

HURTIG TILDÆKNING AF BETON  
STØBT OM VINTEREN

ERIK RASTRUP

STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT

*ex. 5*

*00776 P*

20 JULI 1988

STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT SÆRTRYK NR. 4

**OM BETYDNINGEN AF  
HURTIG TILDÆKNING AF BETON  
STØBT OM VINTEREN**

**ERIK RASTRUP**

Civilingeniør

VED udarbejdelsen af de diagrammer til forudbestemmelse af den nødvendige betontemperatur ved vinterbetonstøbning, der findes i den af Dansk Ingeniørforenings arbejdsgruppe for beton og jernbeton udarbejdede foreløbige anvisning i betonstøbning om vinteren, og som er udgivet af Statens Byggeforskningsinstitut som anvisning nr. 2, er det forudsat, at betonen tildækkes med den i hvert enkelt tilfælde angivne isolation straks efter støbningen. Når bortset fra ganske specielle tilfælde vil det i praksis volde urimelige vanskeligheder at overholde denne forudsætning, og det har derfor stor praktisk interesse at vide, hvor stor afkøling af betonoverfladen en eventuel tildækningsforsinkelse betyder eller sagt med andre ord, hvormeget ekstra betonen skal opvarmes under de forskellige forhold, for at den i tildækningsøjeblikket netop har den temperatur, der er forudsat i de ovennævnte diagrammer.

Byggeforskningsinstituttet har derfor anmodet civilingeniør Erik Rastrup, der har udarbejdet de tidligere diagrammer om at foretage en undersøgelse af dette spørgsmål, og han er kommet til det værdifulde og i praksis nemt anvendelige resultat, som findes nærmere beskrevet i efterfølgende artikel. Resultatet vil blive indarbejdet i den endelige udgave af vejledningen, når denne antagelig om ca. et år foreligger, men på grund af dettes praktiske anvendelighed har Instituttet allerede på dette tidspunkt skønnet det hensigtsmæssigt at informere offentligheden derom, således at det kan komme til nytte allerede i den indeværende vinter.

*Niels M. Plum.*

Forskningsleder, civilingeniør.

I diagrammerne i ovennævnte »anvisning 2«, side 46—51, kan man finde den temperatur  $t_b$ , som betonen i en konstruktionsdel skal have umiddelbart efter tildækningen for at opnå »frosthårdhed«<sup>1)</sup> ved udstøbning i koldt vejr. Man kan dog ikke nøjes med at kende  $t_b$ , men må også kende betonens temperaturfald fra blandedmaskinen, til den er tildækket, se fig. 1. Dette temperaturfald kan deles i to:

A) Temperaturfaldet fra blandingens begyndelse til udstøbningen er slut. Dette er i »anvisning 2« skønnet til ca. 10—20 % af temperaturforskellen  $t_b - t_u$ , hvor  $t_u$  er luftens temperatur under udstøbningen.

Det er vanskeligt her at angive denne størrelse nøjagtigere, idet den er afhængig af blandemåden, transportens art og længde samt selve udstøbningsmåden.

B) Temperaturfaldet  $\Delta t$  fra udstøbningens afslutning til tildækningens afslutning.

<sup>1)</sup> Hvilket vil sige, at betonen har opnået netop så stor styrke, at den kan modstå nogle få frysninger.

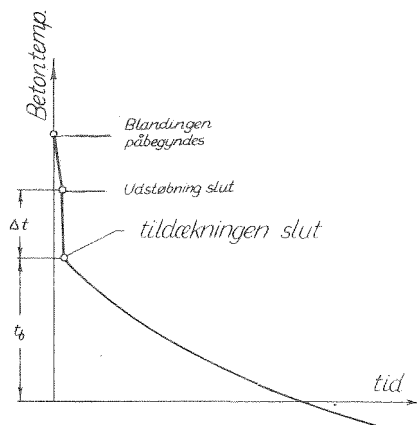


Fig. 1. Schematisk oversigt over sammenhængen mellem tiden fra blandemaskinens tømning og betontemperaturens fald.

