåvidt de ikke er i modstrid med ovenstående.

Til iværksættelse af de ovennævnte forholdsregler kræves følgende materialer og materiel:

<i>Tabel 9.</i>	Bræddeunderlag for sand og sten.
	Bræddeflager eller måtter til tildækning do.
	Rørslanger eller røgkanal under sandet.
	Isolationsmaterialer til vandvær og beholdere.
	Frostvædske (eventuelt*).

*) Angående medgående mængder se side 36.

Beholder og målekar til samme.
 Lokomobil eller lille kedelanlæg.
 Diverse dampslanger og rør.
 Varmtvandsbeholder, ekstra rør og isolationsmaterialer.
 Halvtag over blandemaskinen.
 Halmmåtter, presenninger og løs halm.
 Brændsel*).

Streng frost: ÷ 5 ° C til ÷ 15 ° C.

De forholdsregler, der her skal bringes i anvendelse, er:

Tabel 10. Materialerne opbevares i siloer.
 Isolation af vandledninger og beholdere.
 Tilsætning af frostvædske, hvis en sådan efter forholdene må anvendes.
 Opvarmning af alle materialer (excl. cement).
 Is og sne fjernes fra forme, og armering opvarmes til over 0 ° C.
 Blandemaskine indbygges.
 Transportmateriel isoleres.
 Isolation af den udstøbte beton.
 Materiel til opvarmning af den udstøbte beton holdes i beredskab.

Vedrørende nærmere beskrivelse af de enkelte forholdsregler henvises til side 32—39.

I dette temperaturområde vil betonen uvægerligt, selv om man anvender frostvædske, fryse og ødelægges i størkningsperioden, hvis man ikke træffer særlige foranstaltninger til opvarmning og isolation.

Alle materialerne med undtagelse af cementen må som regel opvarmes**). For vandets vedkommende sker det, som nærmere beskrevet side 35, og for grusets vedkommende ved hjælp af varmeslanger som omtalt side 34. Opvarmning af sandet ved de senere nævnte mere primitive metoder kan ikke tilrådes i dette temperaturområde.

Ved rengøringen af formene bør anvendes varmt vand eller dampstråler, og jernene må herved bibringes en temperatur over 0 ° C.

*) Angående medgående mængder se side 78.

***) Se tabellerne side 53.

For at undgå for store varmetab under blanding og transport bør blandemaskinen indbygges i et rum, der opvarmes til mindst 0 ° C, og transportmidlet (børe, tipvogne, spande etc.) bør overdækkes og isoleres på sider og bund.

For at kunne imødegå frostfare forårsaget af uforudsete temperaturfald eller uheld må det meget tilrådes, at man har nødtørftigt opvarmningsmateriel af samme slags som det under B, side 40, omtalte i beredskab. Der må drages nøje omsorg for, at den udstøbte betons temperatur stadig kontrolleres, vedrørende denne kontrol henvises til side 17.

Iøvrigt iværksættes de »almindelige foranstaltninger«, der er beskrevet side 32, samt de under de ovenfor behandlede temperatur-områder nævnte forholdsregler, for så vidt de ikke er i modstrid med ovenstående.

Til iværksættelse af ovenstående kræves følgende materialer og materiel:

Tabel 11. Isolerede siloer eller overbygning af bunker.
 Rørslanger.
 Isolationsmaterialer til vandrør og beholdere.
 Frostvædske (eventuelt*).*
 Beholder og målekar til samme.
 Kedelanlæg.
 Diverse dampslanger og rør med isolation.
 Varmtvandsbeholder, ekstra rør og isolation.
 Hus om blandemaskinen.
 Isolerede transportredskaber.
 Halmmåtter, presenninger og løs halm.
 Koksgrøder.
 Brændsel**).

Meget streng frost: ÷ 15 ° C og derunder.

Det må i almindelighed frarådes at støbe, når temperaturen nærmer sig de ÷ 15 ° C, og man bør koncentrere kræfterne om at holde eventuel nystøbt beton frostfri.

*) Angående medgående mængder se side 36.

***) Angående medgående mængder se side 78.

Er det absolut nødvendigt at støbe under sådanne temperaturforhold, må hele bygværket ombygges med træ eller presenninger, inden arbejdet påbegyndes. I så fald vil det normalt være naturligt at fortsætte opvarmningen, til betonen har nået normal styrke.

Arbejdspladsens indretning.

Almindeligt (44 B 7).

Når man vil udføre betonstøbning om vinteren, må man i forvejen gøre sig klart, i hvor lave temperaturer man vil gennemføre støbearbejdet. På grundlag heraf må man i god tid inden frostens indtræden træffe de foranstaltninger, der er nødvendige, for at arbejdet ikke skal gå i stå ved indtrædende kulde, og for at betonen kan få den foreskrevne kvalitet.

Falder temperaturen uventet ned i et lavere område end det, man er forberedt på at støbe i, må støbearbejdet straks standses, og kræfterne koncentrerer om at holde det nystøbte frostfrit.

Man må *aldrig*, hvor fristende det end kan forekomme, fortsætte støbningen ind i et lavere temperaturområde end det, ens materiel er beregnet til, og vil man derfor under særlige forhold fortsætte støbningen helt ned til -15°C , må man derfor i tide indrette sig derpå.

I denne sammenhæng skal det også nævnes, at der i de temperaturfigurer, der er angivet i tillægget side 46—52, kun er indregnet en beskedent sikkerhed imod overraskelser, og højere temperaturer bør man normalt ikke anvende. Ønsker man af specielle grunde en særlig stor sikkerhed, etableres denne både billigere og bedre ved større isolation.

For at undgå spændinger og eventuelle revner i betonen må betonens temperatur fra blanding til blanding være så konstant som muligt. Af samme grund bør man ved fjernelse af isolationen senere gå forsigtigt og ensartet til værks.

Såsnart beslutningen er truffet om, at arbejdet skal videreføres om vinteren, må alle dispositioner på byggepladsen træffes med henblik på at lette gennemførelsen af de planlagte foranstaltninger. Placering af varmekilder, materialoplag- og opvarmningspladser m. m.

planlægges grundigt for de forskellige tilfælde, d. v. s. de forskellige tidspunkter for frostens indtræden i forhold til byggeprogrammet.

Der træffes foranstaltninger for at få tilstrækkelig store forråd af betonmaterialer og materiel og materialer til opvarmning og isolation på pladsen.

I bilag 3, side 78, findes i tabelform en orientering med hensyn til, hvor mange varmeeenheder — med tilsvarende brændselsmængder —, der kræves for at opvarme betonen så meget, som forholdene — sammenlign figurerne 2—9, side 46—51, — kræver.

Lagring og opvarmning af materialerne.

Cementen.

Cementen tager ikke skade af at opbevares i kulde, men den skal altid opbevares tørt. Selv en ringe grad af fugtighed skader cementen; derfor er det af største vigtighed, at cementen om vinteren med dens fugtige vejrlig opbevares i helt tætte skure, hvis gulve er hævet over jorden, og som er indrettet således, at cementposerne ikke direkte berører ydervæggene. Bedst er det, om skuret kan holdes frostfrit eller blot med en noget højere temperatur end udetemperaturen, da man herved er sikker på, at luften er tør i skuret; f. eks. kan man ophænge et par flagermuslygter. Cementen behøver man ikke at opvarme, da mængden af cement i de blandinger, der i almindelighed bruges, kun udgør en procentvis ringe del (ved 300 kg cement pr. m^3 beton ca. 15 vægtprocent), hvorfor den varmemængde, den kan bidrage med, er forholdsvis ringe.

Gruset (sand og sten).

Uden opvarmning.

Sten- og sandmaterialerne skal være frostfri ved blandingen, og de må ikke indeholde is. Det bør erindres, at selv om lufttemperaturen er over 0°C , kan materialerne godt indeholde is fra en tidligere frostperiode. Er stenene frosne, vil mørtelen ikke klæbe til stenene, og de kommer til at ligge løse i betonen. Har man plads til det, kan man oplægge materialerne i store bunker. Frosten går kun en lille meter ned i bunken, og ved at hule ud i den kan man altid

skaffe sig frostfri materialer. Materialerne må naturligvis ikke tilkøres i stærk frost, da bunkerne så er bundfrosset fra starten. Ved at overdække bunkerne med presenninger eller lignende kan man beskytte materialerne ret effektivt.

Med opvarmning (30 H 3).

I bunker. Ved en begrænset mængde af materialer kan opvarmningen ske ved hjælp af et jernrør med ribber, 40—50 cm i diam., forsynet med aftræk. Materialerne skovles over røret, og i dette vedligeholdes en brændeild. De opvarmede materialer erstattes efterhånden af ikke opvarmede, idet det påses, at ingen af materialerne beskadiges af varmen. Sten må ikke have en temperatur over 100 ° C. Såfremt man har damp til sin rådighed, kan denne anvendes direkte til opvarmning, idet den tilledes materialebunken på forskellige steder. Man må påse, at materialerne ikke overhedes; hvis overhedning har fundet sted, viser dette sig tydeligt ved, at cementmørtelen ikke klæber til stenene, men at disse forbliver tørre.

Hertil anvendes bedst 1,5—2,0 m lange rør, 1"—1½" i diam., som ved slanger er forbundet med afgangsrøret fra kedlen. Den ende af rørene, som stikkes ind i materialebunken, er smedet ud i en spids, og endvidere er der boret huller (5—6 mm) med ca. 50 cm mellemrum.

Damprørene anbringes på de steder, hvorfra der skovles, idet den øvrige del af bunknen så vidt muligt holdes tildækket med presenninger, halmmåtter eller lignende.

Forholdet mellem antallet af damprør i sten- og sandbunken skal svare nogenlunde til blandingsforholdet. Hvor materialeforbruget er større, anvender man gerne en rist af damprør, der lægges direkte på jorden eller på et plankedæk. Arealet af risten skal være lidt mindre end det areal, som optages af materialerne.

Rørene i risten er 1"—1½" i diam. og perforerede. Afstanden mellem dem 50—100 cm.

Materialerne spredes over risten i et lag på 80—100 cm og holdes tildækket; størrelsen af materialebunken skal svare til 1 dags forbrug, således at opvarmningstiden er mindst 24 timer.

Det må erindres, at det er ret vanskeligt at få grus, der opvarmes ved hjælp af de ovennævnte mere primitive metoder, ensartet varmt,

hvorfor der bør anvendes megen omhu herpå for at undgå, at betonens temperatur skal variere fra blanding til blanding. Opmærksomheden skal henledes på, at der ved opvarmning af grus med damp ved afbrydelser i arbejdet let opstår en stærk fortætning af dampen i grusbunken, hvorved der kan dannes isklumper i gruset.

Anvendes klinkergrus, der er særligt varmeisolerende, kræves ekstra omhyggelige opvarmningsforanstaltninger.

I siloer. Hvor materialerne opløses i silo, hvad der altid vil være at foretrække i streng frost, bør denne have dobbelte vægge med isolation (halm, træuld, tang) imellem, og den forsynes indvendig langs bunden og siderne med slanger af damprør i lighed med ovenfor beskrevet.

Ved denne metode bliver vandindholdet i materialerne let meget stort og varierende, hvilket giver et varierende vand/cementforhold og herved en variende konsistens. Vil man undgå denne ulempe, kan man oplagre materialerne omkring *uperforerede* damprør, eller man kan indblæse varm luft i siloerne.

