

MELLANSTÖDSLÖSBRO ÖVER MOTORVÄG I HÖGPRESTERANDE BETONG MED EXTERN FÖRSPÄNNING

SBUF-rapport
Projekt nr: 11476

Datum
2004-06-07

Författare
Lutfi Ay
Skanska Teknik AB
Bro- och Anläggningsgruppen
169 83 Solna



Förord

Denna FoU-rapport är utförd av Lutfi Ay på Skanska Teknik, Bro- och Anläggningsgruppen i Stockholm. Projektet finansieras av Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond (SBUF) och Skanska Teknik AB.

Jag vill rikta ett stort tack till följande personer som varit till stor hjälp vid skapandet av detta projekt: Christer Ljungkrantz på Cementa AB, Prof. Johan Silfwerbrand på CBI, Prof. Göran Fagerlund på Inst. för Byggnadsmaterial, LTH, Prof. Håkan Sundquist och Dr. Anders Ansell på Institutionen för Byggvetenskap, KTH, Thomas Johansson och Joakim Larsson, Henry Tolonen på Skanska Solna Betongfabrik, Karin Pettersson, Mattias Widenbrandt och Mats Ekman på Betong Tekniska Centrum, BTC, Karl-Erik Nilsson på Skanska Spännarmering, Per Ola Jönsson och Stig-Åke Eriksson på Skanska Sverige AB, Claes Bergsten, Anders Ljunggren, Bengt Sundgren och Johan Lindersson på Skanska Teknik AB.

Lutfi Ay
Stockholm, maj 2004

Sammanfattning

FoU-projektet, Mellanstödslösbron över motorväg, delas i tre delar. Den här rapporten innehåller enbart de första två delarna av projektet. I den första delen undersöktes möjligheterna att tillverka högpresterande betong som är arbetbar, frostresistent, homogen, höghållfast, pumpbar, ekonomisk och har tillräcklig öppethållandetid och ingen cement separation. Ett annat kriterium för betongen är betongen skall vara konkurrens kraftig ur ekonomisk synpunkt. I den andra delen undersöktes estetiska konstruktiva lösningar, ekonomisk statiska system och prefabriceringsmetoder.

Ett antal små- och fullskala material prover genomfördes. Sättnått och utbredningsmått mättes strax efter gjutningen och 30 och 60 minuters intervall för att bedöma arbetbarheten och öppethållandetid. Synpunkter samlades in från bl a betongtillverkare och pumpförare för bedömningen av arbetbarheten och tillämpbarheten i praktiken. Betongen blandades i storskala med två olika blandar typer, tvångsblandare och frifallsblandare. Betongen från båda blandarna hade sättnått $\cong 250$ mm och 2 ~ 3 h öppethållandetid och visade ingen bruksseparation. Resultaten från tryckprovningen visade minimal skillnad på tryckhållfastheten för betongen blandad i frifalls- och tvångsblandaren. Däremot var standardavvikelsen på tryckhållfastheten från frifallsblandaren större än tvångsblandaren. Betongen hade medelvärde av kub hållfastheten på 114 MPa. Betongen pumpades med framgång. Däremot krävdes mer tryck än normal betong för att pumpa Högpresterande betongen dvs. 100 bar behövdes för att pumpa HPB jämfört med 40 bar för normal betong. Frostbeständighets prover är fortfarande under bearbetningsprocess. Resultaten från frystesterna kommer att redovisas i del-3 av detta projekt.

Bro estetiken diskuterades med olika arkitekter. En enkel bro som är estetiskt tilltalande och visar ärligt det bärande systemet valdes. Låd tvärsnitt med externa spännkablar hittades som ekonomiskt genomförbart. Framtida prefabriceringsmöjligheter överblickades.

