

Självkompakterande betong med goda brandspjälkningsegenskaper

Forskningsrapport

Författare

Henrik Nilsson
Skanska Sverige AB
Teknik
Betongtekniskt Centrum
Göteborg, 2009

Iad Saleh
Sika Sverige AB
Stockholm 2009

SLUTRAPPORT

SBUF-rapport nr 11522, 11801 och 12013
Brandforsk-projekt 331-041 och 301-061

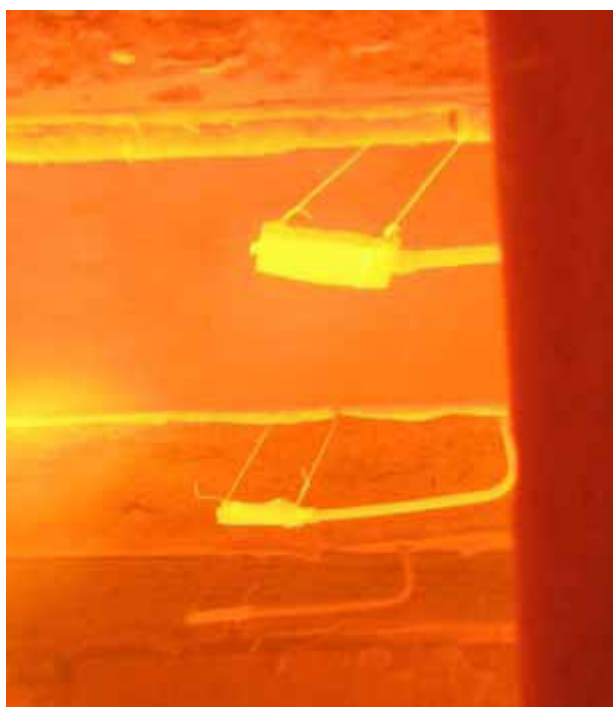


Foto: Lars Boström, SP

Förord

Projektet kunde genomföras genom finansiering och stöd från följande finansiärer.

- SBUF – Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond
- Brandforsk – Styrelsen för svensk brandforskning
- Statens Vegvesen
- Vägverket
- Banverket
- CBI Betonginstitutet AB
- CEMENTA AB
- SP Brandteknik
- Skanska Sverige AB - Teknik
- Skanska Sverige AB - Stomsystem
- Nordkalk AB
- Sika Sverige AB

Efter en lång och stundtals tuff resa tackar vi i projektgruppen alla finansiärer som gjort det möjligt att genomföra detta projekt.

Göteborg, juni 2009

Sammanfattning

Självkompakterande betong är en betong, med högpresterande reologiska egenskaper, som kompakteras utan yttre vibreringsinsats. Av erfarenhet och från provningar vet man att betongkonstruktioner av tät betong med stor andel finmaterial kan påverkas negativt vid brand. Självkompakterande betong, som ofta innehåller mycket finmaterial, är ett exempel på en tätare betong. Betongkonstruktioner som utsätts för brand kan förstöras på många olika sätt men i detta projekt tittar vi endast på brandspjälkning. Utgångspunkten i detta projekt är att hantera brandspjälkningen genom att tillsätta och blanda in polypropylenfiber (PP-fiber) i betongmassan.

Brandtesterna utfördes av SP Brandteknik i Borås och överslagsmässigt har 200 brandtest utförts på mer än 50 olika betongsammansättningar. Projektet omfattar brandtester av element av såväl anläggningsbetong som husbyggnadsbetong. Brandförsöken utfördes till största delen på små provkroppar med dimensionen 500×600×200mm. I detta projekt har vi undersökt olika faktorer inverkan på den självkompakterande betongens benägenhet att spjälka. Exempel på undersökta faktorer är bl.a. tryckbelastning, fukttinnehåll, brandkurva och betongsammansättning.

Erfarenheten från tillverkningen av element på fabrik är att det är mycket svårt tillverka självkompakterande betong med större mängder PP-fiber än ca 2 kg/m³ oavsett fiberdimension Ø18µm eller Ø32µm. Orsaken är att större mängder fiber påverkar betongens reologiska egenskaper negativt.