Hvor anvendelse af siloer vil medføre særlige vanskeligheder, kan bunkerne overbygges helt med skure, der opvarmes og isoleres som siloerne.

Døråbninger for ind- og udførsel bør f. eks. dækkes med to presenninger fastgjorte foroven og en i hver side, der overlapper hinanden rigeligt, så de automatisk lukker efter hver passage.

Sparesten. Anvendes sparesten, skal disse lagres i varmt vand, så de ved anbringelsen er gennemvarmet til mindst + 5 ° C.

Vandet.

Skønt vandet kun udgør en ringe del af blandingen, er det dog den del, der betaler sig bedst at opvarme, da vandets varmfylde er ca. 5 gange større end de andre materialers.

Vedrørende den temperatur, som vandet mest fordelagtigt kan og bør opvarmes til, henvises til tabel 16, side 53.

Opvarmningen af vandet kan foregå på forskellige måder. Ved større arbejder betaler det sig bedst at have en dampkedel eller et lokomobil til at afgive damp, dels til opvarmning af vand og grus, og dels til opvarmning af arbejdsplads og til rengøring af forme og armeringsjern m. m.

Angående dampanlæggets størrelse henvises til bilag 3, side 78.

Opvarmning af vandet foregår bekvemt ved at lede dampen ind i en vandtønde nær blandemaskinen, eventuelt blandemaskinens vandtank. Et 1"—1½" dampør føres ned i tanken eller tønden indtil ca. 10 cm fra bunden. Dampørret forsynes med en hane, som kan betjenes af manden, som passer blandemaskinen.

Opvarmningen kan også foregå ved direkte opvarmning i gruekedel eventuelt ved en spiral. Temperaturen skal kontrolleres.

For at undgå svingninger i vandtemperaturen og for altid at have tilstrækkeligt vand til at fuldende en støbning, selv om opvarmningen svigter, må det kræves, at varmtvandsbeholderen kan rumme vand til 20 blandinger.

Vandledninger og vandbeholdere må isoleres godt, og der må anbringes aftapningshaner således, at hele systemet kan tømmes for vand efter dagens arbejde.

Tilsætning af frostvædske.

Som tidligere nævnt og nærmere omtalt i tillægget side 62, kan betonens frysepunkt sænkes og dens størkningstid væsentlig afkortes, ved at den tilsættes frostvædske, f. eks. kalcium klorid.

Tilsætninger sker samtidig med, at materialerne fyldes i blandemaskinen.

Kalcium klorid kan bruges både i form af skæl eller som opløsning, der tilsættes blandevandet.

a. Skæl (47—43).

På grund af sin letopløselighed kan kalcium klorid tilsættes støbematerialerne i form af skæl, idet forsøg har vist, at det opløses fuldstændigt i løbet af blandetiden.

Skællene tilsættes i de mængder, som angivet side 62, under hensyntagen til betonblandingsens temperatur, dog maksimalt i 2 % af cementens vægt. Skællene afmåles bedst i et målekar, der indeholder den ønskede mængde. Rumvægten er ca. 0,9 kg/l. Skællene tilsættes gruset i indfyldningsspanen, lige før den udtømmes i blandetromlen; skællene må ikke komme i berøring med cementen.

Når man anvender kalcium klorid i form af skæl, må det erindres, at det er hygroskopisk, og det må derfor opbevares tørt eller i tromler med tætsluttende låg.

b. Opløsning (47—43).

En kalcium klorid opløsning fremstilles på følgende måde:

Et trækar på f. eks. 100 l fyldes $\frac{2}{3}$ med rent vand, hvorefter der ifyldes 50 kg kalcium klorid. Der omrøres, til skællene er helt opløst; derefter tilsættes vand, til der i alt er 100 l opløsning. Opløsningen vil derefter indeholde 0,5 kg kalcium klorid pr. l, og tilsætningen skal således være 2 l opløsning pr. 50 kg cement i betonen for at opnå en tilsætning på 2 % kalcium klorid.

Mindre mængder kan fremstilles i samme forhold.

Når luften har adgang, virker kalcium klorid fremskyndende på rustdannelse — jævnfør side 63 —, og opløsningen bør helst opbevares i træfade.

Blandemaskinen.

Blandemaskinen må opstilles således, at betontransporten bliver så kort som mulig. Er byggepladsen stor, må man have flere blandemaskiner på pladsen eller en transportabel maskine.

Blandemaskinen må hver dag efter endt brug renses og bør næste dag, inden den tages i brug, forvarmes med damp eller varmt vand.

De tørre materialer bør som sædvanlig indfyldes samtidig i blandemaskinen. Vandtilsætningen påbegyndes først lidt efter, at de tørre materialer er indfyldt, for at varmeafgivelsen til tromlen kan blive mindst mulig.

Ønsker man betontemperaturen så højt op, at vandets temperatur bliver over 40 ° C, må den ovenfor angivne rækkefølge ændres, idet cementen ikke kan tåle at komme i forbindelse med så varmt vand, og cementen må tilsættes sidst, efter at vand og grus er blandet til ensartet temperatur under 40 ° C.

I let frost bør blandemaskinen overdækkes, og i streng frost bør den indbygges i et hus, hvor temperaturen holdes på mindst 0 ° C. Døråbninger for ind- og udførsel af materialer og beton dækkes med

cering af varmekilder, materialoplag og -opvarmningspladser m. m. to presenninger fastgjorte foroven og en i hver side, der overlapper hinanden rigeligt, således at de automatisk lukker efter hver passage.

Betontransport og støbning.

Den blandede betons transport må foregå på en måde, der ikke giver for stort varmetab. Betonkærrer og tipvogne er udmærkede transportmidler; de har et tilpas stort indhold i forhold til den varmeafgivende flade, og de er lette at isolere. Ved lang transport i stærk frost bør man overdække transportredskabet.

Rende- og pumpebeton må ikke anvendes i kulde, da varmeafgivelsen er for stor.

Betonens tildækning efter støbningen.

Det vigtigste ved al vinsterstøbning er *øjeblikkelig tildækning af den udstøbte beton*. Alt for ofte begynder man først at tildække betonen henunder aften, når man er færdig med dagens støbning. Resultat er, at den kostbare varme i betonen går tabt, størkningen forsinkes, styrken forringes, afformningen må udskydes, og megen kostbar tid spildes.

Støber man plader — som altid er særligt udsatte for hurtigt at blive afkølet — skal tildækningen følge så tæt efter udstøbning og afretning, at højst een meter af betonen på ethvert tidspunkt er utildækket.

I de første kritiske døgn efter udstøbningen må det isolerende lag ligge *uforstyrret* over den nystøbte beton.

Selve isoleringens størrelse retter sig naturligvis efter luftens temperatur og efter eventuel opvarmning af betonen. Der henvises til figurerne 2 etc., side 46—52, hvoraf det ses, at under gunstige omstændigheder kan man klare sig med den isolation, formen alene giver, medens man under særlige vanskelige forhold må have indtil 3 lag halmmåtter.

På ubeskyttede betonoverflader udlægges brædder med mellemrum, inden måtterne udlægges, for at disse ikke skal hænge i be-

tonen*). Kræves mere end een måtte, kan de underste måtter erstattes af løs halm.

På lodrette sider og undersider anbringes isoleringen i god tid inden støbningen.

Er måtterne ikke forsynet med vandtæt papir som f. eks. Sisalkraft på begge sider, må de absolut dækkes med presenninger, da de ellers er næsten virkningsløse.

B. Forholdsregler for at sikre, at betonen efter størkningen hurtigt når sin normale styrke.

Når betonen efter 2—3 døgn forløb er blevet »frosthård«, kan man som tidligere omtalt frit vælge, om den fortsat skal holdes varm, hvorved hærdeningen fortsætter normalt, eller om man vil lade den fryse, hvorved hærdeningen næsten standser, indtil temperaturen en gang atter kommer over ca. + 5° C.

I det foregående afsnit A er behandlet det tilfælde, hvor betonen blot sikres den nødtørftige »frosthårdhed«, medens der i dette afsnit B gives anvisninger for det tilfælde, at man ved opvarmning udover de første to-tre døgn ønsker at fremme udviklingen af betonens normale styrke.

Inden man kan iværksætte de i dette afsnit B angivne foranstaltninger, skal betonen naturligvis udstøbes og størkne som i afsnit A beskrevet.

Fremgangsmådens princip.

Det vil almindeligvis ikke være muligt inden støbningen at varme betonen så meget op, at denne varme tilligemed den kemiske varme kan være tilstrækkelig til at sikre udvikling af normal styrke. Ser man nærmere på figurerne, vil det fremgå, at denne begyndelsesvarme ofte kun med nød og næppe rækker til til sikring af »frosthårdhed«.

*) I U.S.A. har man med held udlagt Celotex eller lignende direkte på den friske betonoverflade.

Der må derfor i dette tilfælde altid, helst lige fra udstøbningsøjeblikket og ikke senere end fra næste dag, anvendes kunstig opvarmning af betonen.

Dette kan ske enten — hvad der er det almindeligste — ved opvarmning af luften omkring betonen, indenfor en isolationskappe, eller — hvad der er ret sjældent — ved direkte opvarmning af den hærtnende beton.

I alle tilfælde betaler det sig at anvende rigelig isolation.

Opvarmning af luften omkring bygværket.

Ved streng frost, og når man ønsker at opnå en væsentlig styrke på normal tid eller før, slår isolering af den udstøbte beton ikke til — man må tilføre betonen ekstra varme.

Dette er næsten altid ret omstændeligt. De pågældende konstruktionsdele må omgives med en kappe af træ, tagpap, presenninger eller lignende, og luften i det opståede mellemrum må holdes varm af dampør, koksgryder eller lignende.

De varmegivere, man benytter, kan for eksempel være *dampør*, enten som almindelige varmerør eller perforerede. Anvendelsen af perforerede dampør er forholdsvis økonomisk og giver en meget homogen opvarmning, da dampen fortrinsvis fortætter på de koldeste dele, og samtidig tilføres betonen fugtighed.

Man kan også benytte *koksgryder* eller -kurve (Salamandre); man må her huske, at koksgryder altid må tændes i fri luft på grund af den ret kraftige kulilteudvikling, indtil koksene er kommet godt i glød. Der bør altid være to mand tilstede af hensyn til kvælningsfænomener frembragt af kulsyre og kulilte. Koksgryder og lignende må af hensyn til brandfare (som man i det hele taget må have opmærksomheden henvendt på) og for at beskytte underliggende konstruktioner stilles på et 5—6 cm sandunderlag på ca. 2×2 m.

Ildslukningsmidler bør forefindes på pladsen.

Der må drages omsorg for, at betonen ikke tilsodes ved opvarmningen, da soden er vanskelig at fjerne og kan slå igennem senere pudslag.

Eksempler.

Huse med støbte dæk, murede ydervægge.

Inden støbningen påbegyndes, lukkes alle åbninger i den underliggende etages ydervægge, og så snart støbningen har fundet sted, påbegyndes opvarmningen under pladen med et eller flere af de ovenfor beskrevne midler.

Da det som regel vil være umuligt at anbringe den nedenfor omtalte presenningsafdækning straks efter udstøbningen, må det almindeligvis anbefales med hensyn til isoleringen af pladernes oversider at gå frem på ganske samme måde som under afsnit A, side 26, beskrevet med omgående udlægning af isolationsmaterialer direkte på betonen.