Inden vi går over til at beskrive temperaturfaldet  $\Delta t$  nærmere, gennemgås for overskuelighedens skyld eet af diagrammerne fra ovennævnte »anvisning nr. 2« (her gengivet som fig. 2).

Dette diagram anvendes som antydning med den punkterede linie, man starter til venstre med f. eks. en jernbetonplade, der på oversiden er isoleret med 2,5 cm halmmåtter og på undersiden isoleret af støbeformen, hvilket sidste diagrammet uden videre forudsætter for plader.

Man følger den lodrette linie (for 2,5 cm måttelag ved plader) op til skrålinien, hvor f. eks. betontykkelsen 20 cm står, derfra fortsættes vandret til højre hen til den resulterende temperatur f. eks.  $t_u = +15^\circ\text{C}$ <sup>2)</sup> og endelig findes betonens begyndelsestemperatur til  $t_b = 12^\circ\text{C}$  ved fra dette skæringspunkt at gå lodret ned.

Da den første og væsentligste del af afkølingen af betonen efter tildækningen foregår om natten, hvor udstrålingen kan blive ret kraftig, har man

<sup>2)</sup> Se meddelelse I—V fra Danmarks tekniske Højskole's Laboratorium for »Opvarmning og Ventilation«.

her set sig nødsaget til at regne med den resulterende ydre temperatur, som med tilstrækkelig god tilnærmelse kan sættes til lufttemperaturen med et fradrag for udstrålingen til rummet, således som nærmere angivet nedenunder diagrammet.

Temperaturfaldet  $\Delta t$  optræder kun ved konstruktioner (f. eks. vandrette plader), der ikke kan tildækkes, før udstøbningen og evt. afretning etc. er tilendebragt.

Diagrammet, fig. 3, gælder for alle slags beton, idet man ved dets udledning har set bort fra betonens hydrationsvarme. Ved dets udledning har man som ved de andre diagrammer regnet pladen isoleret på undersiden af støbeformen. Diagrammet bruges på følgende måde:

Man starter med pladetykkelsen til venstre, f. eks. 20 cm, går lodret op til forsinkelsestiden, f. eks. 2 timer, derfra vandret til højre til temperaturforskellen  $t_b - t_u = 12 - (-10) = 22^\circ\text{C}$ , og til slut ned til resultatet  $\Delta t = 9^\circ\text{C}$ .

Her er regnet  $t_u =$  dagens lufttemperatur, idet man ser bort fra udstrålingen i dagtimerne.

Som man ser af eksemplet, skal betonen ved en forsinkelse af tildækningen på 2 timer ikke blot opvarmes til  $t_b = +12^\circ$ , som efter tabellerne i anvisning 2, men yderligere:

a) p. g. a. varmetab under transporten etc.	
$0,2 \cdot (12^\circ - (-10^\circ)) =$	$4^\circ\text{C}$ .
b) p. g. a. tildækningsforsinkelsen =	$9^\circ\text{C}$ .
ialt tillæg	$13^\circ\text{C}$ .

således at betonen, når den forlader blandemaskinen, skal være

$$12 + 13 = 25^\circ\text{C}.$$

Hvis det kan lykkes at gennemføre tildækningen med kun et kvarters forsinkelse, findes  $\Delta t = 1^\circ$  og beton-

temperaturen i blandemaskinen til  $12 + 1 + 4 = 17^\circ\text{C}$ .

Der ses altså at være en særdeles kraftig afhængighed mellem tildækningsforsinkelsen og betonens begyndelsestemperatur.

Den i disse to eksempler fundne forøgelse af betonens begyndelsestemperatur fra  $17^\circ\text{C}$  til  $25^\circ\text{C}$  er meget afgørende for opvarmningsmåden. For at opnå en betontemperatur på ca.  $25^\circ\text{C}$ , er det nødvendigt ikke alene at opvarme støbevandet<sup>3)</sup> til ca.  $60^\circ\text{C}$ , men også tilslagsmaterialerne til ca.  $15^\circ\text{C}$ <sup>3)</sup>, hvorimod man for at opnå en betontemperatur på  $17^\circ\text{C}$  kan nøjes med alene at opvarme støbevandet til ca.  $60^\circ\text{C}$  og blot holde tilslagsmaterialerne frostfri.