Resultaten från brandtesterna visade att inblandning av PP-fiber ger den självkompakterande betongen goda brandspjälkningsegenskaper. I princip all självkompakterande betong utan PP-fiber spjälkade. Motståndet mot brandspjälkning ökar också med ökad fiberinblandning. En tillsats av 1,0 till 1,5 kg/m³ av fibertypen Ø18µm eller Ø32µm gav ett bra skydd mot progressiv (gradvis ökande) spjälkning.

Fiberinblandningen visade sig inte heller vara negativ för beständighetsegenskaperna, såsom karbonatisering och kloriddiffusion, under förutsättning att dispergeringen av cement och filler är god. En riktigt proportionerad självkompakterande betong med PP-fiber och med god dispergering av cement och filler har beständighetsegenskaper som minst motsvarar SKB utan PP-fiber. Värt att nämnas är också att saltfrostbeständigheten förbättrades markant med andelen fibrer. Fibrerna i detta projekt var bestrukna med dispergeringsmedel.

En viss spjälkning kan i de flesta fall accepteras då det oftast rör sig om estetiska skador. I dessa fall bör inte fibertillsatsen vara större än nödvändigt med tanke på svårigheterna med att tillverka en bra och robust självkompakterande betong med större mängder fiber. Rekommendationen avseende fiberdosering, i de fall en viss spjälkning kan accepteras, är därför 1,5 kg/m³ av fibertypen Ø18µm eller Ø32µm. Rekommendationen gäller för såväl anläggningsbetong som husbyggnadsbetong. Önskas lägre dosering än 1,5 kg/m³ skall detta påvisas genom provning.

I fall där ingen spjälkning accepteras krävs oftast större mängder fiber än 1,5 kg/m³. Rekommendationen i dessa fall är att genom provning påvisa att ingen spjälkning sker.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1	INLEDNING	5
2	ORGANISATION	6
3	UNDERSÖKNINGAR	7
3.1	TILLVERKNING AV BETONGELEMENT	7
3.2	BRANDPROVNING	7
3.3	MIKROSTRUKTUR OCH BESTÄNDIGHETSANALYS	7
4	RESULTAT OCH UTVÄRDERING	8
4.1	TILLVERKNING AV SJÄLVKOMPakterande BETONG	8
4.2	BRANDPROVNING	8
4.3	MIKROSTRUKTUR OCH BESTÄNDIGHETSANALYS	9
5	REKOMMENDATION OCH RIKTLINJER	10
	REFERENSER	11
	BILAGOR	12

BILAGA 1-3: DELRAPPORTER

Rapport WP2 Tillverkning av självkompakterande betong med PP-fiber
Rapport WP3 Self-Compacting Concrete Exposed to Fire
Rapport WP4 Mikrostruktur- och beständighetsanalys

1 INLEDNING

Betong används i stor omfattning vid såväl bostadsbyggande som anläggningskonstruktioner. Materialet betong utvecklas ständigt och under det senaste decenniet har självkompakterande betong blivit en betongprodukt som används i allt större utsträckning inom byggbranschen.

Självkompakterande betong är en betong, med högpresterande reologiska egenskaper, som kompakteras utan yttre vibreringsinsats. Från historiska erfarenheter och provningar vet man att betongkonstruktioner med tät betong och betong med stor andel finmaterial kan påverkas negativt vid brand. Självkompakterande betong, som ofta innehåller mycket finmaterial, är ett exempel på en tätare betong.

Betongkonstruktioner som utsätts för brand kan förstöras på många olika sätt. Det kan t.ex. ske genom minskad styrka hos betongen eller armeringen, brandspjälkning eller minskad vidhäftning mellan betong och armering. I detta projekt tittar vi endast på brandspjälkning.

I Sverige används ofta finmalt kalkfiller för att erhålla de önskade reologiska egenskaperna för självkompakterande betong. Den tätare strukturen som därigenom uppkommer genom tillsättning av finmaterial medför att man kan behöva finna alternativ och lösningar för att hantera en eventuell brandspjälkning. En sådan lösning är att tillsätta och blanda in polypropylenfiber (PP-fiber) i betongmassan.