Hvis frosten ikke er særlig stærk, og isolationen ovenpå pladen tilstrækkelig — se figur 2 og 6, side 46 og 50, — vil det være muligt uden yderligere forholdsregler at holde pladen tilstrækkelig varm (mindst 15° C).

Kræves der imidlertid hertil på grund af streng frost eller utilstrækkelig isolation, at rummet under pladen skal opvarmes til mere end + 25° C, kan denne metode på grund af fare for udtørring af betonen ikke anvendes, og man bør derfor, så snart pladen er et døgn gammel og kan tåle, at der gås på den, udspænde et presenningstag ca. 30 cm over den, som hviler på dertil indrettede bukke. Rummet under presenningen opvarmes så enten ved varmerør, der nu anbringes, eller ved, at varmen nedefra gives adgang gennem huller i dækket, som indtil dette tidspunkt har været interimistisk lukkede.

Når lufttemperaturen over pladen herefter har nået + 15° C, kan man, hvis det skønnes fordelagtigt, forsigtigt fjerne isolationen på pladens overside.

Opmuringen af ydervæggene kan herefter fortsætte for næste etage — med de forholdsregler, der er beskrevet andetsteds — medens pladen hærder i fred og ro. Når den har nået den foreskrevne styrke, indstilles opvarmningen, og når temperaturen er sunket til den samme som udenfor, fjernes isolation og afdækning. Alt materiel flyttes derefter en etage op, og processerne gentages.

Hullerne i dækkene — der bør være mindst et for hver 30 m², og de bør have et samlet areal på ca. 1/100 af dækket — bør først tilstøbes, når frosten er forbi.

Som andetsteds — side 24 — omtalt, er det meget vigtigt, når man gennem længere tid holder betonen varm og derved forøger dens fordampning, at sørge omhyggeligt for, at den holdes fugtig. Normalt vil dette dårligt kunne ske ved vanding, og anvender man ikke opvarmning ved hjælp af perforerede damprør, må man derfor ovenpå koksgrøder og varmeapparater altid have store fyldte fordampningskar.

Helstøbt betonhus (30 H 3).

Støbningen og isoleringen af pladerne foregår ganske på samme måde som ovenfor beskrevet.

Hvis man er interesseret i meget hurtigt — og inden man kan gå på den størknende beton — at få anbragt sit presenningstag over dækket, kan dette ske på den måde, at der klampes 10×15 cm tømmer til søjlernes opragende armering; herover lægges strøer og tværstrøer, over hvilke presenningerne spredes.

Efterhånden som bygningen føres i vejret fra etage til etage, omgives den under udførelse værende etage eller del deraf med presenninger forud for støbningens påbegyndelse. Presenningerne tages fra den etage, som allerede er fuldført. Når støbeformen for søjler og gulv er opstillet, hænges presenningerne fra de udvendige murbjælker ned over facaden og ind under murbjælkerne i etagen nedeunder. Ved foden af søjlerne må presenningerne spiles ud fra muren således, at der fremkommer et luftmelletrum. Dette punkt må især beskyttes mod frost.

Indvendig i bygningen hænges presenninger (disse kan eventuelt have »vinduer« af plastic) udenom det område, som støbes. Ved hver udvendig søjle anbringes et koksfyrt, og som yderligere beskyttelse kan foden af søjlen tillige isoleres ved pakning med halm. Før end støbningen påbegyndes, må de indvendige presenninger og koksgrøder være anbragt. Hvis frosten er intensiv, bør opvarmningen påbegyndes flere timer forud for støbningen. Alle dele i det opvarmede område bør holdes på en temperatur af ca. 15° C.

Opføres en bygning meget hurtigt, eller er kulden intensiv, kan det være nødvendigt at anskaffe presenninger og opvarmningsmateriel svarende til 2 etager.

Ved støbning af siloer, beholdere og lignende, hvor der anvendes »glidende« form, anbringes presenningerne uden om disse og føres med op.

Angående våd-lagring se det forrige eksempel.

Opvarmning af selve betonen.

For at spare de ret store omkostninger ved ombygning af konstruktionerne med presenninger etc., har det været foreslået direkte at opvarme betonen i hærdningsperioden ved at lede elektrisk strøm gennem armeringen. Der foreligger, så vidt vides, ingen danske erfaringer på dette område, men da metoden synes at indebære visse muligheder, var det ønskeligt, om der her i landet blev anstillet praktiske forsøg med den. Særligt interesserede henvises til litteraturen (32 B 3) (33 R 1) (35 K 2) (36 K 2).

Som en anden mulighed for direkte opvarmning af betonen kan nævnes konstruktioner, hvor der indstøbes »Critall« strålevarme rørslinger i pladerne, hvori der under betonens hærdning midlertidigt kunne cirkulere varmt vand ved tilslutning med slanger til intermistisk kedelanlæg. Også her efterlyses praktiske erfaringer.

C. Bestemmelse af betonens opvarmningstemperatur.

Betonens temperatur.

Det er muligt i hvert enkelt tilfælde at beregne, til hvor høj en temperatur betonen inden udstøbningen skal være opvarmet, for at denne varme tillige med den, der udvikles i betonen under størkningen og hærdningen, kan være tilstrækkelig til at holde betonen frostfri, indtil den er blevet »frosthård«.

Disse beregninger er imidlertid ret komplicerede og langvarige, og af hensyn til anvisningernes praktiske anvendelighed er der derfor på de følgende sider givet en række figurer og tabeller svarende til nærmere beskrevne forhold.

Det har naturligvis været umuligt at forudse alle forhold, ligesom de i figurerne indgående dimensioner har ret store spring, men det

antages dog, at man ved interpolation vil kunne dække alle normalt forekommende tilfælde.

Vedrørende figurerne og tabellernes brug bemærkes følgende:

Hvor valget er frit, vil det normalt være billigst at anvende rigelig isolation og lavere temperatur. Man bør dog normalt ikke anvende størst mulig isolation, da man derved afskærer sig fra at kunne forøge isolationen, hvis lufttemperaturen uventet synker, og figurerne indeholder ingen sikkerhed herimod.

Under blandingsprocessen må man erindre, at:

Portland cements temperatur ikke bør overskride 40°C ,
hurtighærdnende cements temperatur ikke bør overskride 25°C .

Det bemærkes udtrykkeligt, at figurerne og tabellerne angiver betonens temperatur i det øjeblik, isolationen anbringes. Til imødegåelse af det varmetab, der finder sted under transport, udstøbning og afretning, er det derfor nødvendigt, at temperaturerne forøges:

Tabel 12. Med 20 %, hvis transport og udlægning foregår normalt.
Med 10 %, hvis betonen transporteres i isolerede, lukkede beholdere, dog i alle tilfælde mindst 5°C .

Ovenstående % beregnes af forskellen mellem betontemperaturen og lufttemperaturen.

Det skal præciseres, at de efterfølgende figurer og tabeller kun må betragtes som vejledende, medens det egentlige kriterium for »frosthårdhed« af betonen må fremskaffes ved hyppige temperaturmålinger af denne og ved undersøgelse af prøveterninger eller prøvebjælkers styrke.

Indtil en praktisk gennemprøvning af figurerne og tabellerne har fundet sted, tilrådes det at forøge de i disse opførte temperaturer med nogle grader, f. eks. 3° til 5°C , således at man ved ugunstige forhold, såsom stærk blæst, og ved spinkle konstruktioner anvender det største tillæg, medens man ved gunstigere forhold, såsom stille vejr, og sværere konstruktioner anvender det laveste tillæg.

Hvor lufttemperaturen er større end eller lig $+5^{\circ}\text{C}$, kan man dog som regel se bort fra dette særlige midlertidige tillæg.

Beregning af betonens begyndelsestemperatur.

Ved hjælp af de viste figurer kan man bestemme, hvor varm betonen skal være *efter* at være udstøbt og tildækket, for at opnå »frosthårdhed«.

Desuden kan man finde den tid (tildækningstiden), som betonen bruger om at nå »frosthårdhed«. Denne har man regnet, at betonen når ved en styrke på 25 % af 28 døgns styrken ved en lagrings-temperatur på ca. 20°C (konstant temperatur). Dog er man ikke gået under en betonstyrke på 35 kg/cm^2 som kriterium for »frosthårdhed«.

Den i figurerne angivne lufttemperatur er lufttemperaturens sandsynlige mindste værdi i tildækningsperioden.

For vandrette flader med fri udstråling til rummet må t_u (den resulterende temperatur), som indgår i figurerne, beregnes som:

$$\begin{aligned} t_u &= \text{lufttemperatur} \div 10^{\circ}\text{C for skyfri himmel og vindstille,} \\ t_u &= \text{lufttemperatur} \div 5^{\circ}\text{C for skyfri himmel og nogen blæst,} \\ t_u &= \text{lufttemperatur} \quad \quad \quad \text{for overskyet himmel.} \end{aligned}$$

For andre flader beregnes t_u som angivet ved figurerne.

Figurerne er udregnede for:

Beton med 320 kg dansk Portland cement pr. m^3 beton,								
» » 160 » » » » » » » »								
» » 320 » » hurtighærdende cement pr. m^3 beton,								
» » 160 » » » » » » » » » »								

Figurerne omfatter dels plane konstruktioner (plader og vægge) og dels cirkulære søjler. Ved firkantede søjler kan man bruge figurerne, når man går ind med søjlens mindste side som diameter.

Angående brugen af figurerne henvises til eksemplerne.

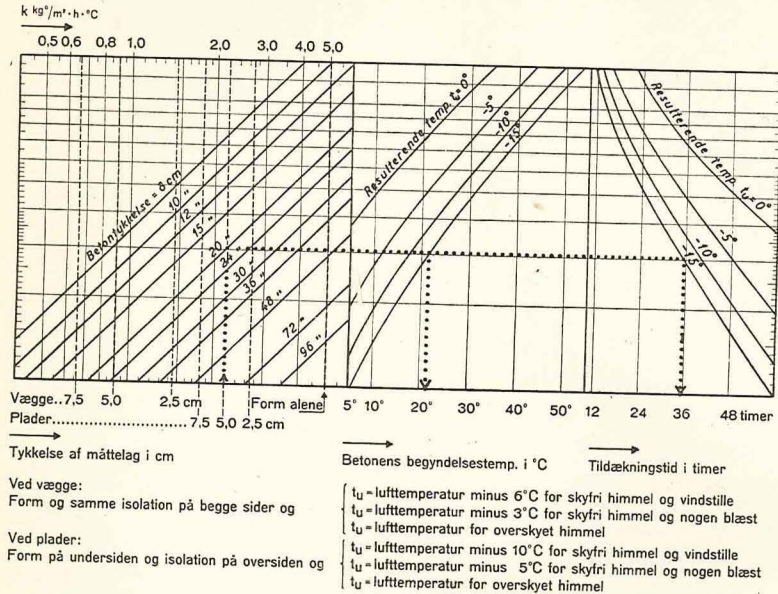
Det er i beregningerne forudsat, at måtterne er dækket på ydersiden med et vindtæt materiale.

Der er intet sted i de efterfølgende figurer regnet med tilsætning af frostvædske, ligeledes gælder figurerne heller ikke for S-cement.