Innehållsförteckning

<u>Innehåll</u>	<u>Sidan</u>
Förord	1
Sammanfattning	3
1.1 Bakgrund	6
1.2 Syfte	6
1.3 Utförda undersökningar	6
1.3.1 Prov-1	7
1.3.2 Prov-2	10
1.3.3 Prov-3	10
1.3.4 Prov-4	11
1.3.5 Prov-5	13
1.3.6 Prov-6	14
1.3.7 Prov-7	14
1.3.8 Prov-8	16
1.3.9 Prov-9	16
1.3.10 Prov-10	17
1.3.11 Resultat från tryckprovning	18
1.4 Projekteringsmetoder	18
1.4.1 Estetik	18
1.4.2 tvärsnitt	20
1.4.3 Prefabriceringsmetoder	21
1.5 Slutsatser	23
Litteraturförteckning	24
Bilagor	24

1.1 Bakgrund

Egenskaperna av Högpriesterande Betong (HPB) har undersökts under de senaste åren i Sverige. Däremot har man inte tillräcklig kunskap i hur denna betong kan tillverkas i praktiken på bästa möjliga sätt eller hur den befintliga blandningsprocessen påverkas av produktionen av HPB. Användning av hög mängd cement och tillsatsmaterial och tillsatsmedel (till exempel silikastoft & flytmedel) i HPB kan påverka båda blandningstid och rengöring av blandaren.

1.2 Syfte

Syftet med det här arbetet är att undersöka möjligheterna att producera HPB, i betongklass C100/115 enligt Bro 2002, Bilaga 4-13, i stor skala på en betongfabrik. Betong klass C100/115 är den högsta betongklass vars egenskaper är kända av Vägverket i Sverige. Därför har tillverkning av betong som har högre hållfasthet än C100/115 i dagsläget ingen betydelse för den svenska bromarknaden. Betong C100/115 har karakteristisk tryckhållfasthet, vid icke utmattande last, $f_{ck} = 87.0$ MPa för konstruktionsberäkningar. Däremot, måste kubtryckhållfastheten vara $f_{ck} = 115$ MPa vid leverans från betongfabriken. För att uppnå denna hållfasthet skall olika recept av HPB med avseende på vattencementtal w/c och kompakteringsmetoder testas. Definitionen och kraven hos C100/115 anges i Svensk standard SS 13 70 03. Målet med denna undersökning är att producera en robust högpriesterande betong som har följande egenskaper:

- arbetbarhet
- frostresistent
- ordentligt blandad
- höghållfast
- pumpbar
- ekonomisk
- har tillräcklig öppethållandetid och ingen blödning

1.3 Utförda undersökningar

Vatteninnehållet är den viktigaste parametern för hållfasthetsutveckling i betongen och det krävs därför noggranna fuktmätningar hos ballasten. Proverna utfördes i Skanskas betongfabrik i Solna där mäts fukthalten hos ballastmaterialet noggrant med två olika metoder och siktkurvorna uppdateras dagligen. Därför har en betongtillverkare som Solna

betongfabrik goda möjligheter att skapa HPB. Stationen är utrustad med moderna datorsystem och verktyg. Figur 1 visar kontrollrummet på betongfabriken i Solna.



Figur 1 Kontrollrummet på betongfabriken i Solna

Teorin och tillverkningen av HPB skall inte behandlas i den här rapporten. Däremot hänvisas läsaren till Aitcin (1998), Ay (1999), Ay (2000) och Ay (2004).

Högsta viktprocent silikastoft för exponeringsklass XF4 är 6 % av cementvikten enligt Svensk Standard, SS13 70 03, Tabell 5.3.2a ”gränsvärden och kravsammansättning med avseende på beständighet”. Denna tabell bifogas som Bilaga-1. Exponeringsklass XF4 är, ur materialets synvinkel, det högsta kravet på frostbeständigbetong.

Det finns två typer av betongblandare i svenska betongfabriker; tvångsblandare och frifallsblandare. Tvångsblandaren anses vara effektivare än frifallsblandaren och mer anpassad till HPB-tillverkning. Tvångsblandaren är en dyrare anläggning och finns bara hos 10 % av de svenska betongfabrikerna. I den här undersökningen har man undersökt båda blandarnas inverkan för att den här betongen ska kunna tillverkas av alla betongfabriker i Sverige.