Inblandning av dessa PP-fibrer medför dock stora negativa konsistensförändringar som kan förstöra den självkompakterande betongens reologiska egenskaper. Utifrån egna erfarenheter i detta projekt kan problemen uppstå redan vid inblandning av $1,0 \text{ kg/m}^3$ PP-fiber. Detta ställer i slutändan högre krav på sammansättningen av betongen. Det är därför av stor vikt att riktlinjer tas fram för tillverkning av självkompakterande betong med goda brandspjälkningsegenskaper.

2 ORGANISATION

Projektets projektledare samt ansvariga för respektive delprojekt ses nedan:

Projektledare:	Henrik Nilsson, Skanska Sverige AB, Göteborg
Receptframtagning och tillverkning:	Iad Saleh, Sika Sverige AB, Stockholm
Brandprovning:	Lars Boström / Robert Jansson, SP, Borås
Beständighetsprovning:	Jan Trägårdh / Mariusz Kalinowski, CBI Stockholm

Projektgruppens organisation såg ut enligt följande:

Henrik Nilsson, Skanska Sverige AB, projektledare
Iad Saleh, Sika Sverige AB
Claus K. Larsen, Statens Vegvesen
Robert Jansson, SP Brandteknik, LTH Byggnadsmaterial
Lars Boström, SP Brandteknik
Jan Trägårdh CBI Stockholm
Lars-Olof Nilsson, LTH Byggnadsmaterial

Projektets referensgrupp var sammansatt av följande personer:

Lars-Olof Nilsson, LTH Byggnadsmaterial
Lars Boström, SP Brandteknik
Katarina Kieksi, Banverket
Daniel Rydholm, Brandforsk
Hans-Erik Gram, Cementsa
Bernt Freiholz / Samir Redha, Vägverket
Göran Fagerlund, LTH Byggnadsmaterial

3 UNDERSÖKNINGAR

3.1 Tillverkning av betongelement

Projektet omfattar totalt 52 betongrecept, ungefär lika del husbyggnadsbetonger (CEM II) och anläggningsbetonger (CEM I). Förundersökningen av betongen utfördes i Skanskas betonglaboratorium i Solna och tillverkning i full skala skedde i Skanskas elementfabrik i Strängnäs. Samtliga recept har tagits fram genom samarbete mellan Skanska Sverige AB och Sika Sverige AB. Recepten redovisas i sin helhet i delrapporten ”Tillverkning av självkompakterande betong med polypropylenfiber” av Iad Saleh, Sika Sverige AB [1].

Tillverkade element brandprovades sedan av SP i Borås. Betongen analyserades också m.a.p. mikrostruktur och beständighet av CBI Betonginstitutet AB i Stockholm.

3.2 Brandprovning

Brandprovningen, den mest omfattande delen i detta projekt, utfördes av SP i Borås. Överslagsmässigt har 200 brandtest utförts på mer än 50 olika betongsammansättningar. I detta projekt har vi undersökt olika faktorer inverkan på den självkompakterande betongens benägenhet att spjälka. Exempel på undersökta faktorer är bl.a. tryckbelastning, fuktinnehåll, brandkurva och betongsammansättning. Provuppställning redovisas i sin helhet i delrapport ”Self-Compacting Concrete Exposed to Fire” av Boström/Jansson, SP Brandteknik i Borås [2].

Brandförsöken utfördes på små provkroppar med dimensionen 500×600×200mm. I ett tidigare projekt rapporterat av Boström (2004) [3] undersöktes olika brandprovningmetoder och provkroppars form. Detta projekt visade att småskaliga provkroppar gav ett liknande resultat som större provkroppar. Vissa recept kompletterades med större provkroppar för att verifiera resultaten.

3.3 Mikrostruktur och beständighetsanalys

Anläggningskonstruktioner har ofta en livslängd på minst 100 år varför det är av stor vikt att utreda om fibern har någon inverkan på den självkompakterande betongens mikrostruktur och beständighet. Dessa analyser utfördes av CBI Betonginstitutet AB i Stockholm. Tolv stycken självkompakterande anläggningsbetonger (CEM I) och sex stycken husbyggnadsbetonger (CEM II) provades och analyserades i detta projekt.