Angående udførelse af temperaturkontrol og målinger henvises til side 17.

Fig. 2.

Konstruktionsbeton. 320 kg Portland cement pr. m³.
Vægge og plader.



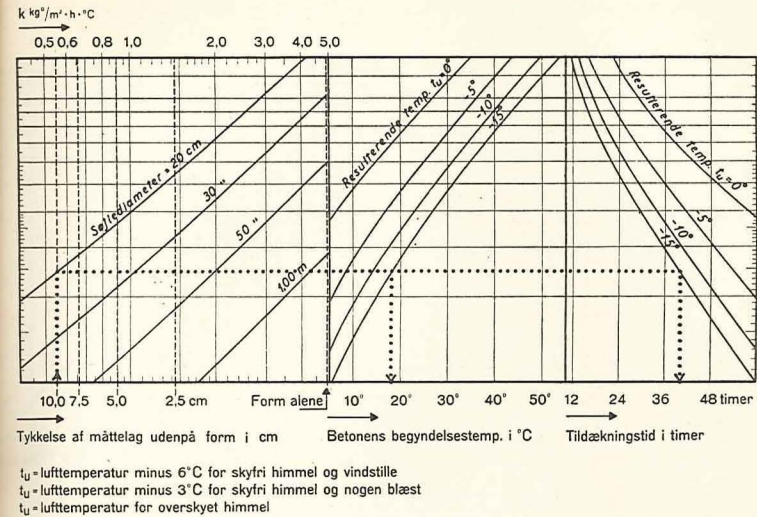
Eksempel til figur 2.

20 cm jernbetonplade.
Dagens lufttemperatur er $\div 10^\circ \text{C}$.
Nattens lufttemperatur skønnes til $\div 15^\circ \text{C}$.
Himmelen er overskyet.
 $t_u = \div 15^\circ \div 0^\circ = \div 15^\circ \text{C}$.
Forme på undersiden og 2 halmmåtter à 2,5 cm på oversiden.

Efter figur 2 er betonens begyndelsestemp. 22°C (følg den med pilene mærkede linie).
Tildækningstiden ~ 36 timer.
Varmetab før tildækning (se tabel 12).
10% af $(22^\circ + 10^\circ) \sim 5^\circ \text{C}$ (transport i isolerede, lukkede beholdere).
Usikkerhedstillæg (se side 44) 5°C .
Betontemperaturen i blandemaskinen $22^\circ + 5^\circ + 5^\circ = 32^\circ \text{C}$.
Delmaterialernes temperatur findes derefter af tabel 16.

Fig. 3.

Konstruktionsbeton. 320 kg Portland cement pr. m³.
Søjler.



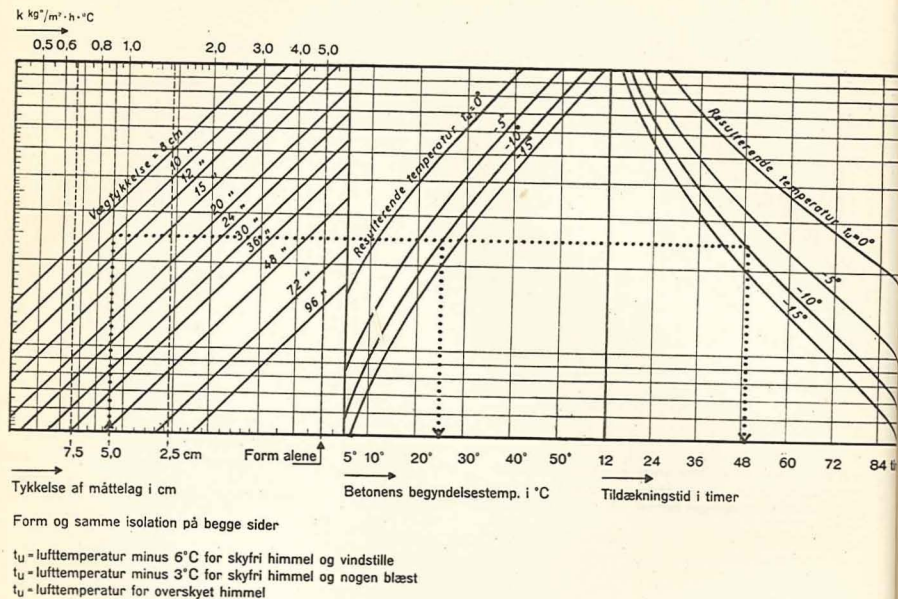
Eksempel til figur 3.

Jernbetonsøjle med diameter 20 cm.
Dagens lufttemperatur er $\div 5^\circ \text{C}$.
Nattens lufttemperatur skønnes til $\div 9^\circ \text{C}$.
Himmelen er skyfri, og det er vindstille.
 $t_u = \div 9^\circ \div 6^\circ = \div 15^\circ \text{C}$.
Isolation 4 stk. halmmåtter à 2,5 cm samt forme.

Efter figur 3 er betonens begyndelsestemp. 18°C (følg den med pilene mærkede linie).
Tildækningstiden er 41 timer.
Varmetab før tildækning (se tabel 12).
20% af $(18^\circ + 5^\circ) \sim 5^\circ \text{C}$.
Usikkerhedstillæg (se side 44) 5°C .
Betontemperaturen i blandemaskinen $18^\circ + 5^\circ + 5^\circ = 28^\circ \text{C}$.
Delmaterialernes temperatur findes derefter af tabel 16.

Fig. 4.

Grovbeton. 160 kg Portland cement pr. m³.
Vægge.



Eksempel til figur 4.

10 cm grovbetonvæg.

Dagens lufttemperatur er $\div 2^{\circ}\text{C}$.

Nattens lufttemperatur skønnes til $\div 7^{\circ}\text{C}$.

Himmelen er skyfri, men der er nogen blæst.

$t_{u_1} = \div 7^{\circ} \div 3^{\circ} = \div 10^{\circ}\text{C}$.

Isolation 2 stk. halmmåtter à 2,5 cm samt forme.

Efter figur 4 er betonens begyndelsestemperatur 24°C (følg den med pilene mærkede linie).

Tildækningstiden 49 timer.

Varmetab før tildækning (se tabel 12).

20 % af $(24^{\circ} + 2^{\circ}) \sim 5^{\circ}\text{C}$.

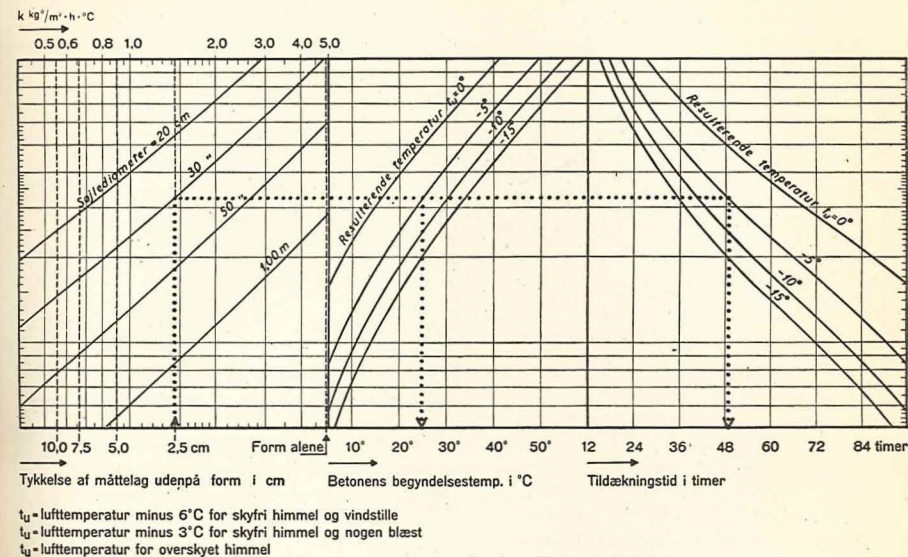
Usikkerhedstillæg (se side 44) 5°C .

Betontemperaturen i blandedmaskinen $24^{\circ} + 5^{\circ} + 5^{\circ} = 34^{\circ}\text{C}$.

Delmaterialernes temperatur findes derefter af tabel 16.

Fig. 5.

Grovbetonsøjle. 160 kg Portland cement pr. m³.
Søjler.



Eksempel til figur 5.

Grovbetonsøjle med diameter 30 cm.

Dagens lufttemperatur er 0°C .

Nattens lufttemperatur skønnes til $\div 2^{\circ}\text{C}$.

Himmelen er skyfri, men der er nogen blæst.

$t_{u_2} = \div 2^{\circ} \div 3^{\circ} = \div 5^{\circ}\text{C}$.

Isolation 1 stk. 2,5 cm halmmåtte samt forme.

Efter figur 5 er betonens begyndelsestemperatur 25°C (følg den med pilene mærkede linie).

Tildækningstiden er 49 timer.

Varmetab før tildækning (se tabel 12).

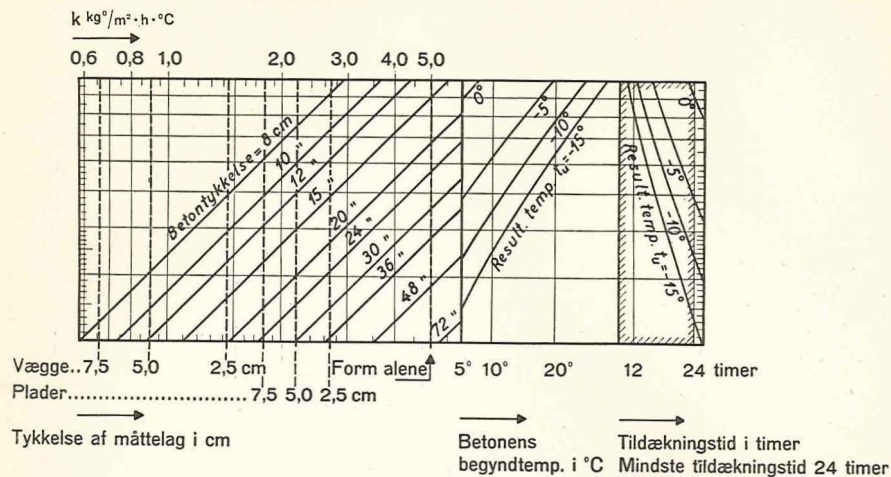
20 % af $(25^{\circ} + 0^{\circ}) \sim 5^{\circ}\text{C}$.

Usikkerhedstillæg (se side 44) 5°C .

Betontemperaturen i blandedmaskinen $25^{\circ} + 5^{\circ} + 5^{\circ} = 35^{\circ}\text{C}$.

Delmaterialernes temperatur findes derefter af tabel 16.