Det fremgår desuden af diagrammet, fig. 3, at tynde plader er betydeligt mere udsatte end tykke plader.

### Det teoretiske grundlag for diagrammerne.

For at forenkle beregningerne forudsættes følgende:

- Betonen regnes at have så stor varmeledningsevne, at man kan regne dens temperatur ens i alle punkter til samme tid.
- Isolationslaget regnes at have så ringe vandværdi (»varmefylde« pr. rumenhed), at man kan se bort fra dette lags varmeabsorption.
- Omgivelsernes resulterende temperatur er overalt  $t_u$  i forhold til isolationslagets overflade.

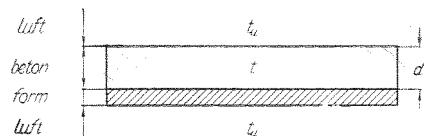


Fig. 4. Schematisk snit i betonplade.

Vi betragter nu betonpladen (se fig. 4) i tidsrummet fra tiden  $= z$  til tiden  $= z + dz$ , i dette tidsrum varierer be-

<sup>3)</sup> Se tabel 16, side 53, i »anvisning 2«.

tontemperaturen fra  $t$  til  $t + dt$ , og betonen afgiver varmemængden:

$$(k_1 + k_2) \cdot A \cdot (t - t_u) \cdot dz$$

til omgivelserne. Her er  $k_1$  og  $k_2$  lig varmetransmissionstallene for varme-strømmen fra betonoverflade til luft for henholdsvis oversiden og undersiden af betonen.  $A$  er overfladens eller underfladens areal, som her er regnet lige store.

Samtidig hermed formindskes betonens varmeindhold med  $A \cdot d \cdot c \cdot \gamma \cdot dt$ , hvor  $c$  er betonens varmefylde pr. vægtenhed, og  $\gamma$  er betonens rumvægt. I samme tidsrum udvikler betonen hydrationsvarmen  $dQ$ . Denne sidstnævnte størrelse er i øjeblikket genstand for en nærmere undersøgelse foranstaltet af Byggeforskningsinstituttet, og vi skal derfor ikke komme nærmere ind på dennes værdi her.

Vi kan nu opskrive følgende differentialligning:

$$dQ = A \cdot d \cdot c \cdot \gamma \cdot dt + (k_1 + k_2) \cdot A \cdot (t - t_u) dz$$

Denne omskrives til, idet vi her vil nøjes med at interessere os for diagrammet fig. 3, og derfor kan regne  $dQ = 0$  på grund af det korte tidsrum, hvor diagrammet skal gælde:

$$\frac{dt}{t - t_u} = -a \cdot dz$$

$$\text{hvor } a = \frac{(k_1 + k_2)A}{c \cdot \gamma \cdot d \cdot A}$$

Denne ligning integreres nu fra tiden  $z = 0$  til tiden  $z = z$ , i samme tidsrum varierer temperaturen fra  $t = t_b + \Delta t$  til  $t = t_b$

$$\text{altså } \int_{t_b + \Delta t}^{t_b} \frac{dt}{t - t_u} = - \int_0^z a dz$$

heraf:

$$\log_n(t_b - t_u) - \log_n(t_b + \Delta t - t_u) = -az$$

$$\text{og } \log_n \left( \frac{t_b - t_u}{t_b - t_u + \Delta t} \right) = -az$$

og 
$$\frac{t_b - t_u}{t_b - t_u + \Delta t} = e^{-az}$$

og endelig:

$$\Delta t = (e^{az} - 1) (t_b - t_u)$$

Denne ligning er grundlaget for diagrammet fig. 3, idet man kender størrelserne

$$a = \frac{(k_1 + k_2)}{c \cdot \gamma \cdot d} \quad \text{samt } z \text{ og } (t_b - t_u).$$

