

9.4 Hærdestyring

Af Christian Munch-Petersen



Figur 1. Hærdestyring består primært i at styre udtørring og varmeafgivelse. På billedet er en stor pladsbelægning i forgrunden afdækket mod udtørring. Øverst i billedet støbes belægning til venstre, mens betonens rillede overfladestruktur færdiggøres til højre. Når strukturen er etableret, skal betonen afdækkes hurtigst muligt – på billedet med plastfolie, der fastholdes med udlagte lægter.

Når betonen er blandet, transporteret og udstøbt i formen, begynder den hærdeproces, hvor betonen udvikler struktur og styrke.

Hærdeprocessen sker ved, at cementen reagerer med vand og danner en "lim", der limer tilslagene sammen – se også afsnit 4 Betonsammensætning. Denne proces sker afhængigt af temperaturen typisk indenfor den første uges tid, men fortsætter langsommere i flere uger og endda meget langsomt i måneder og år.

Cementens reaktion med vand – ofte kaldet hydratisering – sker under varmeudvikling. Hvis betonen ikke kan afgive varme til omgivelserne, kan temperaturen i betonen stige 40-50 °C eller mere – afhængigt af cementtypen og betonsammensætningen.

Hærdestyring består i at sikre, at hærdeprocessen forløber optimalt. Det betyder, at der skal være vand til stede til hydratiseringen og temperaturforløbet må ikke skade betonen. Normalt er producenten dog interesseret i en hurtig struktur- og styrkeudvikling, hvilket kræver høje hærdetemperaturer.

Hærdestyring består således at følgende punkter:

1. At undgå at en for stor fordampning udtørre betonen.
2. At undgå at betonen fryser, inden hærdeprocessen er godt i gang.
3. At undgå at betonen opnår en for høj temperatur under hærdeprocessen.
4. At undgå at betonen bliver udsat for temperaturforskelle, der kan give revner.
5. At sikre en passende hurtig egenskabsudvikling – herunder en hurtig styrkeudvikling.

Nedenfor er de fire første af disse punkter kort beskrevet.

Udtørring ved fordampning

Ved for stor fordampning fra den friske beton, kan der ske to negative ting.

For det første kan der ved fordampning, mens betonen endnu er plastisk (altså næsten inden hærdeprocessen er gået i gang) – ske en så stærk udtørring, at der skabes såkaldte plastiske revner, der ligner udtørring i våd jord, se afsnit 10.4 Svind.

For det andet kan der ved udtørring fjernes en så stor vandmængde, at der ikke er den nødvendige vandmængde til hydratiseringen. Denne proces kan ske både, mens betonen er plastisk, og mens betonen udvikler struktur – fx efter afforskalling. Strukturen i overfladen af betonen kan dermed blive svækket, hvilket kan reducere styrken og holdbarheden. Emnet er bearbejdet i afsnit 9.4.3 Udtørringsbeskyttelse.

Frysning

Frisk beton indeholder en stor fri vandmængde, der som andet vand kan fryse til is. Når hydratiseringen er forløbet i nogen tid, er der ikke mere fare ved frysning, fordi en tilstrækkelig del af porestrukturen i betonen er tømt for vand af kemisk svind – se afsnit 10.7.1 - og at der er plads til ekspansionen ved vandets omdannelse til is.

Da beton typisk har en frisk beton temperatur på mindst ca. 10 °C (om vinteren varmes betonen desuden ofte op ved fx anvendelse af varmt blandevand), gælder det derfor i praksis om at sikre den udstøbte beton mod varmetab, indtil cementens reaktion med vandet skaber en "indre" varme, der kan imødegå afkølingen.

Man kan derfor sagtens støbe beton i frostvejr, hvis betonen er passende varm og beskyttes mod afkøling og frysning både før og efter udstøbning. Jo tykkere betondele, jo sikrere er det at støbe i frostvejr. Små og tynde konstruktionsdele – fx plader tyndere end ca. 20 cm – kræver derimod særlig omhu ved støbning i frostvejr.

Typisk skal betonen have en modenhed på mindst 15 modenhedstimer (længere tid for $v/c > 0,55$), før den bør udsættes for frost, se [1], side 59 og 60.

Høj temperatur

Den hærdnede betons egenskaber måles ofte efter en hærdeproces ved 20 °C. Det gælder fx trykstyrken, der måles efter 28 døgns hærkning ved 20 °C.

Hvis betonen hærdner ved en højere temperatur, antages det normalt, at det ikke medfører ændringer i den hærdnede betons egenskaber. Hærdeprocessen går dog hurtigere ved højere temperaturer – se afsnit 9.4.1, figur 4.

Hvis temperaturen bliver for høj, kan der imidlertid opstå skadelige ændringer i cementens reaktionsprodukter. Som beskrevet i afsnit 19.11.4.1 kan der ske en såkaldt "Forsinket ettringitdannelse" – på engelsk kaldet Delayed Ettringite Formation (DEF) – hvor cementpastaen kan blive helt ødelagt og få en styrke og karakter, der minder om "tandpasta".

Det er ikke videnskabeligt afklaret, præcist hvilket temperaturniveau der er farligt, men temperaturer under 55-60 °C regnes normalt for sikkert, mens fx 80-90 °C regnes for meget farligt, hvilket også er blevet smerteligt dokumenteret på fx flere jernbane-projekter med varmhærdede betonsveller.

Da cementens varmeudvikling kan give temperaturstigninger i betonen på 40-50 °C, vil betoner med en friskbetontemperatur på fx 25 °C således være problematiske, med mindre der er sikret en mulighed for, at betonens hærdevarme kan afgives til renselag, form eller luften.

I praksis vil afkølingen i tynde elementer være tilstrækkelig, mens tykke elementer kræver særlige overvejelser og forholdsregler. Da forskellen mellem tynde og tykke elementer i denne sammenhæng er omkring 40-50 cm, forklarer det også, hvorfor høje (for høje) hærdetemperaturer normalt kun opstår i anlægskonstruktioner, eller hvis der anvendes varmhærdning med varmetilførsel.

Temperaturforskelle

Varmeudviklingen ved cementens reaktion med vand sker overalt i betonen, mens afkølingen sker fra ydersiden – især ved hurtig afforskalling – hvorfor betonens indre bliver varmere end overfladen. Herved kan der opstå temperaturforskelle mellem betonens indre og ydre, der kan give revner i overfladen.

Også selve det forhold, at en nystøbt konstruktionsdel bliver varm (og derfor udvider sig) kan skabe problemer, hvis konstruktionsdelen er sammenstøbt med en tidligere støbt (og dermed koldere) konstruktionsdel.

Når den varme konstruktionsdel afkøles, vil sammentrækningen være delvist forhindret af sammenstøbningen, og store – og gennemgående revner – kan opstå.

Dette problem kan fx optræde på en væg, der støbes mod et fundament. Hvis fx væggen befinder sig i en underjordisk kælder med vandtryk på ydersiden, vil væggen kunne blive kraftigt utæt.

Begge disse problematikker er behandlet i afsnit 9.4.2 Hærde- og temperaturrevner.

Litteratur

- [1] Vinterstøbning af beton, SBI-anvisning 125, Januar 1999, af Per Freiesleben Hansen og Erik Jørgen Pedersen. I 2007 har Teknologisk Institut skannet publikationen til en pdf-fil, der kan downloades på:
<https://www.teknologisk.dk/vinterstoebning-af-beton/239>