1.3.1 Prov-1

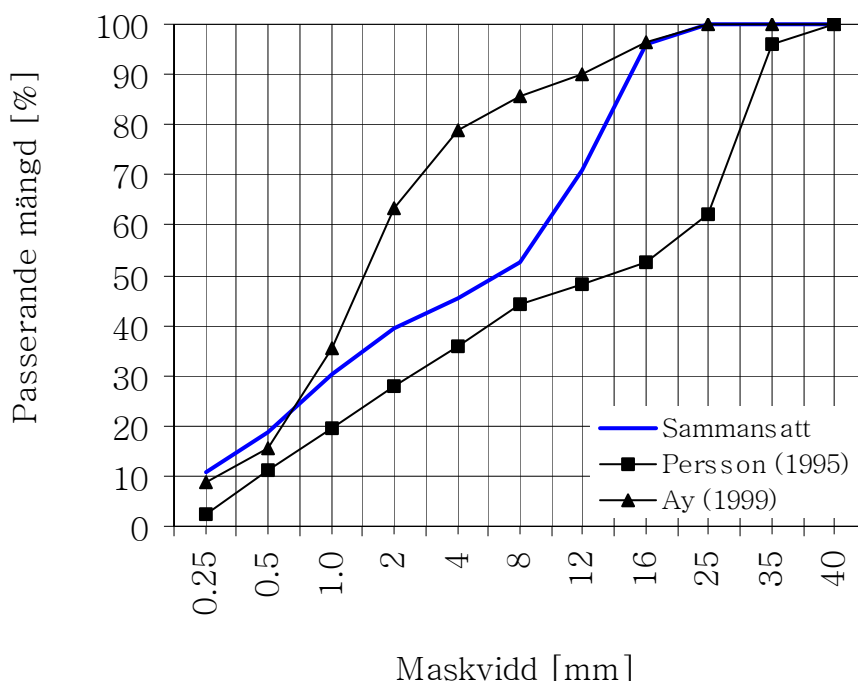
Ändamålet för det första provet var att testa bearbetbarheten av en betong som har vattencementtalet $w/c=0.34$, vattenbindemedeltal $w/(c+s)=0.324$ och silikastoftcementtal $s/c=0.05$. Sammansättningen i detta prov visas i Tabell 1.

Cementtypen som används är Anläggningscement. Flytmedlet är Sikament 56 och luftporbildaren är Sika Aer S. Ballasten 0-8 Järna har max kornstorlek $d_{\max} = 8$ mm och hög finpartikelhalt och rundare struktur. Andelen av 0-8 Järna är 55 % av totala ballastvikten. Ballasten 11-16 Vällsta har max kornstorlek $d_{\max} = 16$ mm. Andelen av 11-16 Vällsta är 45 % av den totala ballastvikten.

Tabell 1 Sammansättningen i Prov-1

Material	kg/m ³
Vatten	170
Cement	500
Silika	25
Flytmedel	5.5
Luftporbildare	0.75
Ballast	
0-8 Järna (55 %)	922
11-16 Vällsta (45 %)	755

Sammansatta kurvan av båda ballasterna visas i Figur 2. Kurvan Persson (1995) anger ideal kompakteringskurvan för en betong av tryckhållfasthet $f_{\text{cck}} = 150$ MPa för $w/c = 0.24$. Kurvan Ay (1999) anger ideal kompakteringskurvan för en betong av tryckhållfasthet $f_{\text{cck}} = 133$ MPa för $w/c = 0.33$, $s/c = 0.1$ och fiberinnehållet $V_f = 1.5$ % av fiber typ Dramix RC 86/60-BP.



