



TEKNOLOGISK
INSTITUT



Metoder til identifikation og reduktion af udførelsesfejl på anlægskonstruktioner

Titel

Metoder til identifikation og reduktion af udførelsesfejl på anlægskonstruktioner

Udarbejdet af

Teknologisk Institut
Beton
Gregersensvej
2630 Taastrup

Støtte

Rapporten er udarbejdet som en del af aktiviteterne i resultatkontraktprojektet "Huller i vejen" (2016-2018), der er finansieret af Styrelsen for Institutioner og Uddannelsesstøtte (under Uddannelses- og Forskningsministeriet).

Kontakt

Christian Bøgh Jøns Nielsen
Beton
Teknologisk Institut

Telefon: 7220 1447

E-mail: cbjn@teknologisk.dk

Oktober 2018

Indholdsfortegnelse

Introduktion.....	4
Armeringens dæklag	4
Temperatur-/hærdeforhold	5
Plastisk svind	8
Over-/undervibrering	9
Stenreder	9
Støbeskel	10
Referencer	11

Introduktion

Holdbarheden af en udendørs betonkonstruktion vil afhænge af flere forskellige parametre, herunder bl.a. sammensætningen af delmaterialer, størrelsen på armeringens dæklag (såfremt konstruktionen indeholder armering) samt konstruktionens miljømæssige eksposering. Med henblik på at sikre at en nyopført betonkonstruktion opnår den ønskede holdbarhed, sættes der derfor krav til bl.a. betonens tilslagstype, cementtype, vand/cementforhold og størrelsen på armeringens dæklag. Kravene til ovenstående varierer afhængig af konstruktionens eksponeringsforhold og fastsatte krav til levetid.

Foruden de designmæssige krav, vil der for anlægskonstruktioner opført i Danmark også være en række udførelsesmæssige krav, som skal sikre, at betonkonstruktionerne ikke fødes med defekter, som kan kompromittere den projekterede levetid. På trods heraf er det dog ikke ualmindeligt, at der opstår fejl i udførelsesfasen. Nedenfor opstilles en række eksempler på de mest almindelige udførelsesfejl i forbindelse med opførelsen af betonkonstruktioner samt en beskrivelse af de metoder, der findes til at identificere fejlene. Endeligt gives der også anbefalinger med hensyn til metoder til reduktion af disse udførelsesfejl.

Armeringens dæklag

For armerede betonkonstruktioner vil størrelsen på armeringens dæklag (sammen med betonens kvalitet) have en afgørende betydning for, hvor længe armeringen er beskyttet mod korrosion. Hvis konstruktionen udføres med for små dæklag, vil der kunne opstå nedbrydning af armeringen, før den projekterede levetid er opnået.

Omvendt kan for store dæklag medføre revnedannelse i betonen, enten i form af ukontrollerede svindrevner eller konstruktiv revnedannelse, fordi betonens uarmerede tværsnit bliver for stort. Det er derfor af afgørende betydning for konstruktionens levetid, at overholde de krav, der er sat til armeringens dæklag.

Kontrol af armeringens dæklag bør derfor udføres både før og efter betonen er udstøbt. Kontrollen før udstøbning kan bestå af målinger med tommestok, som udføres fra indvendig formside til nærmeste armeringsjern.

Da udstøbning af betonen kan medføre forskydning af både armering og form, bør der også efter udstøbning af betonen udføres en kontrol af armeringens dæklag. Denne kontrol kan udføres ved hjælp af ikke-destruktivt måleudstyr i form af målinger med enten covermeter eller georadar.

Armeringens dæklag og placering kan bestemmes forholdsvis hurtigt med covermeter uden at gøre skade på konstruktionen. Måling med covermeter vil typisk kræve, at armeringens dæklag ikke overstiger 70 mm. Armeringens dæklag og placering kan også bestemmes vha. målinger med georadar. Såfremt armeringen ligger dybere end 60-70 mm i konstruktionen, kan det være nødvendigt at udføre målingerne med georadar frem for covermeter.

Måling af dæklag med georadar vil kræve, at målingerne kalibreres ved hjælp af eksempelvis en ophugning til armeringen.

