

(7) Betong under herding

Egenskapsutvikling, volumstabilitet, mekaniske egenskaper

(basert på kap. 3.3 i rev NB29)

Innledning

Foredraget tar utgangspunkt i å belyse hvilken effekt de ulike tiltak som benyttes for å lage en SKB har på betongens egenskapsutvikling, volumstabilitet og mekaniske egenskaper.

Med egenskapsutvikling menes her hovedsakelig **avbinding og tidligfasthet**. Med volumstabilitet menes her hovedsakelig deformasjoner som kan forårsake oppsprekking så som **plastisk setning og svinn, termisk kontraksjon, autogent svinn og uttørkingssvinn**.

Når det gjelder mekaniske egenskaper så som trykk- og strekk-fasthet, E-modul og kryp, så er det ingen vesentlige forskjell på SKB og vibrert betong sånn som begge brukes i Norge. Det gjelder også bestandighetsegenskaper. Mekaniske egenskaper (og bestandighet) er derfor ikke behandlet nærmere i kurset.

Merk at SKB gir vanligvis mer homogen betong i en konstruksjon (bruk av vibrator kan gi ujevn komprimering og pasta/tilslags-fordeling), noe som gjør at egenskapene da vil variere mindre i konstruksjonen.

Avbinding og varmeutvikling

SKB inneholder normalt ikke tradisjonelle lignosulfonat-baserte P-stoffer som har retarderende bivirkning, men heller co-polymer-baserte stoffer som har liten retarderende effekt. Avbindingstiden for SKB vil derfor kunne oppleves som relativt kort hvis referansegrunlaget er basert på betong med lignosulfonat-baserte P-stoffer.

Merk imidlertid at enkelte av co-polymer baserte tilsetningsstoffer kan ha noe retarderende virkning, spesielt ved høye doseringer. Det kan medføre at SKB har lengre avbindingstid enn vibrert betong med samme type co-polymer fordi SKB innerholder mer av co-polymeren. Effekten av ulike typer co-polymerer på avbinding og tidlig fasthetsutvikling ved hhv 5 og 20 °C har vært undersøkt i laboratoriet (*resultater fra Norcem-prosjektet "Utvikling og dokumentasjon av SKB", rapport 1.2*). En generell konklusjon er at SKB i M60-klasse er noe retardert i forhold til tilsvarende vibrert betong. I den nevnte undersøkelsen varierte retardasjonen fra 1,5 til 3,5 timer ved 20 °C.

Resultatene viser også at effekten av temperatur ikke er vesentlig forskjellig og dermed at standard programvare for simulering av herdeforløp (feks "Hett 97") kan brukes.

Tidligfastheten er påvirket av retardasjonen; minst retardasjon gir vanligvis høyest tidligfasthet. På en annen side vil den dispergerende virkningen av P/SP-stoffer gi

større effektive sement-overflate (single partikler i større grad enn agglomerater) som kan bidra til raskere hydratasjon etter avbinding. Dvs. at betong med et effektivt P/SP-stoff som de nye co-polymerene, kan få raskere tidlig fasthetsutvikling enn betong med et mindre effektivt P/SP eller liten dosering av P/SP. Dette er imidlertid ikke dokumentert for SKB.

Varmeutvikling i SKB styres selvfølgelig av de samme parametrene som for betong som må vibreres. Dvs. at økt innhold av reaktivt materiale (sement + silikastøv) gir økt herdetemperatur og ved et gitt innhold av reaktivt materiale er det i hovedsak sementtypen som bestemmer hvor mye varme som avgis. Innblanding av filler ser ikke ut til å påvirke temperaturutviklingen. For konstruksjonsbetong som må vibreres er det tidligere funnet at tilsetning av silikastøv på erstatningsbasis med sement i liten grad påvirker temperaturutviklingen.

Om varmeutviklingen blir høyere i SKB enn betong som vibreres, er derfor avhengig av om den økte matriksmengden i SKB medfører økt mengde reaktivt materiale (gir mer varme) eller bare mer inert filler (gir uendret varme).