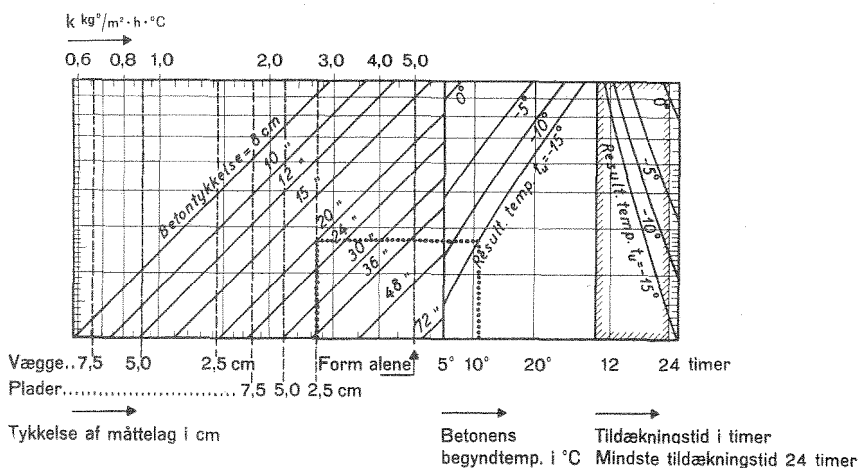
Om forudsætningerne kan bemærkes følgende:

ad a) Så længe pladen er utildækket, vil temperaturen ikke blive ensartet igennem pladen, men så snart pladen er tildækket, vil temperaturforskellene

udjævne sig. Forudsætningen vil ikke passe godt for massive konstruktioner (mere end 1—2 m tykke), her vil den fundne temperatur blive at opfatte som en middelværdi. Desuden må man også gøre opmærksom på, at hjørner og kanter er særlige udsatte for stærk afkøling, og at man må være særlig omhyggelig med at isolere disse.

ad b) Det må her forudsættes, at isolationsmaterialerne er tørre og lette (meget ringe samlet vægt). Er f. eks. mätterne fulde af is eller blot våde, kan dette bevirke et anseeligt ekstra temperaturfald. Isolationsmaterialer som letbeton, kork o. l. kan ligeledes sluge en del varme. Man må derfor påse, at sådanne materialer er opvarmede ved brugen.

**Diagrammer med eksempel.**



- Ved vægge: Form og samme isolation på begge sider og
- t<sub>u</sub> = lufttemperatur minus 6°C for skyfri himmel og vindstille
  - t<sub>u</sub> = lufttemperatur minus 3°C for skyfri himmel og nogen blæst
  - t<sub>u</sub> = lufttemperatur for overskyet himmel
- Ved plader: Form på undersiden og isolation på oversiden og
- t<sub>u</sub> = lufttemperatur minus 10°C for skyfri himmel og vindstille
  - t<sub>u</sub> = lufttemperatur minus 5°C for skyfri himmel og nogen blæst
  - t<sub>u</sub> = lufttemperatur for overskyet himmel

Fig. 2. Diagram til forudbestemmelse af betons opvarmning og tildæknings tid i vægge og plader med anvendelse af 320 kg Rapid cement pr. m<sup>3</sup>.