Figur 2 Sammansatta kurvan av ballast vid Prov-1. Persson (1995) anger ideal kompakteringskurvan för en betong av tryckhållfasthet $f_{ck} = 150$ MPa för $w/c = 0.24$. Ay (1999) anger ideal kompakteringskurvan för en betong av tryckhållfasthet $f_{ck} = 133$ MPa för $w/c = 0.33$

Betongen blandades 20 sekunder torrt och 3 minuter vått i en tvångsblandare för 30 liters sats. Lufthalten mättes till 3.2 %. Sättnmättet var 260 mm strax efter gjutning och detta värde ändrades inte efter 30 minuter, vilket innebar att betongen ingen sättnmättsförlust. Med andra ord hade den goda förutsättningar för en tillräcklig öppethållandetid. Det observerades en film på några millimeter av cement pasta ovanpå betongmassan. Den tolkades som en liten cementseparation. En sådan liten separation i en 30 liters sats kan orsaka stora problem när samma betong blandas några timmar för fem kubiketers mängd ute på fältet. Därför bestämdes det att man skulle minska på vattenmängden till nästa prov.

Betongen undersöktes av några erfarna medarbetare som arbetar som betonggjutare och deras synpunkter efterfrågades. Betongmassans rörlighet och seghet var två egenskaper vilka bedömdes genom att omröra den färska betongmassan med skopa och känna motståndet från betongmassan. Trots det höga sättnmättet ansågs betongen vara opumpbar och svårbehandlad.

1.3.2 Prov-2

Målet med det här provet var att eliminera cementseparationen genom att minska vattenmängden. För det här provet var vattencementtalet $w/c=0.315$, vattenbindemedeltal $w/(c+s)=0.300$ och silikastoft-cementtal $s/c=0.05$. Sammansatta siktkurvan, satsmängden och blandningstiden var samma som för Prov-1. Sammansättningen i detta prov visas i Tabell 2.

Tabell 2 Sammansättningen i Prov-2

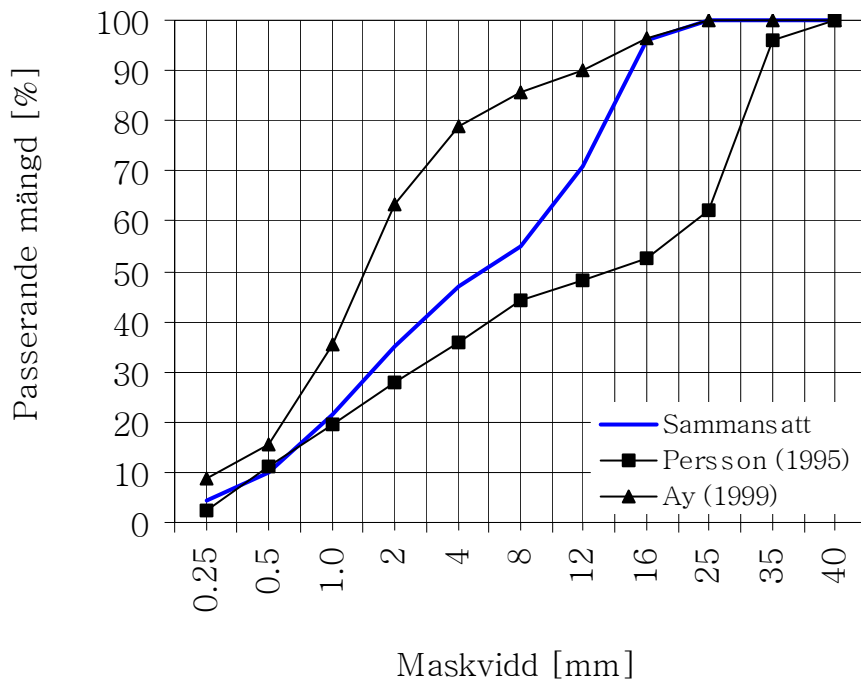
Material	kg/m ³
Vatten	157
Cement	500
Silika	25
Flytmedel	5.5
Luftporbildare	0.75
Ballast	
0-8 Järna (55 %)	940
11-16 Vällsta (45 %)	770

Lufthalten mättes till 2.5 %. Sättnmättet var 250 mm strax efter gjutning och detta värde ändrades till 235 mm efter 30 minuter, dvs sättnmättnförlust på 15 mm. Utbredningsmättet var 410 mm utan slag efter 50 minuter och 410 mm vid 15 slag efter 60 minuter.

Ingen separation observerades för den färska betongen. Emellertid ansågs den vara icke pumpbar och svårbearbetad.