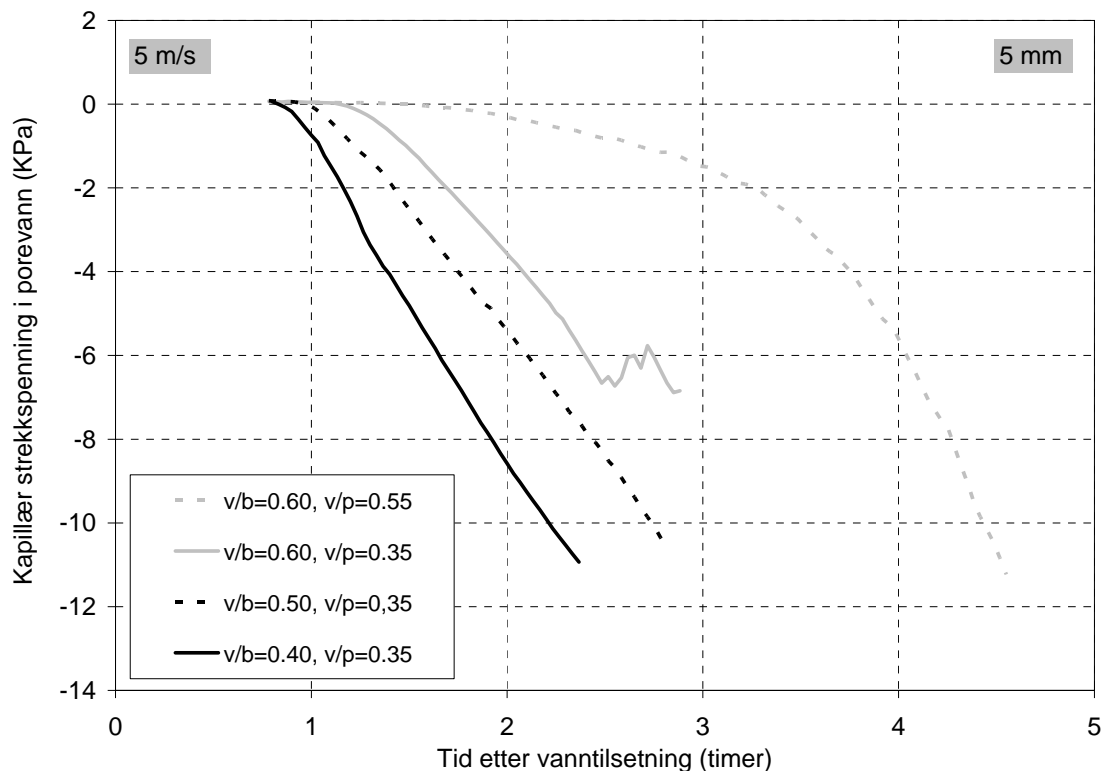
Risstendens i plastisk fase

Plastisk svinn og setning er hovedårsaken til opprissing i plastisk fase (dvs. før avsluttet avbinding). Årsaken til plastisk svinn er avdamping og etterfølgende uttørking av betongoverflaten. Når overflaten blir tørr utvikles **kapillær strekkspenning** i betongens porevann - som er drivkraften for plastisk svinn. Betongoverflaten blir tørr når avdampingen er større enn betongens bleeding. Bleeding er derfor en positiv egenskap i denne forbindelse fordi det gir et vannreservoar på overflaten som beskytter mot uttørking.

I den tidlige fasen ser det ut til at den **kapillære strekkspenningen** er en svært god indikator på rissfølsomheten. Ikke bare gjenspeiler det plastisk svinn, se over, men også tøyningkapasitet (motstand mot oppsprekking): Det ser ut til at kontraksjonskreftene mellom partiklene som oppstår pga den kapillære strekkspenningen skaper et skjelett, som kan observeres som en hinne på overflaten, med svært lav tøyningkapasitet. Denne "svake" hinnen er sannsynligvis årsaken til at setningen er en drivkraft til opprissing: Setningsforskjeller pga armering eller tverrsnittsendring medfører at hinnen må bøye, dvs. strekkes.

Den kapillære strekkspenningen øker når partikkelavstanden avtar. Det vanligvis høye finstoffinnholdet i SKB bidrar til både redusert bleeding og redusert partikkelavstand. Erfaring fra praksis og laboratorieforsøk bekrefter da også at SKB kan være mer følsom for opprissing i plastisk fase enn betong som må vibreres. Figur 1 viser eksempel på hvordan de kapillære strekkspenningen utvikler seg for 3 SKBer med samme vann/pulver-forhold (v/p) i forhold til en vibrert betong (v/p = 0.55) /1/. Legg spesielt merke til de to betongene med v/b = 0.60: En reduksjon av v/p fra 0.55 til 0.35 (tilsatt kalkfiller) medførte en betydelig raskere utvikling av den kapillære strekkspenningen i porevannet, og dermed økt fare for opprissing.

