

Vibreringsfri betong för anläggningskonstruktioner

Slutrapportering av SBUF-projekt nr 9047 med rubricerad titel.

Sammanfattning

Aktuellt forskningsprojekt avser en kombination av fältstudier och laboratorieundersökningar av det material som numera kallas självkompakterande betong (SKB). Inriktningen har hela tiden varit att undersöka betongsammansättningar avsedda för anläggningskonstruktioner. Projektet har två skilda faser, nämligen 1) en startfas med inriktning mot utveckling och uppföljning av självkompakterande betong vid tunnelling i Stäket samt 2) en fortsättningsfas med generell inriktning att undersöka SKB för anläggningskonstruktioner vad gäller egenskaper både för färsk och ung betong.

Den första projektfasen utfördes perioden 1999-2000 och resulterade i ett examensarbete vid LTU. Detta examensarbete blev av Svenska Betongföreningen utsett till Sveriges bästa examensarbete inom betongområdet år 2000.

Den andra projektfasen omfattar perioden 2001-2003, och har resulterat i en licentiatavhandling vid LTU. Licentiatseminariet var planerat till juni 2003, men har p g a att den forskarstuderande (Sofia Utsi) blev förälder vid denna tidpunkt flyttats till i början av december 2003.

Från mätningarna under projektets startfas framkom tydligt att för att uppnå stabilitet i de färska egenskaperna (flytsättmått, T50, blockeringsgrad med L-låda samt lufthalt) för studerad SKB krävs att man utför mätningar både vid betongfabriken och vid byggarbetsplatsen. Dessutom krävs att det är en kontinuerlig kommunikation mellan arbetsplats och betongfabrik för snabb uppföljning som underlag att göra erforderliga korrekationer i betongsammansättning.

Laboratoriemätningarna under andra projektfasen visar att den valda metodiken med försöksplanering och utvärdering enligt faktormetoden (eng, "Factorial design") gav tydliga resultat vilka faktorer eller faktorkombinationer som var bestämmande för olika egenskaper. Till exempel visade sig att typen av tillsatsmedel var helt dominerande vad gäller robusthet i tid för de färska egenskaperna i den första försöksserien. I en andra försöksserie framkom att bytet av största stenstorleken från 16 mm till 12 mm var en av de dominerande faktorerna att få bra egenskaper för den färska betongen vid direkt jämförelse mellan olika betongblandningar med samma tillsatsmedel.

Slutligen presenteras i avhandlingen termiska och mekaniska egenskaper för den unga betongen för ett antal utvalda recept baserat på resultaten från laboratoriemätningarna av de färska egenskaperna. Detta ger underlag att bl a analysera sprickrisker under första hydrationsförloppet, vilket idag krävs för svenska anläggningskonstruktioner. Härvid visade det sig att för de undersökta betongerna gav SKB-blandningarna lika eller i några fall t o m lägre uppmätta spänningkvoter än jämförbara traditionella anläggningsbetonger.

Inledning

I Sverige har utveckling och undersökningar av den självkompakterande betongen (SKB) pågått i ca tio år. De allmänna fördelarna med SKB är flera, t ex minskat buller (närmiljö och omgivning), minskad vibreringsbelastning på människan (arbetsmiljö) samt minskat behov av utrustning på bygget (mindre investering och minskad energiåtgång). Allmänna risker med SKB består i att den färska betongen inte alltid är stabil i tid med hänsyn till homogenitet och flytförmåga samt att blandningarna kan vara känsliga för variationer i delmaterialens egenskaper.

Aktuellt projekt handlar om SKB för anläggningskonstruktioner, och i dessa sammanhang kan SKB vara en möjlig lösning för ett gott slutresultat i de fall traditionell betong inte med enkelhet och säkerhet kan ge god utfyllnad av formen, t ex i relativt trånga utrymmen med mycket armering. En sådan svår gjutsituation är tunnelling, varför SKB valdes som ett alternativ för att klara tunnelling för en järnvägstunnel i Stäket strax norr om Stockholm 1999/2000. Eftersom detta var ett det första stora SKB-projekten med Banverket som byggherre, planerades ett omfattande förprovningsprogram, där en stor del av förprovningsarna genomfördes som ett examensarbete vid LTU. Detta utgör första fasen i aktuellt SBUF-projekt.

Utgående från erfarenheterna vid tunnelling i Stäket planerades SBUF-projektets andra fas som ett licentiatarbete vid LTU. Avsikten var nu att mer generellt studera villkoren för robusthet i SKB-betonger för anläggningskonstruktioner vad gäller valet av olika delmaterial samt även att kartlägga den unga betongens egenskaper. Det senare görs bl a för att man ska kunna göra sprickriskanalyser för tiden från gjutning och ca en månad framåt. Sådana analyser ska idag genomföras i förväg för svenska anläggningskonstruktioner. En intressant frågeställning är därvid om SKB-betonger har större benägenhet att få temperaturrelaterade sprickor än traditionella anläggningsbetonger.