1.3.3 Prov-3

I det här provet byttes ballast fraktionen 0-8 Järna ut mot 0-8 fraktion från Enköping. Enköpings ballast har kantigare struktur vilket missgynnar den färska betongens reology. All andra delmaterial i det här provet är lika som för Prov-2. Den sammansatta kurvan av de båda ballasterna visas i Figur 3.



Figur 3 Sammansatta kurvan av ballast vid Prov-3

Utbredningsmättet var 510 mm, utan slag, efter 10 minuter och 575 mm vid 15 slag efter 20 minuter. Trots att 0-8 Enköping har kantigare struktur hade denna mix bättre arbetbarhet jämfört med Prov-2. Anledningen till detta kan vara att 0-8 Enköping har lägre finpartikelhalt vilket minskar vattenbehovet.

Ingen separation observerades för den färska betongen. Utbredningsmättet gav ingen indikation på bearbetbarheten i det här provet heller. Betongtillverkaren vid Solna fabriken ansåg att den inte var pumpbar och svårbehandad.

1.3.4 Prov-4

I det här stadiet av undersökningen var vi tvungna att ändra den sammansatta ballastkurvan betydligt. En ny sammansättning enligt Ay (1999) utnyttjades. Enligt denna siktkurva hade man lättbearbetad betong och hög hållfasthet samtidigt. Däremot ville man inte ha en betong som har för hög tryckhållfasthet $f_{ck} = 133$ MPa. Egenskaperna av en betong sådan, $f_{ck} = 133$ MPa, är okänd för Vägverket i Sverige.

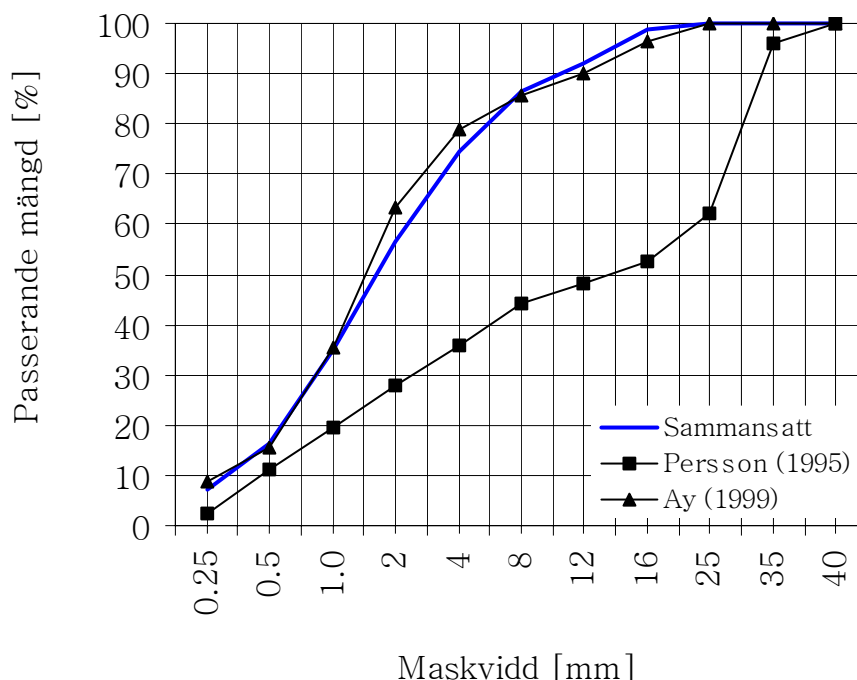
För den här blandningen var vattencementtalet $w/c = 0.335$, vattenbindemedeltalet $w/(c + s) = 0.319$ och silikastoftcementtalet

$s/c = 0.05$. Silikastoftcementtalet var lägre än den referensbetongen i Ay (1999). Författaren tyckte att det borde vara tillräckligt att ha en betong som är med $f_{ck} \approx 115$ MPa. Anledningen till att välja en betong med $f_{ck} \approx 115$ MPa har förklarats i Sektion 1.2. Satsmängden och blandningstiden var samma som för Prov-1. För att anpassa till kurvan i Ay (1999) användes tre ballasttyper. Sammansättningen i detta prov visas i Tabell 3.