For SKB er det derfor enda viktigere å forhindre avdamping i de første timene fra umiddelbart etter utstøping.



Figur 1. Effekt av masseforhold (v/b) og vann/(sement+filler) (v/p) på utvikling av porevannstrykk /1/.

Risstendens i herdefasen

De følgende konklusjoner på risstendens i herdefasen er basert på *resultater fra Norcem-prosjektet "Utvikling og dokumentasjon av SKB"*, og gjelder fare for opprissing i betongens avkjølingsfase og hvor betongens sammentrekning samtidig er utsatt for ytre fastholding (fra underlag, fra tilstøtende konstruksjoner, etc.). Dette er en situasjon som ved opprissing ofte gir alvorlige og gjennomgående riss.

I denne situasjonen er betongs risstendens i herdefasen et resultat av den strekkspenningen som bygges opp hovedsakelig pga den termiske kontraksjon som skjer når betongen avkjøles etter den hydrasjonsgenererte oppvarmingen. I betonger med relativt lavt v/b (for eksempel M40-betonger) kan også autogent svinn (pga indre uttørring) gi et betydelig bidrag til spenningsoppbyggingen.

For et gitt v/b -forhold viser resultatene at SKB ikke har høyere risstendens enn normal konstruksjonsbetong så lenge SKB ikke innebærer vesentlig økning i mengden sementpasta. Dette indikerer dermed for SKB, at bruk av co-polymere tilsetningsstoff (+ stabilisator) og tilhørende ekstrem flyteevne i fersk fase i seg selv ikke har noen negativ effekt på risstendensen i herdefasen. I dette ligger også at både normale mengder silikastøv (på erstatningsbasis med sement) og kalkfiller (innblanding), kan brukes uten å endre risstendensen i vesentlig grad.

Resultatene indikerer at en viss økning i mengden sementpasta (gir mer varme - negativt) ikke nødvendigvis gir vesentlig høyere risstendens først og fremst fordi dette samtidig gir redusert E-modul (gir lavere spenning - positivt).

Resultater på SKB, samt tidligere resultater på konstruksjonsbetong som må vibreres /2/, viser at tilsetning av silikastøv på erstatningsbasis med sement ikke gir vesentlig endret risstendens. Hovedtrekket er at bruk av silikastøv først og fremst medfører økning av betongens strekkfasthet (positivt), og økning av autogent svinn (negativt), og at de to opphever hverandre.

En annen type opprissing i herdefasen er overflateopprissing på grunn av indre fastholding. Denne typen opprissing er generelt ikke like alvorlig som riss dannet under ytre fastholding, og temaet er derfor ikke undersøkt eller diskutert spesielt her. Men generelt sett, for SKB så vel som for vibrert betong, vil alle proporsjoneringsmessige tiltak som medfører økt varmeutvikling gi økt fare for slik opprissing fordi mer varme gir økte temperaturdifferanser over tverrsnittet (varm kjerne og et kaldere ytre).