Analyser som genomfördes var bl.a. mikrostrukturanalys, kloriddiffusion, saltfrostbeständighet, tryckhållfasthet och karbonatiseringsdjup. Provuppställning presenteras i sin helhet i delrapport ”Mikrostruktur- och beständighetsanalys” av Trägårdh/ Kalinowski, CBI Betonginstitutet [4].

4 RESULTAT OCH UTVÄRDERING

Resultaten från undersökningarna i detta projekt redovisas i stora drag i följande avsnitt. I respektive delrapport [1, 2 och 4] redovisas resultaten med slutsatser i sin helhet.

4.1 Tillverkning av självkompakterande betong

Målsättningen i detta delprojekt var att i möjligaste mån ta fram recept för självkompakterande betong som är möjliga att tillverka även med relativt stor mängd PP-fiber utan att arbetbarheten förstörs. Detta samtidigt som betongen skall vara stabil och möjlig att tillverka med god repeterbarhet samt vara ekonomisk med avseende på framför allt cementhalter.

Resultaten i detta delprojekt pekar på att det är fullt möjligt att tillverka en stabil självkompakterande betong med en fibermängd mellan 1 och 2 kg/m³. I detta projekt nåddes gränsen vid 1,5 kg/m³ vid användning av fibertypen Ø18µm/6mm för såväl anläggningsbetongen som husbyggnadsbetongen. Det var dock möjligt att tillsätta 2 kg/m³ av den grövre fibertypen Ø32µm/6mm i såväl anläggningsbetongen som husbyggnadsbetongen.

Större mängder fiber än ca 2 kg/m³ är mycket svårt rent tillverkningsmässigt och rekommenderas endast för konstruktioner där ingen spjälkning accepteras. Orsaken är att större mängder fiber påverkar betongens reologiska egenskaper negativt och dessutom resulterar i en dyrare betong, som i de flesta fall inte kan motiveras.

Självkompakterande anläggningsbetong (vct=0,40) med PP-fiber visade sig få bäst reologiska egenskaper med ett vattenpulvertal kring 0,30. Självkompakterande husbyggnadsbetong bör ha ett vpt som inte överstiger 0,50 förutsatt att kalkfiller används för att ge robusthet till betongen. Ett högre vpt gör betongen för känslig för separation.

4.2 Brandprovning

Målsättningen i detta delprojekt var att genom brandförsök få svar på hur självkompakterande betong skall vara sammansatt för att ha goda brandspjälkningsegenskaper.

Det visade sig att i princip all självkompakterande betong utan PP-fiber spjälkade. En tillsats av 1,0 till 1,5 kg PP-fiber per kubik av typen Ø18 µm eller Ø32 µm gav ett bra skydd mot progressiv (gradvis ökande) spjälkning. Att helt skydda betongen mot spjälkning kan i många fall vara omotiverat dyrt då det oftast rör sig om estetiska skador. Men det finns naturligtvis fall där ingen spjälkning accepteras av olika skäl som t.ex. konstruktiva skäl. Det kan t.ex. vara i tunnlar eller andra optimerade konstruktioner där utnyttjandegraden av betongens konstruktiva egenskaper är hög.

Belastningens storlek hos belastade provkroppar påverkade inte spjälkningen. Dock spjälkade de obelastade provkropparna något mindre än de belastade.

Det var inte möjligt att se någon signifikant skillnad i spjälkning avseende mängden kalkfiller eller olika vattenpulvertal.

Det visade sig att typen av brandkurva inte hade någon märkbar effekt på risken för spjälkning. Spjälkningens storlek var dock större ju långsammare brandkurva/brandförlopp som betongen utsattes för.

Ingen påverkan av lagringstiden kunde påvisas när det gäller spjälkningen. En förklaring kan vara att fukttinnehållet aldrig sjönk till en kritisk nivå för att spjälkning skall uppträda.