Tabell 3 Sammansättningen i Prov-4

Material	kg/m ³
Vatten	167.5
Cement	500
Silika	25
Flytmedel	5.5
Luftporbildare	0.75
Ballast	
0-2 Lindtoth (3 %)	50
0-8 Enköping (85 %)	1432
11-16 Vällsta (12 %)	202

Sammansatta siktkurvan av ballasterna visas i Figur 4.



Figur 4 Sammansatta kurvan av ballast vid Prov-4.

Lufthalten mättes till 4.1 %. Sättnmättet var 260 mm strax efter gjutning och detta värde ändrades till 270 mm efter 60 minuter. Utbredningsmättet var 645 mm utan slag efter 25 minuter. Anledningen till att sättnmättet ökar efter en timme kan vara att det tog tid för flytmedlet att verka.

Ingen separation observerades för den färska betongen. Den här blandningen var lätt att utjämna och det ansågs inte föreligga någon risk för tixotrop betong. Den färska betongmassan omrördes med hand för att känna motståndet från betongmassan. Betong tillverkarna i Solna fabriken ansåg att blandningen var lättarbetad och pumpbar. Författaren vill betona här att sättnmättet för Prov-1 och Prov-4 var samma men blandningen i Prov-1 uppfattades som svårarbetad av personalen i Solna fabriken. Kostnaden för den här blandningen var ≈ 15 SEK/m³ dyrare än för de tre tidigare försöken.

I det här stadiet av projektet bestämde man att fullskaleförsöken kunde påbörjas med receptet man hade kommit fram till i det här försöket.

1.3.5 Prov-5

I prov-5 använde man tvångsblandaren för 1 m³ betong. Den färska betongmassan blandades 3 minuter. Betongsammansättningen i det här provet var det samma som för Prov-4, förutom att mängden av flytmedlet Sikament 56 minskades till 5 kg/m³. Dessutom användes även 0.5 kg/m³ Sika Eco 12. Med andra ord ändrades inte den totala mängden flytmedel, men en liten andel av den ersattes med en svagare variant. Detta gjordes för att garantera en betong utan separation.

Lufthalten mättes till 5.6 %. Sättnmättet var 250 mm strax efter gjutning. Ingen separation observerades. Betongen ansågs vara lätt arbetad och pumpbar av betongleverantören.

Kuber med dimensionen 150 x 150 x 150 mm göts för 7, 14 och 28-dygns tryckhållfasthetsprover. För tryckhållfasthetsproverna användes 5 stycken kuber för varje hållfasthetsmätning. För frysprovningen krävdes 4 stycken kuber med samma storlek som för tryckhållfasthetsproverna. Betongen vibrerades i 1 minut. Normenlig härdning utfördes enligt SS-EN 12390-2.

Resultatet av tryckhållfasthetsproverna enligt SS 13 72 10 kommer att redovisas tillsammans med de andra resultaten i slutet av det här avsnittet. Frysprovningensresultaten (Enligt SS 13 72 44), 112 fryscykler,

är i skrivandets stund ännu inte klara. De kommer att redovisas i ett senare skede tillsammans med Del-3 i det här projektet.

1.3.6 Prov-6

Vid denna provgång testades frifallsbladarens kapacitet för att blanda HPB. Betongreceptet och allt det andra förfarandet är identiskt med Prov-5.

Lufthalten mättes till 6 %. Sättnmättet var 265 mm strax efter gjutning och 255 mm efter 30 minuter. Om man jämför sättnmätt resultatena av Prov-5 och Prov-6 kan man konstatera att frifallsblandaren är minst lika bra, till och med lite bättre än tvångsblandaren. Hållfasthetsproverna avslöjar hur bra betongen egentligen blandades. Ingen separation observerades och betongen ansågs vara lättbearbetad och pumpbar.

1.3.7 Prov-7

I prov-7 undersöktes betongens pumpbarhet. Betongreceptet och blandning förfarandet är identiskt med Prov-5. Betongen blandades i tvångsblandaren.