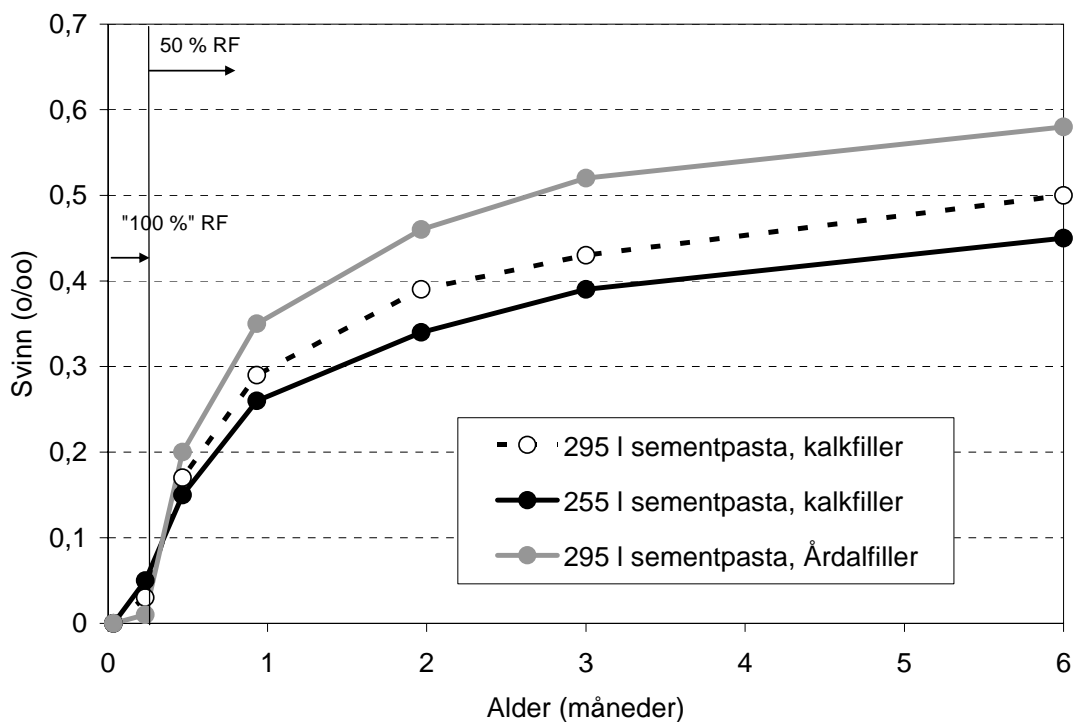
Uttørkingssvinn

Uttørkingssvinn er forbundet med den volumreduksjonen som skjer når vann forlater kapillærporene (samme prinsipp som for plastisk svinn). Uttørkingssvinnet er avhengig av dimensjonen og om uttørking foregår fra en eller flere sider. Det kan pågå over flere år, men ved normale dimensjoner skjer det meste i løpet av et år eller to. Siden tilslaget betraktes som dødt, dvs. at det er bare reaktivt materiale (sement + pozzolaner + vann) som endrer volum, er volumandel av reaktivt materiale en viktig materialparameter. Laboratorie-undersøkelser bekrefter det: En økning av andelen reaktivt materiale med ca 13 % ga ca 13 % høyere svinn etter 6 måneders uttørking (50 % RF), se figur 2. /3/

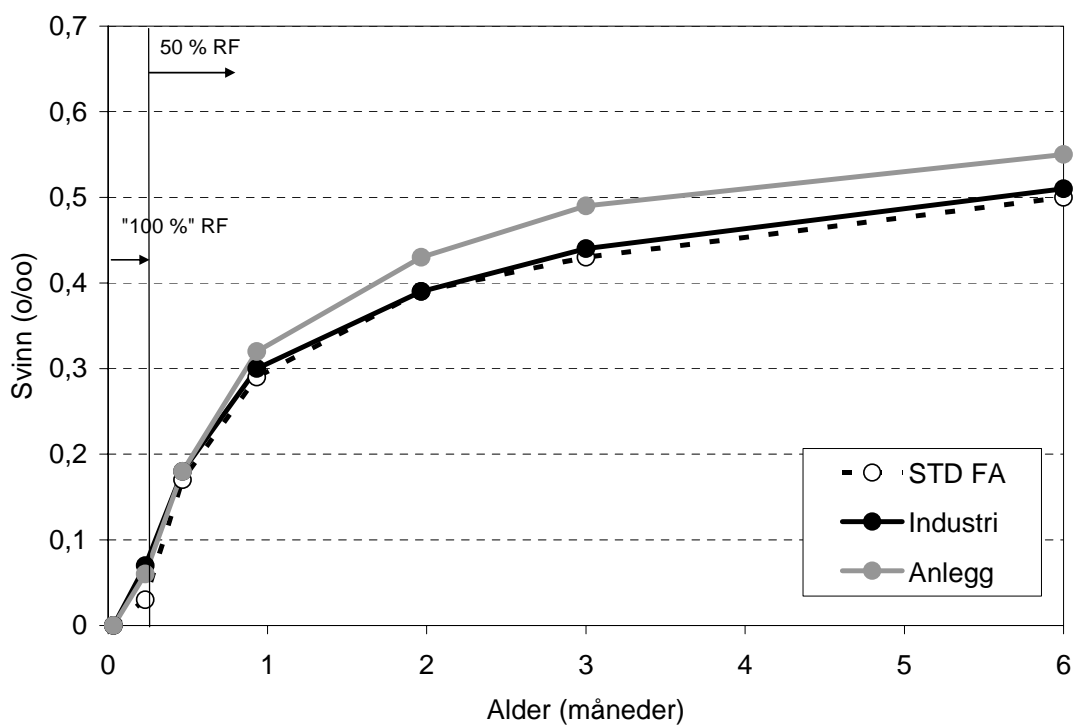
Sementtypen kan ha noe effekt på svinnhastigheten: Raske sementer (finmalte) gir normalt raskere svinnutvikling. I Norge gjelder det spesielt "Norcem Industri" (*Norcem-rapport om svinn for gulvbetong, 2001*). Laboratorieundersøkelser viser imidlertid at samme sementtype også kan gi noe forskjellig svinnutvikling avhengig av når den er produsert samt lagringstid, noe som kan overskygge forskjeller mellom norske sementtyper. En annen undersøkelse viser da også ingen betydelig effekt av sementtypen (Norcem-sementer), se figur 3 /3/.