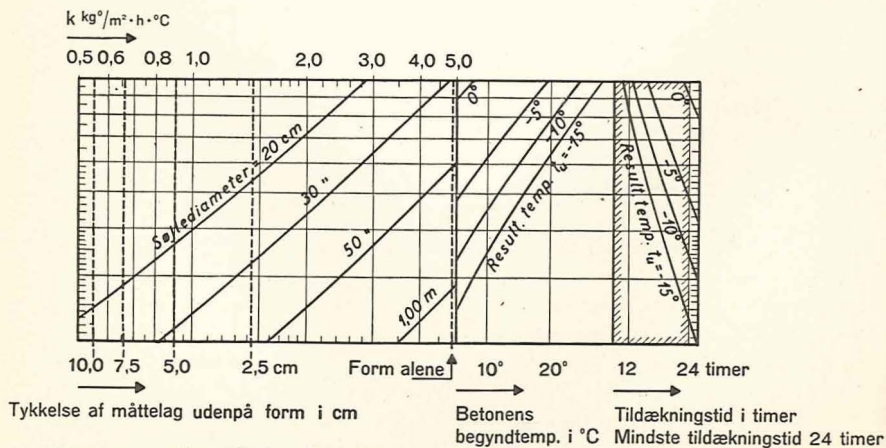
Fig. 6. Konstruktionsbeton. 320 kg Rapid cement pr. m³. Vægge og plader.



Ved vægge: Form og samme isolation på begge sider og
 t_u = lufttemperatur minus 6°C for skyfri himmel og vindstille
 t_u = lufttemperatur minus 3°C for skyfri himmel og nogen blæst
 t_u = lufttemperatur for overskyet himmel

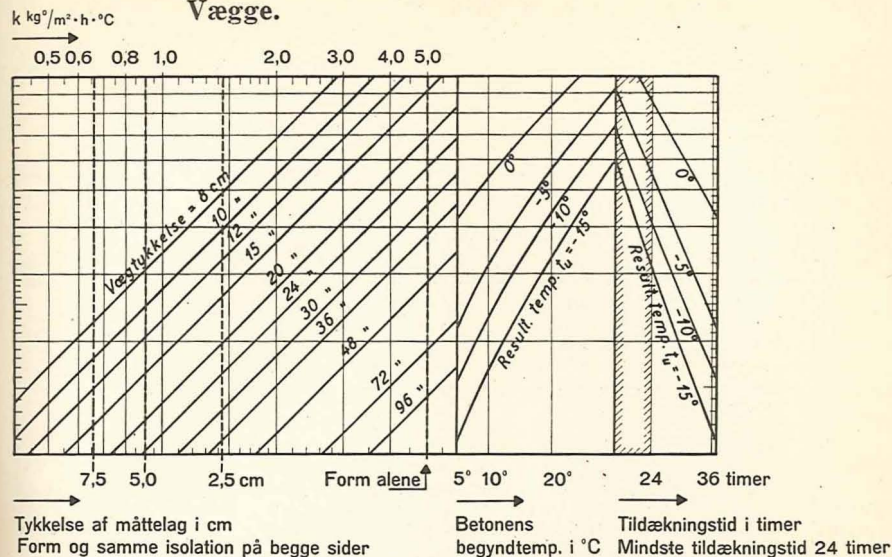
Ved plader: Form på undersiden og isolation på oversiden og
 t_u = lufttemperatur minus 10°C for skyfri himmel og vindstille
 t_u = lufttemperatur minus 5°C for skyfri himmel og nogen blæst
 t_u = lufttemperatur for overskyet himmel

Fig. 7. Konstruktionsbeton. 320 kg Rapid cement pr. m³. Søjler.



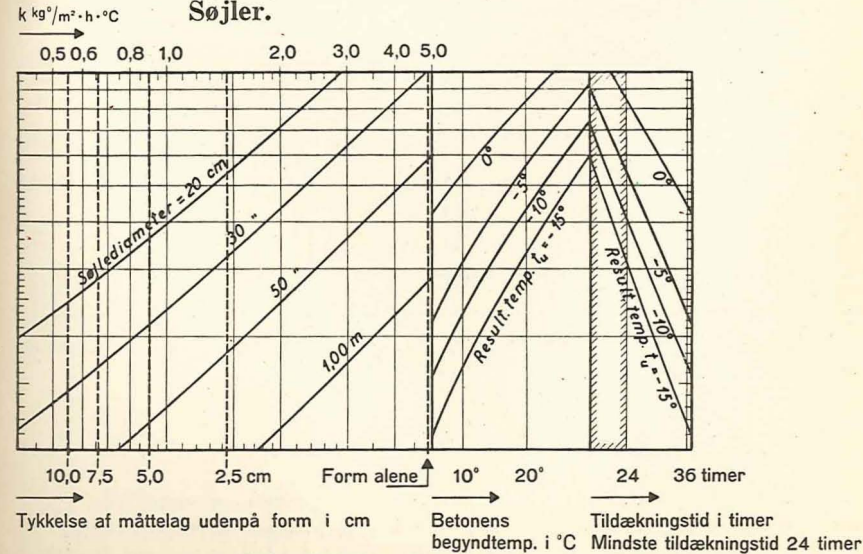
t_u = lufttemperatur minus 6°C for skyfri himmel og vindstille
 t_u = lufttemperatur minus 3°C for skyfri himmel og nogen blæst
 t_u = lufttemperatur for overskyet himmel

Fig. 8. Grovbeton. 160 kg Rapid cement pr. m³. Vægge.



t_u = lufttemperatur minus 6°C for skyfri himmel og vindstille
 t_u = lufttemperatur minus 3°C for skyfri himmel og nogen blæst
 t_u = lufttemperatur for overskyet himmel

Fig. 9. Grovbeton. 160 kg Rapid cement pr. m³. Søjler.



t_u = lufttemperatur minus 6°C for skyfri himmel og vindstille
 t_u = lufttemperatur minus 3°C for skyfri himmel og nogen blæst
 t_u = lufttemperatur for overskyet himmel

Tabel 13. Plader udstøbt på frostfri jord.

Beton med 320 kg portland cement pr. m³ og uden frostvædske.
Tabel for betonens temperatur i °C ved tildækningen.

Plade- tykkelse cm	Resulterende ydre temperatur t_u °C	Isolationsmåde		
		1 stk. = 2,5 cm halmmåtter	2 stk. = 5,0 cm halmmåtter	3 stk. = 7,5 cm halmmåtter
12	0°	20°	12°	5°
12	÷ 5°	25°	16°	10°
12	÷ 10°	27°	20°	15°
12	÷ 15°	30°	25°	20°
20	0°	5°	5°	5°
20	÷ 5°	9°	5°	5°
20	÷ 10°	13°	5°	5°
20	÷ 15°	18°	8°	5°
30	0°	5°	5°	5°
30	÷ 5°	5°	5°	5°
30	÷ 10°	5°	5°	5°
30	÷ 15°	10°	5°	5°

Tabellen forudsætter, at måtterne dækker mindst 1 m af den omliggende jord til alle sider for pladen. Tildækningstid mindst 3 døgn.

Tabel 14. Plader udstøbt på frostfri jord.

Dansk hurtighærdnende cement (Rapid).

Beton med 320 kg cement pr. m³ og uden frostvædske.
Tabel for betonens temperatur i °C ved tildækningen.

Plade- tykkelse cm	Resulterende ydre temperatur t_u	Isolationsmåde	
		1 stk. = 2,5 cm halmmåtter	2 stk. = 5,0 cm halmmåtter
12	÷ 5°	5°	5°
12	÷ 10°	8°	5°
12	÷ 15°	13°	5°
20	÷ 15°	5°	5°

Tabellen forudsætter, at måtterne dækker mindst 1 m af den omliggende jord til alle sider for pladen. Tildækningstid mindst 1½ døgn.

For tabel 13 og 14 gælder:

- t_u = lufttemperatur ÷ 10° C for skyfri himmel og vindstille,
 t_u = lufttemperatur ÷ 5° C for skyfri himmel og nogen blæst,
 t_u = lufttemperatur for overskyet himmel.

Delmaterialernes temperaturer.

For at fremstille en beton med given temperatur, der er over lufttemperaturen, kræves, at delmaterialerne er opvarmede. Det vil normalt ikke være hensigtsmæssigt at opvarme dem alle til netop betonens fremtidige middeltemperatur, men man vil som tidligere omtalt først opvarme vandet, og kun hvis dette ikke forslår, vil man opvarme gruset, medens man normalt aldrig vil opvarme cementen.

I nedenfor angivne tabel 16 er delmaterialernes temperaturer angivet efter ovenfor anførte princip.

Til orientering kan anføres, at med middelkornform og middelkornkurve svarer disse vandindhold omtrent til følgende sætmål:

Tabel 15.

Sætmål i cm.

	Max. kornstørrelse		
	16 mm	32 mm	64 mm
Vandindhold 150 l/m ³	0	0	1
» 175 »	0	2	6
» 200 »	3	10	15
» 225 »	8	17	—

Tabel 16.

Delmaterialernes temperaturer.

Betonens begyndel- sestemp. i blande- maskinen	Vandindhold l/m ³											
	150			175			200			225		
	Vand	Cement	Grus	Vand	Cement	Grus	Vand	Cement	Grus	Vand	Cement	Grus
5	24	0	0	22	0	0	19	0	0	18	0	0
10	48	0	0	43	0	0	38	0	0	35	0	0
15	60	0	5	60	0	0	57	0	0	52	0	0
20	60	0	10	60	0	10	60	0	5	60	0	5
25	60	0	20	60	0	15	60	0	15	60	0	15
30	60	0	25	60	0	25	60	0	25	60	0	20
35	60	0	35	60	0	30	60	0	30	60	0	30
40	60	0	40	60	0	40	60	0	40	60	0	40

II TILLÆG

Indledning.

Da man i de praktiske anvisninger i I. del alene har meddelt sådanne oplysninger, som er helt nødvendige for den, der i praksis vil foretage vinterstøbning, og udvalget herudover har indsamlet en hel del oplysninger af mere teoretisk karakter, har man fundet det naturligt at meddele en ekstrakt af disse i dette tillæg, da de må anses at have interesse for den, der selvstændigt vil studere spørgsmålene nøjere og eventuelt udvide det praktiske arbejdsområde.

Betons størkning og hærdning (39—31).

Når betonens bestanddele — cement, vand, grus og eventuelt tilsætningsmidler — blandes, vil der på grund af reaktioner mellem vandet og cementen ske:

først en størkning (afbinding), hvorunder kornene sammenkittes samtidig med, at massen overgår fra plastisk til stiv tilstand, og

derefter en hærdning, der strækker sig over adskillige uger, og hvorunder betonen opnår den overvejende del af sin styrke.

Størkningstiden (45—3).

Størkningstiden er afhængig af betonens temperatur, cements alder og v/c -forholdet.

For de almindelig anvendte normalt størknende cementer begynder størkningen ved 18°C ca. 4—6 timer efter blandingen og er afsluttet ca. 10—15 timer efter blandingen. Er temperaturen under størkningen kun $+1^{\circ}\text{C}$, begynder størkningen først efter ca. 10—18 timer og afsluttes 20—30 timer efter blandingen. Er temperaturen under frysepunktet, kan størkningen ikke komme i gang.

Størkningstiden fordobles, når v/c forøges fra 0.40 til 1.20, og den stiger stærkt med cementens alder. Ved vinterstøbning er det nødvendigt, at størkningstiden er kort, bl. a. for hurtigt at få reaktionsvarme frem, og det er derfor vigtigt, at størkningstemperaturen ikke er for lav, at v/c -forholdet ikke er for stort, og at cementen er frisk.

Hvis beton, der er udstøbt i frostvej, og som ikke er begyndt at hærde, senere opvarmes og samtidig komprimeres, så de hulrum, isen efterlader, lukkes, vil den kunne opnå en meget væsentlig del af sin normale styrke. Metoden har været anvendt med held i praksis i udlandet ved dæmningsstøbning, men kan næppe anbefales til efterligning (31 G 3).