Temperatur-/hærdeforhold

Ved udstøbning af betonkonstruktioner er det vigtigt at sikre, at kravene til temperaturforholdene i den hærdende beton overholdes, hvilket er den udførende entreprenørs ansvar. For store temperaturforskelle mellem betonens indre og ydre kan medføre store spændingsforskelle og deraf følgende revnedannelse i betonen. Ligeledes kan for store temperaturforskelle mellem en nyudstøbt betonkonstruktion og en tilstødende betonkonstruktion medføre revnedannelse i den nye betonkonstruktion (Fig. 1).

For høje temperaturer i betonen kan desuden føre til såkaldt forsinket ettringit-dannelse i betonen, hvilket på længere sigt kan være kritisk for betonens holdbarhed, hvis konstruktionen tilføres fugt.

For at sikre, at kravene til temperaturforholdene under hærkning overholdes, bør der laves en støbeplanlægning, som indeholder en temperatursimulering af betontværsnittet under hærdeforløbet. En sådan beregning vil kunne bruges til at planlægge de nødvendige foranstaltninger, således at kravene til temperaturforholdene under hærdeforløbet overholdes. Eksempler på sådanne foranstaltninger kan være anvendelse af varmetråde i støbeskel, angivelse af tidspunkt for afforskalling, anvendelse af vintermåtter eller etablering af køling (Fig. 2).

Med henblik på at dokumentere overholdte krav til temperaturforholdene, kan entreprenøren indstøbe temperaturfølere på udvalgte positioner i betonen. Den nøjagtige position af temperaturfølerne kan variere fra konstruktion til konstruktion og vil typisk fastlægges i forbindelse med hærdeberegningen.

Den første undersøgelse af, hvorvidt kravene til temperaturforholdene under hærkning er overskredet, vil typisk bestå af en granskning af resultaterne fra temperaturmålingerne, som sammenholdes med de gældende krav. Herefter vil en visuel besigtigelse af betonoverfladerne kunne identificere, hvorvidt en eventuel overskridelse af kravene har medført dannelse af revner i konstruktionen. Såfremt der observeres revner i betonen, kan disse undersøges nærmere ved hjælp af ikke-destruktivt ultralydsudstyr, som kan måle revnernes dybde. Der kan evt. suppleres med udboring af kerner til makro-/mikroanalyse. Resultaterne af disse undersøgelser kan danne grundlag for valget af den optimale udbedringsmetode.



Fig. 1. Eksempel på termorevner i væg, som er opstået fordi væggen er støbt sammen med et allerede hærdet fundament, hvor temperaturforskellen mellem betonen i væg og fundament har været for høj.



Fig. 2. Eksempel på betonstøbning, hvor der er anvendt køling (markeret med pile). Der er her tale om en teststøbning, hvor forskellen på forskellige typer af kølerør undersøges. Derfor ses der to forskellige typer rør. Der er desuden indstøbt termofølere, således at temperaturen i betonen kan overvåges under hærdeforløbet (røde ledninger øverst i billedet).

Plastisk svind

Ved udtørring af nyudstøbt beton, som endnu ikke er bundet af (plastisk fase), sker der en rumfangsformindskelse af betonen kaldet plastisk svind. Ved kraftig udtørring af betonen kan denne rumfangsformindskelse overstige betonens evne til at optage deformationer, og der vil dannes plastiske revner (Fig. 3).



Fig. 3. Eksempel på plastiske svindrevner i parkeringsdæk, som blev støbt under varme og blæsende forhold.

Derfor er det vigtigt at undgå revnedannelse ved beskytte betonen mod for kraftig udtørring, hvilket er den udførende entreprenørs ansvar at sikre. Eksempler på sådanne foranstaltninger kan være curing, etablering af vindafskærmning og afdækning af betonoverfladen med plastik.

Svindrevner i beton kan også opstå efter den plastiske fase og vil i så fald ikke nødvendigvis være entreprenørens ansvar. En identifikation af, hvorvidt der er tale om plastiske revner, kan ske ved at udføre en mikroanalyse af en borekerne udtaget over en revne.