Noen vannreduserende tilsetningsstoffer kan gi en økning av svinnet. Forhandlerene av stoffene kan gi informasjon om det. Co-polymer-baserte stoffer ser ikke ut til å skille seg vesentlig ut fra andre vannreduserende stoffer.

Laboratorieundersøkelser viser at kalksteinsfiller (fra Norcem) bidrar til redusert uttørkingssvinn. Ett eksempel er at betong med ca 100 kg (ca 4 vol%) med kalksteinsfiller hadde ca 15 % lavere svinn etter 6 måneders uttørking (50 % RF), enn den ekvivalente betongen hvor kalksteinsfilleren var byttet ut med samme mengde naturfiller fra Årdal, se figur 2 /3/.



Figur 2. Eksempel på effekt av sementpastainnhold og fillertype på uttørkingssvinn for M60-betong /3/.



Figur 3. Eksempel på effekt av sementtype (Norcem) på uttørkingssvinn for M60-betong /3/.

Oppsummering og konklusjon

Basert på erfaringen med bruk av SKB i Norge samt betongteknologisk vurdering av de virkemidlene som vanligvis benyttes for å lage SKB, kan følgende konklusjoner gjøres:

- (1) Det kan forventes at SKB er mer følsom for opprissing i plastisk fase ("plastisk svinn riss") enn betong som vibreres, hovedsaklig pga økt fillerinnhold. Det er derfor nødvendig å være spesielt oppmerksom på å sette inn tiltak for å hindre tidlig uttørking ved bruk av SKB.
- (2) Faren for opprissing i avkjølingsfasen ("termoriss") ser ikke ut til å være vesentlig forskjellig fra betong som må vibreres. Hvis en vesentlig økning av limmengden benyttes kan det imidlertid forventes høyere risiko for oppsprekking først og fremst pga at varmetviklingen og dermed avkjølingen blir høyere.
- (3) Det kan forventes at SKB har lengre avbindingstid og sannsynligvis noe lavere tidligfasthet.
- (4) Varmetviklingen er ikke vesentlig forskjellig med mindre en betydelig økt limmengde benyttes. Standard programvare for simulering av herdeforløp (feks "Hett 97) kan brukes.
- (5) Faren for opprissing pga uttørkingssvinn ser heller ikke ut til å være vesentlig forskjellig. Bruk av kalkfiller kan bidra til betydelig redusert uttørkingssvinn.

Referanser

1. Hammer, TA.: Ikke publiserte data.
2. Kanstad T., Bjøntegaard Ø., Sellevold E.J., Hammer T.A. and Fidjestøl P.: "Effects of Silica Fume on Crack Sensitivity": Experiments, Modeling and Calculation of Crack Risk for different Structural Cases", Concrete International vol. 23, No 12, December 2001.
3. Hammer TA.: "Plastisk svinn og uttørkingssvinn: Effekt av materialsammensetning av SKB. SINTEF-rapport xx, 2007 og Norcem-rapport yy, 2007 (*ferdig i løpet av mars 2007*).