Hvis betonen ved plus-grader er begyndt at størkne og så fryser, vil den ødelægges totalt af den expanderende is og står ikke ved optøning og komprimering på nogensomhelst måde til at redde.

Hærdningstiden (41—3 b) (45—3).

Hærdningstiden, d. v. s. den til opnåelse af normal (28-døgns) stærke nødvendige tid, er afhængig af temperaturen og fugtigheden.

Afhængigheden af temperaturen fremgår af fig. 1, side 22, og afhængigheden af våd-holdelse er velkendt fra den almindelige betonteknologi.

Det vil bemærkes af figuren, at afhængigheden af temperaturen er meget udpræget, og at det for at opnå normal styrke indenfor en rimelig tid er nødvendigt at holde temperaturen ganske væsentligt over frysepunktet. Forlænges kurverne ud over figurens højre rand, vil det vise sig, at der ved:

Tabel 17.

en temperatur på + 10° C	kræves ca.	60 dogn	for at opnå normal styrke						
» » » 0° C	» »	200 » » » »	» » » »	» »					
» » » ÷ 10° C	» »	1000 » » » »	» » » »	» »					

Det vil måske forbavse, at det overhovedet er muligt at opnå styrke, når temperaturen er under frysepunktet, og det må da også her klart understreges, at denne styrketilvækst under 0° C er betinget af, at betonen, inden den fryser, er størknet og har nået »frosthårdhed«, der udgør ca. en fjerdedel af den normale 28-døgns styrke, således at betonen er i stand til at modstå de expansive kræfter, der opstår ved isens dannelse, uden at splittes ad.

Cementmængdens betydning (39—31).

Et stort cementindhold har udover den styrkeforøgelse, som det almindeligt medfører, en ganske særlig betydning ved vinterstøbning, fordi varmeudviklingen vokser med cementindholdet.

Da de fede blandinger normalt når relativt større styrke indenfor samme tidsrum, er det fordelagtigt i koldt vejr at bruge noget federe blandinger.

Et cementindhold over 400 kg/m³ må dog frarådes.

Vandmængdens betydning (38—31).

Da det, som gentagne gange fremhævet, ved vinterstøbning af beton gælder om at udnytte og bevare de forhåndenværende varmemængder til temperaturforøgelser indenfor visse grænser, gælder dette også vandtilsætningen og i ganske særlig grad, da vand har en meget stor varmekapacitet. For rigelig benyttelse af ikke forvarmet vand kan måske derfor betegnes som den hyppigste og mest betydende fejl ved vinterstøbning.

Som bekendt aftager betonens styrke med støbevandsmængden, således at det altid er forkasteligt at benytte mere vand end nødvendigt; men særlig uheldigt er det ved vinterstøbning af beton, da vandet virker som en tung ballast, der sluger den varme, der på anden måde er så rigelig brug for.

Når betonen opvarmes, må man ved fastsættelsen af vandindholdet erindre fordampningen, der kan blive meget betydelig, samt at bearbejdelse på grund af vandets hurtige forbindelse med cementen reduceres ikke ubetydeligt.

v/c-forholdets betydning (39—31) (41—3 b).

v/c-forholdet har ikke alene stor betydning for betonens endelige styrke, det influerer også som omtalt stærkt på størkningstiden, således at man ved et lille vand-cementtal opnår en vis styrke betydelig hurtigere end ved et højt vand-cementtal.

Medens et lavt vand-cementforhold har en heldig indflydelse på betonens styrke, vil en udtørring af betonen under hærdningen virke meget skadelig. Dette må man særlig være opmærksom på, når betonen opvarmes efter udstøbningen; men også når betonen har henstået frossen nogen tid.

Varmetoning.

De kemiske reaktioner mellem cementen og vandet følges af en varmeudvikling, der er særlig kraftig under størkningen, og som derefter i løbet af hærdningen hurtigt ophører. Se fig. 10, side 61.

Den varme, man kan bibringe betonen inden udstøbningen, vil kun i forholdsvis kort tid være i stand til at holde den frostfri, og det er derfor af meget stor betydning, at cement til vinterstøbningsforbrug udvikler rigelig varme, og at størkningstiden er kort, så varmen kommer hurtigt.

Cementens egnethed til vinterstøbning.

Til vinterstøbning bør foretrækkes helt frisk cement, der størkner på den korteste tid, normerne tillader (1 time), og dens størkningstid bør altid bestemmes inden man går i gang med en ny støbning og/eller får leveret en ny cement.

Denne bestemmelse kan ske ganske primitivt ved, at man på en glasplade udrører en lille prøve af 4 dele cement og 1 del vand (ialt ca. 100 g), som man derefter stikker i f. eks. med en blyantspids hver halve time.

Når der begynder at være modstand imod indstikningen, er størkningen begyndt, og når spidsen ikke længere kan stikkes ind uden anvendelse af kræfter, er den endt.

Størkningstiden for betonen påvirkes ofte af gruset og vand-cementforholdet v/c og kan bestemmes ved, at man udrører en lille prøve på en glasplade af 50 g cement, 150 g sand og $50 \cdot v/c$ g vand (ved $20^{\circ} C$), som man derefter stikker i på den før omtalte måde.

Portland cement.

Her i landet benyttes for tiden næsten udelukkende cementer af portlandtypen, fremstillet af en finmalet og homogen blanding af kalciumkarbonat og ler, der brændes til sintring. De derved fremkomne klinker indeholder klinkermaterialerne trikalciumpulver C_3S , dikalciumsilikat C_2S , trikalciumpulver C_3A , tetrakalciumaluminatferrit C_4AF og glasagtige bestanddele ($C = \text{kalciumoxyd } CaO$, $S = \text{siliciumdioxid } SiO_2$, $A = \text{aluminiumoxyd } Al_2O_3$ og $F = \text{ferrioxyd } Fe_2O_3$) i vekslende blandingsforhold, hvilket betinger cementens egenskaber. Derved og ved mindre eller større foramlingsgrad fremkommer almindelig portlandcement, hurtighærdnende cement, hvid cement, lavvarme-cement, havvand-cement og super-cement.

Rene formalede cementer er hurtigstørknende og derfor uanvendelige til almindelig betonstøbning, hvorfor størkningstiden reguleres ved gipstilsætning.

S-cement og moler-cement.

Ved blanding af portland-cementer med sand, moler, slagger m. m. fremkommer blandingscementer som S-cement, moler-cement m. m.

Hærdningsenergien eller varmeudviklingen er noget ringere end for portland-cement, således at man i koldt vejr må være omhyggelig med beskyttelse mod for stærk afkøling og passe på ikke at afforme for tidligt.

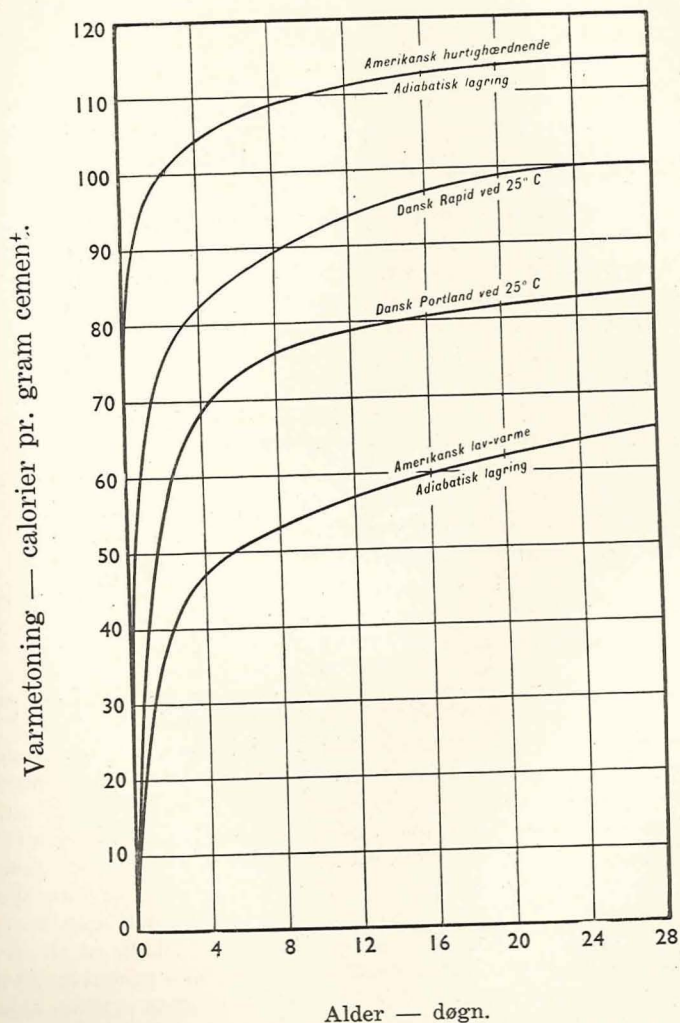
Såfremt disse cementer anvendes til vinterstøbning, må særlige forsigtighedsregler iagttages.

Hurtighærdnende cementer.

Ved anvendelse af hurtighærdnende cementer skal opmærksomheden særligt henledes på, at den omstændighed, at de er hurtighærdnende, ikke nødvendigvis medfører, at de tillige er hurtigstørknende, og at der derom gælder det ovenfor anførte.

På samme måde som ved de normale portland-cementer bør der derfor altid foretages kontrol med størkningstiden.

Fig. 10.



Opvarmes betonen, må den ikke komme over 25 ° C, uden man har anstillet særlige forsøg, idet den herved kan blive for hurtig størknende.

Ønsker man — for at fremme afformningen — at opvarme betonen ud over det tidspunkt, hvor den har nået »frosthårdhed«, som beskrevet på side 39—43, vil det på grund af de store opvarmningsomkostninger som regel altid betale sig at anvende hurtighærdnende cement, idet opvarmningstiden derved kan afkortes.

Aluminatcement.

Aluminatcement fremstilles ved smeltning af blandinger af kalciumkarbonat (kridt, kalksten m. m.) med aluminiumrige stoffer som bauxit, men da de sidstnævnte råmaterialer ikke findes her i landet, fremstilles de ikke her og må importeres.

Den udmærker sig ved en meget hurtig hærdning ledsaget af en betydelig varmeudvikling, således at man ved nogenlunde tykke betonkonstruktioner ikke behøver at træffe særlige opvarmningsforanstaltninger. *Derimod skal man være forsigtig med temperaturer over 35 ° C, ved hvilke betonen kan tage varig skade.*

For aluminatcement er størkningens tidsmæssige forløb, i modsætning til hvad tilfældet er for de øvrige omtalte cementer, næsten uafhængig af vand-cementtallet.

Aluminatcement er velegnet til støbning i streng frost.

Aluminatcement og portlandcement maa *ikke* blandes, da blandingen er hurtig størknende. Derfor må man på byggepladsen holde de to cementer skarpt adskilte. Aluminatcement må heller ikke komme i berøring med kalk, der har samme uheldige virkning.

Den hærdnende cements farve er normalt blågrå, men undertiden tørvebrun. Bliver farven brun, skal man være påpasselig, da det kan skyldes en fabriktionsfejl og være ledsaget af ringe styrke.

Kemikalietilsætning (frostvædske) (35—3) (42 C 1).