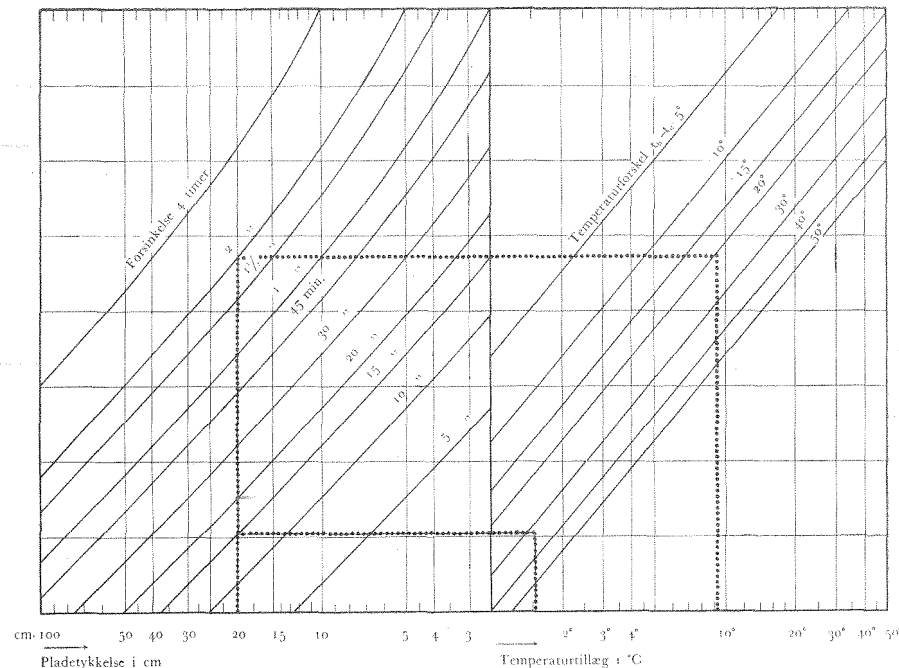


Fig. 3. Diagram til forudbestemmelse af den ekstra opvarmning, der er nødvendig for at kompensere en tildækningsforsinkelelse.

Fig. 3. Diagram for the Predetermination of the Extra Initial Temperature Necessary to Compensate a Delay in Covering a Green Concrete.

**Eksempel.**

20 cm jernbetonplade. Dagens lufttemperatur er — 10°C. Nattens lufttemperatur skønnes til — 15°C. Himlen er overskyet. t<sub>u</sub> = — 15 — 0 = — 15°C. Form på undersiden, 1 halmmåtte à 2,5 cm på oversiden. Forsinkelelse 2 timer. Af fig. 2 findes t<sub>b</sub> = + 12°C. Af fig. 3 findes Δt = 9°C. Varmetab ved transport m. m. 0,2 · (12 + 10) = 4°C. Betonens temperatur i blandemaskinen: 12 + 9 + 4 = 25°C.

**Example: (compare fig. 3)**

20 cm (= 8") concrete slab. The air temperature during the day is — 10°C (= + 14° Fahr.). The air temperature during the night is estimated at — 15°C (= + 5° Fahr.). The sky is cloudy. Resultant temperature t<sub>u</sub> = — 15 — 0 = — 15°C. On the bottom side the concrete is insulated with the form only. On top it is insulated with a straw-mat of 2.5 cm (= 1") thickness placed with a delay of 2 hours after the pouring. From fig. 2 (which is the same as fig. 6 on p. 50 of our Direction No. 2:

Tentative Recommendations for Winter Concreting Methods) the normal initial concrete temperature is seen to be  $t_b = + 12^\circ\text{C}$  ( $= 54^\circ\text{Fahr.}$ ).

From fig. 3 the additional temperature corresponding to two hours' delay is found to be:  $\Delta t = 9^\circ\text{C}$  ( $16^\circ\text{Fahr.}$ ).

The heat loss during transportation etc. is estimated at  $0.2 \times (12 + 10) = 4^\circ\text{C}$  ( $7^\circ\text{Fahr.}$ ).

Concrete temperature when leaving the mixer:  $12 + 9 + 4 = 25^\circ\text{C}$  ( $= 77^\circ\text{Fahr.}$ ).

#### Summary in English.

In the »Tentative Recommendations for Winter Concreting Methods« proposed by the Concrete and Reinforced Concrete Section of The Danish Institution of Civil Engineers, and issued by The Danish National Institute of Building Research as Direction No. 2, 1948, a number of diagrams are showing the temperature, to which concrete under various conditions should be heated to avoid being damaged by frost during the hardening.

In these diagrams it is assumed that the concrete is covered by various insulating materials immediately upon pouring and compaction.

However, it is in practice in some cases almost impossible to place the cover without some delay. To get an impression of what this delay entails and to enable the contractor to compensate correctly for unavoidable delays, the diagram fig. 3 has been established.

Starting with any thickness of the concrete slab it gives for delays from five minutes to four hours and for all practical values of the difference in temperature between concrete and air, the initial extra heat necessary to counteract the delay.

The closing paragraphs of the paper supply the theoretical formulae on which the diagram is based.