4.3 Mikrostruktur och beständighetsanalys

Målsättningen i detta delprojekt var att analysera om fiberinblandningen har någon inverkan på den självkompakterande betongens mikrostruktur och beständighet.

Det visade sig att finheten i kapillärporsystemet varierade relativt mycket för den självkompakterande betongen med vct 0,40 jämfört med konventionell betong med lika vct. Den sannolikt direkta orsaken till kapillärporstrukturens variation anses vara dispergeringsgraden av cement och filler i pastan. Den indirekta orsaken är fibermängden. Ju mer fiber desto mer flyttillsatsmedel tillsätts vilket i sin tur ökar dispergeringen av cement och filler.

Fiberinblandningen är inte negativ för beständighetsegenskaperna, såsom karbonatisering och kloriddiffusion, under förutsättning att dispergeringen av cement och filler är god. En riktigt proportionerad självkompakterande betong med PP-fiber och med god dispergering av cement och filler har beständighetsegenskaper som minst motsvarar SKB utan PP-fiber.

Saltfrostbeständigheten förbättrades markant med andelen fibrer i SKB (utan lufttillsats). Med fiberhalter mellan 1-2 kg/m³ var frostbeständigheten mycket god efter 56 fryscyklar. Orsaken till den förbättrade frostbeständigheten är sannolikt det luftporsystem som skapas av PP-fibrerna vid själva blandningen av betongen. Dessutom är fibrernas mantelyta bestrukna med ett dispergeringsmedel som också verkar som en luftporbildare.

Mikrostrukturanalysen visade att kring PP-fibrerna bildades ett ca 2-3 µm tjockt portlanditskikt som medförde att övergångszonen mellan fiber och cementpasta blev tätare. När Portlanditen bryts ner vid brand bildas kalciumoxid och vatten. Eftersom detta vatten, som bildas momentant, övergår i ångfas vid brand kan detta lokalt påverka ångtrycket kring fibrerna. Möjligen kan detta vara en bidragande faktor för sprickpropagering från fibrerna vid brand.

5 REKOMMENDATION OCH RIKTLINJER

Inblandning av PP-fiber ger den självkompakterande betongen goda brandspjälknings-egenskaper. Motståndet mot brandspjälkning ökar också med ökad fiberinblandning. Inblandning av PP-fiber, bestrukna med dispergeringsmedel, är inte negativ för beständigheten, snarare tvärtom.

I de flesta fall kan viss spjälkning accepteras då det oftast rör sig om estetiska skador. I dessa fall bör inte fibertillsatsen vara större än nödvändigt med tanke på svårigheterna och riskerna med att tillverka självkompakterande betong med större mängder fiber. Rekommendationen avseende fiberdosering, i de fall en viss spjälkning kan accepteras, är därför $1,5 \text{ kg/m}^3$ av fibertypen $\text{Ø}18\mu\text{m}$ eller $\text{Ø}32\mu\text{m}$. Rekommendationen gäller för såväl anläggningsbetong som husbyggnadsbetong. Önskas lägre dosering än $1,5 \text{ kg/m}^3$ skall detta påvisas genom provning.

I fall där ingen spjälkning accepteras krävs oftast högre mängder fiber och rekommendationen är att detta då skall påvisas genom provning.

REFERENSER

- [1] Saleh, I, Nilsson, H. "Tillverkning av självkompakterande betong med polypropylenfiber", SIKA Sverige AB, Stockholm, Sweden, 2009
- [2] Boström L., Jansson R. "Self-Compacting Concrete Exposed to Fire", SP Report 2008:53, Borås, Sweden, 2008.
- [3] Boström L. (2004) "Innovative self-compacting concrete - Development of test methodology for determination of fire spalling", SP Report 2004:06, Borås
- [4] Trägårdh J., Kalinowski M. "Mikrostruktur- och beständighetsanalys" Uppdragsrapport 2009-43, CBI Stockholm, Sweden, 2009

BILAGOR

Bilaga 1-3: Delrapporter

Rapport WP2 Tillverkning av självkompakterande betong med PP-fiber

Rapport WP3 Self-Compacting Concrete Exposed to Fire

Rapport WP4 Mikrostruktur- och beständighetsanalys