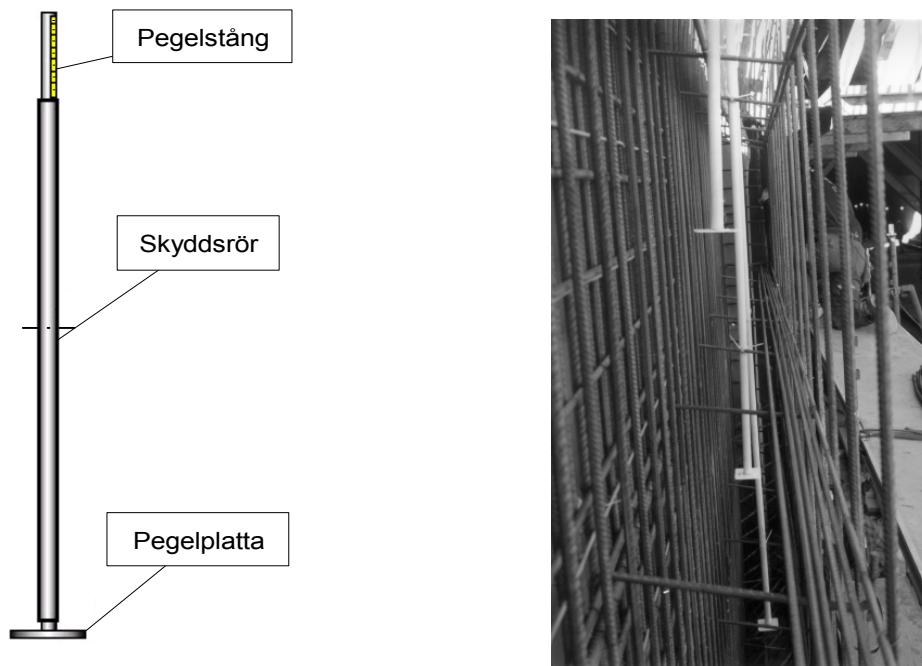
Fas 1 - examensarbetet

Förprovningsen i examensarbetet omfattade laboratorieprovnings respektive fullskaleförsök vid betongfabriken likväl som ett antal fullskalegjutningar för verkliga konstruktioner där SKB valts enbart för att få erfarenhet av gjutning under realistiska förhållanden. Dessutom skickades ibland betongbilen ut på extra långa transporter för att simulera verkliga transportförhållanden. Förprovningsskedet avslutades med genomförandet av första verkliga gjutetappen i tunnelling i Stäket.

Examensarbetet fokuserade på den färska betongens egenskaper, och mätningar utfördes med registrering av flytsättningsmätt, T50, blockeringsgrad med L-låda samt mätningar av lufthalten. Detaljerade beskrivningar hur dessa mätningar går till finns redovisade i examensarbetet. Mätningar gjordes vid betongfabriken samt vid respektive arbetsplats både före och efter pumpningen. Ett generellt resultat var att man kan få oönskade variationer i egenskaperna, och för stabilitet i egenskaperna krävs att man provar varje enskild leverans av betong. Därvid är det mycket viktigt att betongfabriken snabbt får veta resultatet för att ges möjlighet att genomföra erforderliga justeringar vid betongtillverkningen.

Vidare genomfördes i examensarbetet sättningsmätningar in-situ för några väggjutningar med hjälp av pegelmätningar, se figur 1. Resultatet blev att betongen inte hade några sättnings vid en stighastighet av 0.7 m/h. Mätningarna genomfördes från gjutning till 5 h efter gjutning.

För några väggjutningar genomfördes formtrycksmätningar, som tyder på att SKB kan ge lägre formtryck än vad som förväntas vid traditionell betong.



Figur 1. Figuren visar pegelns uppbyggnad med respektive delar. Bilden visar peglarna monterade på plats i formen.

Fas 2 – licentiatavhandlingen

En stor del av arbetet har genomförts i form av en optimeringsprocess att finna en robust SKB-blandning med hänsyn till stabiliteten i tid av egenskaper i färskt tillstånd. De färska egenskaperna avsåg flytsättningsmått, T50, tömningstid för V-tratt, lufthalt samt viskositet och flytspänning mätt med viskometer för betong. Mätningar genomfördes för tidpunkterna 0, 23 respektive 45 min efter gjutningen. Försöken planerades och utvärderades enligt faktormetoden (eng. "Factorial design"). Denna metodik ger underlag för att skilja mellan vanligt brus och signifikanta resultat. I första försöksserien varierades typen av tillsatsmedel, maximal stenstorlek samt mängden filler. Resultatet blev att typen av tillsatsmedel hade avgörande inverkan på egenskapssförluster över tiden.