Som nævnt kan betonen tage skade, når vandet i den fryser. Bl. a. på grund af de i vandet opløste salte kan portlandcementmørtlers frysepunkt regnes at ligge ved ca. $\div 3$ °C.

Det er imidlertid muligt ved tilsætning af kemikalier at nedsætte frysepunktet yderligere. Denne frysepunktssænkning er afhængig af koncentrationen, og da de fleste salte samtidig influerer på betonens egenskaber på anden måde, er der en grænse for, hvor store mængder man kan tilsætte. Visse klorider har imidlertid samtidig den egenskab, at de fremskynder størknings- og hærdningsprocesserne, hvorved cementens hydrationsvarme udvikles i løbet af en kortere periode; man opnår således en gunstig temperaturstigning i den kritiske periode efter størkningen, og indtil betonen er blevet »frosthård«; men der er altid risiko for at få hurtig størknende cement, hvilket er forklaringen på stærkt vekslende resultater. Særlig kalcium klorid og aluminium klorid har vist sig

anvendelige, og af disse to er det først nævnte det mest anvendte på grund af sin prisbillighed. Tilsætningen af kalcium klorid giver ved temperaturer i nærheden af frysepunktet betonen samme styrketilvækst, som man opnår ved normale sommertemperaturer, hvilket medfører, at betonen hurtigere bliver »frosthård« eller opnår så stor styrke, at konstruktionen kan afformes. Den periode, i hvilken betonen kræver opvarmning, tildækning etc., bliver således forkortet. Når betonen bliver ældre, udjævnes forskellen mellem styrkerne, selv om der foreligger rapporter, hvorefter beton med kalcium klorid efter 11 års forløb havde 26 % større styrke end beton uden kalcium klorid.

Den størst tilladelige tilsætningsmængde for kalcium klorid er ca. 2 % af cementens vægt, da risikoen for for hurtig størkning stiger med koncentrationen. Hvis betonblandings temperaturen ved anvendelse af tabellerne skal være større end 25 ° C, må mængden formindskes til 1,5 %. Ved temperaturer over 30 ° C nedsættes mængden til 1 %, da man ellers risikerer for hurtig størkning. Det kan ligeledes være nødvendigt at formindske tilsætningen ved anvendelse af hurtighærdnende cementer, der tillige er hurtigstørknende.

Tilsætningen af kalcium klorid og andre salte har følgende ulemper:

- 1) Der opstår senere kraftige udblomstringer.
- 2) Betonen bliver hygroskopisk, og i armerede konstruktioner kan armeringen ruste, især hvis betonen er utæt, og den vil kunne blive udsat for skiftevis gennemfugtning og udtørring.
- 3) Betonens ledningsevne for elektrisk strøm bliver stærkt forøget.

Anvendelse af kalcium klorid er indtil videre ikke tilladt ved armerede konstruktioner i Københavns kommune.

Det vil af ovenstående forstås, at man ved armerede konstruktioner skal udvise forsigtighed, og at kalcium klorid bedst egner sig til uarmerede konstruktioner. Det kan med fordel anvendes i alle temperaturområder uden dog at overflødiggøre de øvrige i teksten omtalte forholdsregler som tildækning, opvarmning o. s. v.

I temperaturområdet 0 ° til 5 ° C vil man have særlig fordel af tilsætninger, da man normalt ikke foretager opvarmning af støbevandet.

Udover direkte anvendelse af kalcium klorid kan man eventuelt anvende industrielt fremstillede frostvædske, hvis sammensætning hemmeligholdes, men det vil forstås, at de væsentligt indeholder et kemikalium, der nedsætter vandets frysepunkt, f. eks. kogsalt, og et kemikalium, der virker som accellerator. Hvilke ulemper, der følger med deres anvendelse, kan ikke på forhånd siges, når sammensætningen ikke er kendt. Anvendelse af frostvædske i forbindelse med armerede konstruktioner er indtil videre ikke tilladt i Københavns kommune.

Udvalget må forbeholde sig at tage nærmere stilling til spørgsmålet om frostvædske anvendelsesområde, når mere omfattende materiale foreligger ved den endelige udgaves udsendelse.

De i parentes stående numre refererer til Statens Byggeforskningsinstituts kartotek.

- (27 H 1) *Winter Concreting Methods and Plant.*
C. S. Hill.
»Eng. News-Record«.
New York, september—oktober 1927.
Vol. 99.
Pag. 333-391-421-466-506-544-597-674.
- (28 F 2) *Om frossen Betong.*
Rikard V. Frost.
»Betong«.
Stockholm, 1928.
- (28 G 2) *Försök med användning av värmeutvecklande cement för betong-
gjutning i kyla.*
Hjalmar Granholm.
»Betong«.
Stockholm, 1928.
Nr. 3. Pag. 97-111.
- (30 H 3) *Betonstøbning om Vinteren.*
K. Hunderup.
»Ingeniøren«.
København, 1930.
Årgang 39, nr. 7, pag. 77-79.
- (31—6) *Einfluss niederer Temperaturen auf das Abbinden und Erhärten
des Beton.*
»Zement«.
Berlin, 1931.
Pag. 478.
- (31 G 3) *Frozen concrete used in Russian buildings.*
A. M. Gunzburg.
»Eng. New-Record«.
New York, august 1931.
Vol. 107, pag. 207.

- (32 B 3) *Elektrische Erwärmung von Beton.*
Albert Brund & Helge Bohlin.
»Beton und Eisen«.
Berlin, 1932.
Heft 9, pag. 138.
- (32 G 2) *Specialcement för Vinterarbeten.*
Hjalmar Granholm.
»Betong«.
Stockholm, 1932.
No. 1, pag. 25-43.
- (32 O 1) *Betonstøbning i Kulde.*
Chr. Ostenfeld.
»Ingeniøren«.
København, 1932.
Årgang 41, pag. 347-348.
- (33 R 1) *Die elektrische Beheizung des Betons.*
Andreas Réthy.
»Beton und Eisen«.
Berlin, 1933. Pag. 282.
1934. Pag. 58 og 277.
- (34—4) *Further Studies of Temperature Effects on Compressive Strength of Concrete.*
»American Concrete Institute«.
Detroit, november 1934.
Pag. 165.
- (34 T 3) *Temperature effects on Compressive Strength of Concrete.*
A. G. Timms and N. H. Withey.
»Proc. ACI«.
Detroit, januar—februar 1934.
Vol. 30, pag. 159.
- (34 Y 1) *Manufacturing Concrete During Cold Weather.*
R. B. Young and W. Schnarr.
»Proc. ACI«.
Detroit, marts—april 1934.
Vol. 30, pag. 279 og 292.
- (35—3) *Støbning i koldt Vejr.*
»Beton-Teknik«.
København, 1935.
No. 4, pag. 31.

- (35 K 2) *Electric Heating of Concrete Construction.*
G. Kunz.
»Eng. News-Record«.
New York, 1935. (Feb. 21).
Vol. 114, pag. 286.
- (35 S 4) *Berechnung der Abkühlung des Beton bei Winterarbeiten.*
B. G. Skramtajev og W. Soroker.
»Beton und Eisen«.
Berlin, 1935.
Pag. 30.
- (36 K 2) *Traitement électrique du béton pour éviter la gelée.*
C. Kunz, E. Fontanellaz og P. Haller.
»Le Génie Civil«.
Paris, 29. august og 5. september 1936.
Pag. 186 og 204.
- (39—31) *Betons Hærdning i Kulde.*
»Beton-Teknik«.
København, 1939.
No. 3, pag. 21.
- (39 K 1) *Tests of Concrete Curing Materials.*
F. H. Jackson og W. F. Kellermann.
»Proc. ACI«.
Detroit, juni 1939.
Vol. 35, pag. 481 og 500.
- (40—8) *Concreting in Cold Weather.*
»Concrete and Constr. Eng.«.
London, maj 1940.
Vol. 35, pag. 246.
- (40 S 1) *Concrete Performance in an Arid Climate.*
Th. E. Stanton.
»Proc. ACI«.
Detroit, november 1940.
Vol. 37, pag. 141.
- (41—3 b) *Betonggjutning vintertid.*
»Betongtekniska Anvisningar nr. 2«.
»Statens Industri-Kommission, Betongtekniske Byrån«.
Stockholm, 1941.
(Seeling & Co.).
4. revideret udgave 1945.

- (41—21) *Einfluss und Messung niedriger Temperaturen im Betonstrassenbau.*
»Die Betonstrasse«.
Berlin, oktober 1941.
Pag. 148.
- (41 K 1) *Winterarbeiten im Beton und Eisenbetonbau.*
»A. Kleinlogel«.
Berlin, 1941.
W. Ernst u. Sohn.
- (42 B 4) *Canal Lining Cured by Sprayed Coats of White-Pigmented Compound.*
O. G. Boden.
»Proc. ACI«.
Detroit, april 1942.
Vol. 38, pag. 449-451.
- (42 C 1) *Cold Weather Concreting.*
H. F. Clemmer.
»12th Annual Convention«.
»The National Ready Mixed Concrete Association.
Washington, marts 1942.
16 pag.
- (43—9) *Concreting in Cold Weather.*
»Concrete and Constr. Eng.«.
London, november 1943.
Vol. 38, pag. 359.
- (44—4) *Concreting in Cold Weather.*
»Concrete and Constr. Eng.«.
London, april 1944.
Vol. 39, pag. 81.
- (44—6) *Concreting in Cold Weather.*
»Concrete and Constr. Eng.«.
London, juni 1944.
Vol. 39, pag. 158.
- (44 B 7) *Das Betonieren bei Frost.*
Franz Böhm.
1944.

- (44 V 1) *Influence of Various Curing Methods on Strength and Abrasive Wear Resistance of a Portland Cement Concrete.*
H. C. Vollmer.
»Twenty-fourth Annual Meeting«.
»Proc. Highway Research Board«.
Washington, D.C. 1944.
- (45—3) *Betons Afbinding.*
»Beton-Teknik«.
København, 1945.
Årgang 11, no. 3, pag. 94-96.
- (45—7) *Concreting in Cold Weather.*
»Concrete and Constr. Eng.«.
London, december 1945.
Vol. 40, pag. 243.
- (45 L 1) *Betong som byggemateriel i kalt klima.*
Inge Lyse.
»Betong«.
Stockholm, 1945.
Vol. 30, no. 1, pag. 28-43.
- (45 P 3) *A Working Hypothesis for Further Studies of Frost Resistance of Concrete.*
T. C. Powers.
»Proc. ACI«.
Detroit, februar 1945.
Vol. 41, pag. 245-72.
Med 21 litteraturhenvisninger.
- (46 B 5) *Concrete Curing with Sealing Compounds.*
R. F. Blanks, H. S. Meissner og L. H. Tuthill.
»Proc. ACI«.
Detroit, april 1946.
Vol. 42, pag. 493-512.
- (47—19) *Proposed Recommended Practice for Winter Concreting Methods.*
Reported by ACI Committee 604.
»Proc. ACI«.
Detroit, december 1947.
Vol. 44, pag. 309-327.
Med 135 litteraturhenvisninger.
- (47—43) *Vinterbetonering.*
Svenska Cementföreningen.
Malmö, januar 1947.
22 sider.

Bilag nr. I.

Normer for bygningskonstruktioner.

2. Beton- og jernbetonkonstruktioner.

Udarbejdet og vedtaget af Dansk Ingeniørforening.