Innan pumpning tog man ut några prover. Sättnmättet mättes till 250 mm och lufthalten var 7.2 %. För att kunna mäta någon skillnad på betongen göts 3 stycken kuber för tryckhållfasthetsprovning.

Betongen fördes över till pumpen och fick vila i 15 minuter innan den pumpades. På det här viset kontrollerades om betongens hårdnande inne i pumpen och om pumpen sedan inte orkar pumpa betongen så har man ett så kallat tixotropt läge. Betongen pumpades med ett pumptryck på 100 bar. För normal betong utnyttjar man cirka 40 bar. En normal pumpmaskin har maxkapacitet 180 bar. Sättnmättet mättes till 250 mm och lufthalten var 5.4 %. Sättnmättet var detsamma före och efter pumpningen men lufthalten hade minskat något. Detta kan förklaras med att pumpen pressade ur luften under arbetets gång. För att kunna mäta någon skillnad hos betongen göts även här 3 stycken kuber för tryckhållfasthetsprov. Sättnmätt prov och pumpning av HPB visas i Figur 5 och Figur 6.



Figur 5 Sättmåttprov av HPB



Figur 6 Pumpning av högpresterande betong i Solna betongfabriken

1.3.8 Prov-8

När resultaten från 7- och 14-dygns tryckhållfasthetsproven erhöles från Prov-5 insåg vi att man inte skulle kunna uppnå $f_{\text{cck}} = 115$ MPa som 28-dygns tryckhållfasthet. Referensbetongen ($f_{\text{cck}} = 133$ MPa) hade 50 kg/m^3 silikastoft, $\approx 3\%$ lufthalt och kvartsbaserad ballast. Betongen i samtliga proverna hade 25 kg/m^3 , lufthalten var i genomsnitt $\approx 6\%$ och ballasten var granitbaserad. Man hade förväntat sig en viss tryckhållfasthetsminskning på grund av de skillnader som nämndes ovan. Ett nytt försök med $w/c = 0.3$ och $w/(c+s) = 0.286$ utfördes. Sammansättningen av det provet redovisas i Tabell 4.

Tabell 4 Sammansättningen i Prov-8

Material	kg/m ³
Vatten	150
Cement	500
Silika	25
Flytmedel	6.5
Luftporbildare	-
Ballast	
0-2 Lindtoth (3 %)	52
0-8 Enköping (85 %)	1469
11-16 Vällsta (12 %)	207

Det här provet misslyckades helt då betongen bara blev som en torr massa.

1.3.9 Prov-9

Båda flytmedel och vattenmängden ökades på Prov-9 jämfört med Prov-8. Ett nytt försök utfördes med $w/c = 0.32$, $w/(c+s) = 0.305$ och $s/c = 0.05$. Sammansättningen anges i Tabell 5.

Tabell 5 Sammansättningen i Prov-9

Material	kg/m ³
Vatten	160
Cement	500
Silika	25
Flytmedel	7.35
Luftporbildare	-
Ballast	
0-2 Lindtoth (3 %)	51
0-8 Enköping (85 %)	1444
11-16 Vällsta (12 %)	204

Lufthalten mättes till 3.4 %. Betongen var väldigt seg och ansågs vara opumpbar trots att flytmedel mängden ökades.

1.3.10 Prov-10

Inom loppet av Prov-9 insåg man att finpartikelhalten inte var tillräcklig för att skapa den pastamängd som ger rörlighet hos betongen. Därför bestämdes att öka cementhalten till $c = 570 \text{ kg/m}^3$ och mängden av flytmedlet medan man behöll w/c -talet som i Prov-9. Det här provet hade $w/c = 0.32$, $w/(c+s) = 0.305$ och $s/c = 0.05$. Sammansättningen av det provet anges i Tabell 6.

