



TI-B 103 (94)
Prøvningsmetode
Aktiveringsenergi i den relative hastigheds-
funktion

Prøvningsmetode Aktiveringsenergi i den relative hastigheds- funktion

Deskriptorer:

beton, egenskaber, modenhed, aktiveringsenergi

Udgave: 1
Dato: September, 1994
Sideantal: 5
Godkendt: SOO

Prøvningsmetode Aktiveringsenergi i den relative hastig- hedsfunktion

0. Forord

Denne TI-B metode bestemmer aktiveringsenergien, $E(\theta)$, i den relative hastighedsfunktion, $H(\theta)$, for en given beton efter formlen:

$$H(\theta) = \exp\left[\frac{E(\theta)}{R} \left(\frac{1}{293} - \frac{1}{273 + \theta}\right)\right]$$

idet hastigheden regnes relativt til reaktionshastigheden ved 20°C eller 293°K. For anvendelse i praksis skal aktiveringsenergien, $E(\theta)$, bestemmes som funktion af temperaturen, hvorved hærningen forløber. Denne temperaturafhængighed gælder især for temperaturer lavere end 20°C.

1. Baggrund og omfang

Denne TI-B metode specificerer en metode til bestemmelse af aktiveringsenergien i modenhedsfunktionen til bestemmelse af betonegenskabsudviklingens temperaturafhængighed.

Hærningens reaktionshastighed, k , som funktion af temperaturen bestemmes af udtrykket:

$$k = A \cdot \exp\left[\frac{E}{RT}\right]$$

I et diagram med $1/T$ som x-akse og den naturlige logaritme til k , $\ln k$, som y-akse, vil forholdet E/R være hældningen af en ret linie, der afskærer $\ln A$ på y-aksen.

Den relative hastighed med T_0 som referencetemperatur fås som $H = k_1 / k_0$, der fører til udtrykket:

$$E = (\ln k_1 - \ln k_0) \cdot \frac{R}{\left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T_1}\right)}$$

Det har vist sig at aktiveringsenergien, E , i sig selv er temperaturafhængig, $E = E(\theta)$.

Det er derfor nødvendigt at måle egenskabsudviklingen ved flere temperaturniveauer. For temperaturer over 20°C. Generelt følger aktiveringsenergien følgende udtryk:

$$\begin{aligned} E(\theta) &= B && \text{for } \theta \geq 20^\circ\text{C} \\ E(\theta) &= B + C(20 - \theta) && \text{for } \theta < 20^\circ\text{C} \end{aligned}$$

For at kunne bestemme aktiveringsenergiens temperaturafhængighed måles de betragtede egenskabsudviklinger på prøveemner, der har været lagret ved 6 forskellige temperaturniveauer: 5, 10, 15, 20, 30 og 40°C

2. Referencer

ASTM: C 1074-87 "Standard Practice for Estimating Concrete Strength by the Maturity Method".

3. Definitioner

H	= Den relative reaktionshastighed i forhold til hastigheden ved 20°C
exp	= Exponentialfunktionen e^x
$E(\theta)$	= Aktiveringsenergien, der er en funktion af temperaturen [J/mol]
θ	= Den aktuelle temperatur [°C]
R	= Gaskonstanten $R = 8.314$ [J/mol]
k ,	= Reaktionshastigheden
k_1, k_0	= Reaktionshastighederne ved de absolutte temperaturer T_1 og T_0
T, T_0 og T_1	= Absolut temperatur [°K]
A	= Konstant
B, C	= Konstanter [J/mol]

4. Prøvningsmetode

Denne prøvningsmetode bestemmer aktiveringsenergien for en betonegenskabsudvikling som funktion af temperaturen.

Det er en forudsætning for metoden, at hærningen foregår under forhold der sikrer, at reaktionen mellem cement og vand kan finde sted. Disse forhold vil

være opfyldt ved vandlagring eller ved indkapsling af prøvelegemerne. Der arbejdes i metoden ved så lave temperaturer, at effekten fra høje temperaturer på egenskaberens slutniveau er begrænset.

Betonegenskaben vil forløbe som en S-formet kurve i en semilogaritmisk afbildning, hvor tiden afsættes på en logaritmisk x-akse, og egenskaben afsættes på en lineær y-akse. Hastigheden, der karakteriserer egenskabsudviklingens hastighed, findes af den rette linie, der er den S-formede kurves vendetangent.