I en andra försöksserie valdes att använda det bästa tillsatsmedlet från serie 1, och i stället variera fukttätheten i ballasten. Nu registrerades de färska egenskaperna endast vid en tidpunkt. Något överraskande blev resultatet från denna försöksserie att bytet av största stenstorleken från 16 mm till 12 mm var en av de dominerande faktorerna att få bra egenskaper i färskt tillstånd.

Utifrån resultaten från dessa två försöksserier valdes tre betongblandningar, recepten SCC_1, SCC_2 respektive SCC_3 i tabell 1, för att studera den unga betongens egenskaper. Betongblandningen benämnd "Stäket_original" avser den betong som användes vid tunnellingningen i Stäket. Blandningen LTU_REF_SCC_1 är en SKB-betong som använts i ett annat projekt. De två sista betongblandningarna (LTU_REF2 och LTU_REF3) är traditionella anläggningsbetonger.

De egenskaper som registrerades för den unga betongen var värmeutveckling, mognadsfunktion (härdningsförloppets temperaturkänslighet), hållfasthetsutveckling, frirörelser vid variabel respektive konstant temperatur, krypförlopp vid två olika åldrar samt

Tabell 1. Betongblandningar för studie av ung betongs egenskaper

	LTU_SCC 1	LTU_SCC 2	LTU_SCC 3	LTU_SCC_ original	LTU_REF SCC1	LTU_REF2	LTU_REF3
Cement, kg/m ³	364	364	364	364	405	395	422
Vatten, l/m ³	170	170	170	173	158	172	156
vct	0.47	0.47	0.47	0.48	0.39	0.44	0.37
Kalkfiller, kg/m ³	211	211	211	211	175	-	-
Tillsatsmedel	P2	P2	P1	P1	P1	P3	P3
Max. stenstorlek	16 mm	12 mm	16 mm	18 mm	16 mm	27 mm	27 mm
Lufthalt	7.5%	6.4%	5.4%	4.9%	3.5%	4%	4.1%

Tabell 2. Uppmätt draghållfasthet och i spänningsriggen registrerad maximal spänningskvot. Spänningskvoter över 0.98 innebär att provet har spruckit.

	LTU_SCC1	LTU_SCC2	LTU_SCC3	LTU_SCC_ original	LTU_REF SCC1	LTU_REF2	LTU_REF3
Draghållfasthet, MPa	2.91	3.2	2.8	3.9	3.9	3.2	2.8
Maximal spänningskvot	0.98	0.74	0.98	0.88	0.98	0.98	1.0

spänningsutvecklingen under variabel temperatur vid fullständig fastlåsning av provkroppen. Sammantaget ger dessa mätningar egenskapsunderlag för att genomföra sprickriskanalyser för härdande betong.

De flesta delegenskaperna i ung betong kunde vid direktjämförelse inte särskiljas från motsvarande egenskaper för de traditionella anläggningsbetongerna. Däremot framkom några särskiljande resultat från spänningsriggen, se tabell 2, där det framgår att endast blandningarna LTU_SCC2 och LTU_SCC_original inte har gått till brott. Detta är mycket intressant, eftersom

- 1) LTU_SCC_original är den betong som använts vid tunnellingningen i Stäket och
- 2) LTU_SCC2 är den blandning med maximal stenstorlek 12 mm som även hade de bästa egenskaperna i färskt tillstånd

Generellt kan man uttrycka resultaten i tabell 2 med att för de undersökta betongerna gav SKB-blandningarna lika eller i några fall t o m lägre uppmätta spänningskvoter än jämförbara traditionella anläggningsbetonger.

Att betongen LTU_SCC2 kunde identifieras som den betong som hade de ”bästa” egenskaperna både i färskt tillstånd och för den unga betongen tyder på att den valda metodiken har en intressant utvecklingspotential.

Projektets huvudrapporter

Aktuellt forskningsprojekt har resulterat i två huvudrapporter, en licentiatavhandling vid LTU och ett examensarbete vid LTU, vilka bifogas denna slutrapportering. Dessutom har ett examensarbete i anslutning till projektet utförts vid KTH Syd i Haninge, vilket inte bifogas denna rapport. Aktuella referenser beskrivs enligt:

Johansson, A och Simonsson, P (2000): *Självkompakterande Betong - Utveckling och uppföljning vid tunnelling i Stäket*. Luleå University of Technology, Division of Structural Engineering. Master's thesis 2000:180 CI, 169 sid.

Utsi S (2003): *Self-Compacting Concrete – Properties of Fresh and Hardening Concrete for Civil Engineering Applications*. Division of Structural Engineering, Luleå University of Technology. Licentiate Thesis 2003:19, pp 186.

Lagerlöf, E och Oliveby, T (2003): *SjälvKompakterande Betong förTranebergsbron*. Kungliga Tekniska Högskolan, Haninge. Förhandsversion av examensarbete (under tryckning 2003).