§ 14. Støbning i koldt Vejr.

Ved Støbning ved Temperaturer under Frysepunktet skal Betonmassen ved Udstøbningen have en Temperatur paa mindst 5° C. Ved stærkere Frost maa Betonen ved Udstøbningen have en saa høj Temperatur og beskyttes paa en saadan Maade mod Afkøling, at dens Temperatur under Afbindingen eller de tre første Døgn ikke synker under 2° C. Derefter kan den i Almindelighed regnes at være frostbestandig.

Der maa ikke støbes mod Beton, hvis Overflade er koldere end 2° C, dersom det er af Betydning, at der bliver god Vedhængning i Fladen.

Frosne Materialer maa ikke anvendes til Betonstøbning. Ved Opvarmning af Materialerne eller ved Anvendelse af varmt Vand, kan Betonens Temperatur gøres passende, helst over 15° C, men ikke over 30° Det maa paases, at Cementen ikke kommer i Berøring med kogende Vand.

Beskyttelse mod Afkøling og Frysning kan ske med Halmmaatter o.l., men derimod ikke med Lag af Sand eller Grus, der, hvis de gennemvædes inden Frysningen, kan foraarsage Frostskader i Betonen.

Anvendelsen af Frostvædske, Kogsalt, Kalciumklorid, Magniumklorid, Soda o.l. er kun tilladt, hvis de ikke skader Armeringen eller er uheldige for Betonens Volumenbestandighed.

Bilag nr. 2.

For at få en samlet oversigt over arbejdets omfang, og for at undgå unødvendige gentagelser, udfyldes for hver byggeplads nedenstående:

FÆLLES-RAPPORT:

Arbejdspladsens navn

Bygning no.:									
Afsnit no.:									
Kældergulv:									
Etage samt dæk over	Kælder								
	Stue								
	1. sal								
	2. sal								
	3. sal								
	4. sal								
Tagetage									*)

Opbevaringsmåde	Frit	Halvtag	Skur/Silo	Andet
Blandemaskine:				
Cement:				
Sand:				
Sten:				
Andet:				*)

Blandemaskine..... Størrelse.....l Blandetid.....sek.
 Beton-transportmåde..... Transportafstand.....m
 Transporttid.....sek. Udlægnings- + afretningstid.....min.

*) Der sættes blot et kryds i de rubrikker, hvor der foregår vinterstøbning.

Beskrivelse af opvarmningsanlæg:

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Alm. beskrivelse af arbejdspladsens indretning:

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....dag den / 19 .

Underskrift.

For hver enkelt konstruktionsdel, der støbes med vinterstøbningsforanstaltninger, udfyldes samtidig følgende:

ENKELT-RAPPORT:

Arbejdsplads

Bygning no..... afsnit no..... etage no.....

Bygningselement..... tykkelse

Støbningen påbegyndt kl..... afsluttet kl..... m²/m³.....

Lufttemp.	støbedagen /				2. dag /				3. dag /				4. dag /			
	nat	8	13	17	nat	8	13	17	nat	8	13	17	nat	8	13	17
ovenover/ udenfor																
nedenunder/ indenfor																
solskin $\frac{+}{-}$																

Temperatur lige før blandingen	Vand	Cement	Sand	Sten	Tilsætning
	*)	*)	*)	*)	*)

Når tilsættes det varme vand.....

Den blandede betons temperatur	Ved blandingens slutning	Når tildækningen er anbragt	2. dag		3. dag		4. dag	
			kl. 7	kl. 17	kl. 7	kl. 17	kl. 7	kl. 17
	*)	*)						

Isolation	Form-tykkelse	Halm-måtter	Jord		andet:
			tykkelse	temp.	
ovenover/udenfor					
nedenunder/indenfor					

*) Disse tal skal alle være middeltal af en række aflæsninger foretaget hver time. Ved korte støbninger foretages dog mindst 3 aflæsninger.

Blandingsforhold	cem.	vand	sten	sand	tilsætning
i een blanding : liter					
i 1 m ³ (udf. på kontoret)					

Cementfabrikat..... Frosttilsætningsfabrikat.....

I 100 liter tilsætning er indeholdt.....

Grus- og stenleverandør

Diverse

.....dag den / 19 .

Underskrift.

Bilag nr. 3.

Hvis al opvarmning af betonmaterialerne samt rengøring af forme, armering o. s. v. sker ved hjælp af damp, kræves en dampkedel, der

ved $t_u = 0^{\circ} \text{ C}$	bør have 2 m ² hedeplade pr. m ³ beton pr. time,
ved $t_u = \div 5^{\circ} \text{ C}$	» » 3 » » » » » » » »
ved $t_u = \div 10^{\circ} \text{ C}$	» » 4 » » » » » » » »
ved $t_u = \div 15^{\circ} \text{ C}$	» » 5 » » » » » » » »

Dette svarer til et brændselsforbrug

ved $t_u = 0^{\circ} \text{ C}$	på 7 kg kul pr. m ³ beton,
ved $t_u = \div 5^{\circ} \text{ C}$	» 11 » » » » » » » »
ved $t_u = \div 10^{\circ} \text{ C}$	» 14 » » » » » » » »
ved $t_u = \div 15^{\circ} \text{ C}$	» 18 » » » » » » » »

Til orientering kan samtidig oplyses, at til 1 ton kul svarer omtrent

20 hl	koks eller cinders,
2 t	formbrændsel,
2,5 t	tørv,
6 rm	brænde.

Bilag nr. 4.

Ud fra Meteorologisk Instituts målinger i Landbohøjskolens have i årene 1922 til 1946 kan det udregnes, at den procentiske chance for, at morgen-temperaturen kl. 8.00 (der skønnes at være den i arbejdstiden lavest forekommende) falder under $+ 5^{\circ} \text{ C}$, 0° C , $\div 5^{\circ} \text{ C}$ og $\div 15^{\circ} \text{ C}$ vil være:

Tabel 18.

	Sept.	Okt.	Nov.	Dec.	Jan.	Febr.	Marts	April	Maj
under $+ 5^{\circ} \text{ C}$:	0,0	14	50	83	94	93	88	40	2
» 0° C :	0,0	1,4	6	27	41	46	27	1,9	0,1
» $\div 5^{\circ} \text{ C}$:	0,0	0,0	0,3	4	11	15	4	0,0	0,0
» $\div 15^{\circ} \text{ C}$:	0,0	0,0	0,0	0	0,5	0,3	0,1	0,0	0,0

De i tabellen anvendte $+ 5^{\circ} \text{ C}$, 0° C , $\div 5^{\circ} \text{ C}$ og $\div 15^{\circ} \text{ C}$ svarer til den nedre grænse for de på side 27—32 omtalte temperaturintervaller, for hvilke det nødvendige materiel m. m. er specificeret.

Det fremgår af tabellen, at hvis man i hver enkelt måned forbereder sig på det temperaturinterval, der er angivet med den tykke trappelinie, vil man normalt være sikret imod overraskelser.

For at undgå misforståelser skal det pointeres, at ovenstående tabel ikke bør benyttes i de overvejelser, man fra dag til dag må gøre sig, om det kommende døgn minimumstemperatur for at kunne fastlægge beton-temperaturen og isolationen. Her bør alene benyttes de side 16 omtalte midler.

A

Afbinding..... se størkning
 Afbindingstid..... se størkningstid
 Afdækning..... se tildækning
 Afformning 15, 21
 Afformningstidspunktet 15, 21
 Afformningsstyrke 15
 Aluminatcement 62
 Arbejdsplads 32
 Armering 21

B

Beton
 begyndelsestemperatur 45
 grus 19, 33
 hærdningstid 57
 kontrol 17
 kvalitet 18
 opvarmningstemperatur 45
 prøvelegemer 18
 sand se grus
 sten se grus
 støbeskel 21
 støbning 38
 størkning 26, 57
 styrke 39
 sætmål 53
 temperatur 24, 43
 tildækning 38
 transport 38
 trykstyrke 15, 39
 trækstyrke 14, 15
 udtørring 41
 våd-lagring 24
 vand-cement-forhold 59
 vanding 20, 24

Blandemaskine 37
 Bunkers 34
 Brændselsforbrug 78

C

Cementer
 aluminatcement 62
 hurtig hærdnende cementer... 56
 moler-cement 60
 portland cement 19, 60
 rapid cement 19, 56
 S-cement 60
 Cementmængde 58

D

Damp 34
 Dampforbrug 78
 Damprør 34
 Definitioner 13
 Delmaterialernes temperatur 53

E

Enkeltrapport 76

F

Filler 20
 Forme 21
 Forskalling se forme
 Frostbestandighed 13
 Frosthærdning 13
 »Frosthårdhed« 13, 26, 43, 45
 Frost
 let 28

streng	30
meget streng	31
Frostvædsker	21, 36, 63
Fundamenter	25
Frysepunkt	13
Fællesrapport	74

G

Groveton	
søjler	49, 51
vægge	48, 51
Grus	19, 33

H

Halmmåtter	28, 38
Hedeflade	78
Helstøbt betonhus	42
Hurtig hærdnende cementer.....	60
Hærdning	13, 57
Hærdningstemperatur	13
Hærdningstid	57, 58

I

Is	21, 28
Isolation	27, 29

J

Jernforme	21
Jernbeton	
normer	73
plader	46, 50
søjler	47, 50

K

Kalciumklorid	63
Kalksten	20
Kedel	78
Kemikalietilsætning	62
Koksgryder	40
Kontrol	17

L

Ler	20
Litteraturfortegnelse	65
Lokomobil	28
Lufttemperatur	45

M

Materialer	
lagring	33
opvarmning	33
Meteorologiske meldinger	16, 79
Moler-cement	60
Murede vægge	41

N

Normer	73
--------------	----

O

Opvarmning	
beton	43
luften	40
materialer	34

P

Plader	
jernbeton	46
på frostfri jord	52
Portland-cement	19, 60
Praktiske anvisninger	11
Presenninger	28, 42
Prøvelegemer	18

R

Rapid-cement	19, 56
Rapport	
enkelt	74
fælles	76
Resulterende temperatur	46
Rørslanger	34

S

Sand	se grus
S-cement	60
Siloer	35
Skæl	36
Sod	40
Sne	21, 28
Statistiske temp. undersøgelser.....	79
Sten	se grus
Støbeskel	21
Støbning	38
Støbte dæk	41
Størkning	26, 57
Størkningstid	57
Sparesten	35
Søjler	
jernbeton	47, 50
groveton	49, 51
Sætmål	53

T

Temperatur	
betonens begyndelsestemp.....	45
delmaterialernes temperatur..	53
forudsigelser	16
kontrol	17
lufttemperatur	45
målinger	17
områder	27
resulterende lufttemperatur...	46

Termometer	17
Ternings-tryk-brudstyrke	14
Tildækning	38
Tildækningstid	17
Tillæg	55
Transport	38
Trykstyrke	15, 39
Trækstyrke	14, 15
Tø	27

U

Udgravninger	25
Udstøbning	13
Udtrøring	41
Underfrysning	25
Usikkerhedstillæg	44

V

Våd-lagring	24
Vand	20, 24, 35
-cement-forhold	59
ledninger	27, 29, 36
mængde	59
Varme	
tab	44
toning	59
Vejrmeldinger	16
Vægge	
groveton	48, 51