I praksis kan den rette linie findes ved at have mindst 3 egenskabsmålinger ved så tidlige terminer, at linien kan bestemmes. For forskellige betonsammensætninger er det ved fastlæggelsen af terminerne dels nødvendigt at tage hensyn til reaktionshastigheden ved de valgte hærdetemperaturer. Egenskabsudviklingen måles ved 6 temperaturniveauer.

For almindelig hærdende beton kan følgende vejledende skema følges:

Temperatur θ [°C]	Relativ hastighed, H	Afbinding Timer	Terminer Timer			
			12	24	36	48
20	1.0	5 - 8	12	24	36	48
5	0.3	17 - 27	40	80	120	160
10	0.5	10 - 16	24	48	72	96
15	0.75	7 - 11	16	32	48	64
30	1.6	3 - 5	8	15	23	30
40	2.4	2 - 3	5	10	15	20

5. Procedure

De til prøvningen anvendte prøvelegemer udstøbes og prøves som beskrevet i den relevante standard, f.eks. DS 423.21, 23, 25 og 34.

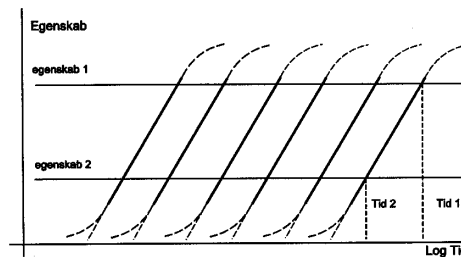
Der anvendes 3 prøveemner ved hver termin. Straks efter udstøbningen placeres prøveemnerne i vandbade med de angivne temperaturer.

Betonens afbinding måles ved referencetemperaturen efter DS 423.17.

Ved første prøvetid afformes prøveemnerne, der mærkes og placeres i lagringskarrene indtil prøvningen.

Temperaturen i lagringskarrene styres med nøjagtigheden $\pm 1^\circ\text{C}$.

Når egenskaberne måles på emner, der har været lagret ved forskellige temperaturer, vil egenskabsudviklingen følge parallelle linier i det omtalte diagram, som vist i figur 1.



Figur 1. Egenskab som funktion af tiden.

I det retliniede område bestemmes hastigheden for hver egenskabsudvikling som:

$$k_\theta = \frac{(\text{egenskab 1} - \text{egenskab 2})}{(\text{tid 1} - \text{tid 2})}$$

For hvert temperaturniveau beregnes aktiveringsenergien efter formlen:

$$E(\theta) = (\ln k_\theta - \ln k_{20}) \cdot \frac{R}{\left(\frac{1}{T_{20}} - \frac{1}{T_\theta}\right)}$$

6. Prøvningsresultat

For temperaturer større end eller lig med 20°C findes den konstante aktiveringsenergi som middel af de tre værdier:

$$E(\geq 20) = (E(20) + E(30) + E(40))/3.$$

For temperaturer mindre end 20°C findes C_θ , for hvert temperaturniveau som:

$$C_\theta = \frac{E(\theta) - E(E \geq 20)}{20 - \theta}$$

Konstanten C findes herefter som midelværdien:

$$C = (C_5 + C_{10} + C_{15}) / 3$$

Resultatet angives på formen:

$$E(\theta) = E (\geq 20) \quad \text{for } \theta \geq 20^\circ\text{C}$$
$$E(\theta) = E (\geq 20) + C (20-\theta) \quad \text{for } \theta < 20^\circ\text{C}$$

hvor såvel $E (\geq 20)$ som C afrundes til nærmeste heltal.

7. Prøvningsrapport

En prøvningsrapport skal mindst indeholde følgende oplysninger:

- a) Navn og adresse på prøvningslaboratoriet
- b) Dato og identifikation af rapporten
- c) Navn og adresse på rekvirent
- d) Prøvningsmetode (nr. og titel)
- e) Evt. afvigelse fra metodebeskrivelsen
- f) Identifikation af betonen, herunder recept
- g) Dato for prøvningsmetode
- h) Alle sammenhørende egenskabsmålinger og prøvningsterminer ordnet efter temperaturniveau for hærdningen
- i) Skema for de beregnede reaktionshastigheder og de tilsvarende beregnede værdier for aktiveringsenergiene
- j) Prøvningsresultat, jf. afsnit 6
- k) Øvrige oplysninger af betydning for bedømmelse af resultatet
- l) Bedømmelse af resultatet, såfremt dette indgår i opgaven
- m) Underskrift