Over-/undervibrering

For betonkonstruktioner udført med traditionel sætmålsbeton er en korrekt udført vibrering af betonen under udstøbning helt væsentlig for den endelige kvalitet af betonen. Undervibrering kan medføre en utilstrækkelig komprimering af betonen, og betonen opnår eventuelt ikke den ønskede tæthed og styrke. En overvibrering kan medføre separation, hvor koncentrationen af de større tilslag bliver meget stor i den nederste del af konstruktionen og meget lille i den øverste del af konstruktionen. Overvibrering kan desuden bevirke, at betonens luftporestruktur bliver for dårlig i forhold til at opnå en tilstrækkelig frostbestandighed. Anbefalinger med hensyn til passende vibreringstider kan eksempelvis findes i reference [1].

Undervibrering kan ofte identificeres ved en visuel besigtigelse, idet mere eller mindre grove luftansamlinger og hulrum vil være synlige på betonoverfladen. Såfremt der er mistanke om skjulte hulrum i konstruktionen, kan disse identificeres med forskellige former for ultralydsudstyr. Identifikation af undervibrering vil typisk kræve, at der udbores en borekerne over det ønskede tværsnit, hvorpå der kan udføres makro- og mikroanalyse.

Stenreder

Stenreder er områder i betonen, hvor en stor mængde af sten ophobes i et område uden tilstrækkelig med cementpasta til at udfylde hulrummene imellem dem (Fig. 4). Stenreder i beton kan opstå, hvis betonens sammensætning er uhensigtsmæssig, eller hvis cementpastaen kan løbe fra stenskelettet, f.eks. ved utæt forskalling. Desuden kan stenreder opstå omkring snævre passager med tæt armering, hvor de større sten kan hobes op og danne klynger. For selvkompakterende betoner kan der opstå stenreder, hvis betonens flydeegenskaber ikke er gode nok. Det er entreprenørens ansvar at sikre, at betonens konsistens er korrekt, inden betonen hældes i formen. En kontrol af betonens konsistens bør foretages som en del af modtagekontrollen, når betonen ankommer til byggepladsen.

Identifikation af stenreder kan foregå dels ved en visuel besigtigelse og dels ved at udføre målinger med ikke-destruktivt måleudstyr, såfremt der er mistanke om stenreder, som ikke er synlige på betonoverfladen. Eksempler på ikke-destruktivt måleudstyr, som kan lokalisere skjulte stenreder, er MIRA ultralydstomografi og/eller Impact Echo.



Fig. 4. Væg med større stenrede. Betonens manglende tæthed medfører en reduceret beskyttelse af den indstøbte armering, hvilket her har ledt til omfattende armeringskorrosion i området.

Støbeskel

Støbeskel i betonkonstruktioner kan være nødvendige, fordi det af praktiske årsager ikke er muligt at støbe konstruktionen af én omgang. Som udgangspunkt vil betonen blive mindre tæt i støbeskellet end uden for støbeskellet. For planlagte støbeskel, som er vandpåvirkede, vil der skulle foretages forskellige foranstaltninger, som sikrer, at der opnås en tilstrækkelig tæthed af støbeskellet. Eksempler herpå kan være rugøring af støbeskellet samt tætning omkring støbeskellet med membran eller fugebånd.

Det kan også hænde, at der opstår utilsigtede støbeskel under udstøbningen af betonen. Det kan ske, hvis der går for lang tid under udstøbningen, således at den beton, som allerede er hældt i formen, når at afbinde, inden den nye beton hældes i formen. Sådant støbeskel betegnes som et "koldt støbeskel". Er der mistanke om kolde støbeskel eller planlagte støbeskel, som ikke er udført korrekt, vil det derfor være væsentligt at få undersøgt dem nærmere.

Vandpåvirkede støbeskel, som ikke er tætte, vil typisk kunne afsløres ved en visuel besigtigelse, idet der vil kunne observeres hvidlige udfældninger i støbeskellet (Fig. 5). En nærmere analyse af et støbeskels tæthed vil kunne udføres på borekerner, som er udtaget hen over støbeskellet.



Fig. 5. Eksempel på utæt lodret støbeskel i hjørnesamling mellem to vægge, hvor der ses hvide udfældninger i støbeskellet.

Referencer

[1] Vejdirektoratet, "Stavvibrering, Høj kvalitetsbeton, Entreprenørens teknologi - Anvisning," HETEK rapport 74, 1997, pp. 31, in Danish (<http://www.teknologisk.dk/hetek/dellopgave-5-udfoerelse-og-vibrering/35490,5>).