Tabell 6 Sammansättningen i Prov-10

Ingredienser	kg/m ³
Vatten	182.4
Cement	570
Silika	28.5
Flytmedel	9.576
Luftporbildare	0.855
Ballast	
0-2 Lindtoth (3 %)	47
0-8 Enköping (85 %)	1334
11-16 Vällsta (12 %)	188

Sättningsmättet mättes till 280 mm. Utbredningsmättet var 780 mm. Lufthalten mättes till 2 %. Betongen ansågs ha väldigt lätt arbetbar och var pumpbar. 28-dygns tryckhållfastheten mättes till $f_{ck} = 114 \text{ MPa}$. En viss separation av pastan observerades. Båda w/c -talet och flytmedel

mängden kan minskas. På det här viset kan man uppnå en betong med mindre separationsrisk och något högre hållfasthet än $f_{cck} = 115 \text{ MPa}$. Med hjälp av resultatet av det här provet konstaterades att målet var uppnått i den här undersökningen. Man ansåg att ytterligare prover inte behövdes utföra.

1.3.11 Resultat från tryckprovning

Sammanställning av tryckhållfasthetsproverna anges i Tabell 7. Det observerades inte någon stor skillnad för de 28-dygns tryckhållfasthetsproverna mellan tvångs- och frifallsblandarna. Däremot är standardavvikelsen mycket större på tryckhållfastheten från frifallsblandaren. Detta måste undersökas närmare med hjälp av ytterligare gjutningar.

Tabell 7 Sammanställning av tryckhållfasthetsprover

		f_{cck} [MPa]
Prov-5, Tvångsblandare	7-dygn	71.5 (1.3)
	14-dygn	84.4 (1.4)
	28-dygn	93.6 (3.0)
Prov-6, Frifallsblandare	28-dygn	92.8 (9.0)
Prov-7, Före pumpning	28-dygn	92.7 (2.5)
	Efter pumpning	28-dygn
Prov-10	28-dygn	114.1 (4.0)

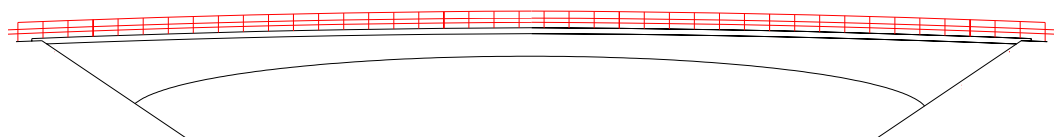
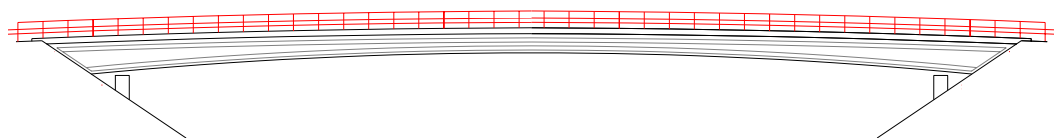
1.4 Projekteringsmetoder

1.4.1 Estetik

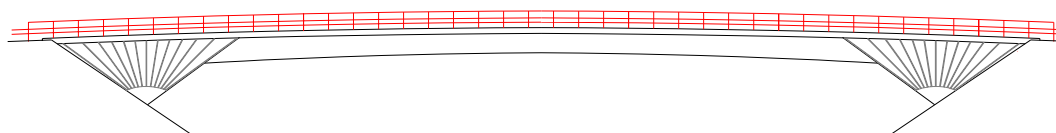
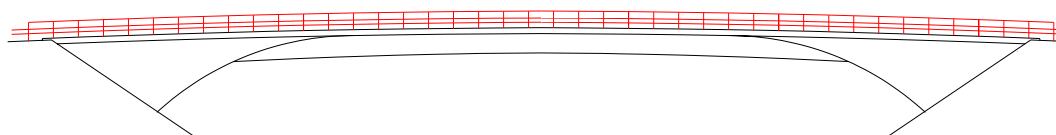
Det här pilotprojektet syftar bland annat till att bli ett referens objekt och exempel för framtida applikationer. Därför är brons estetik en viktig parameter.

Skanska Teknik kontaktade arkitekterna Thorbjörn Suneson, Vägverket och Henrik Rundqvist, KHR R arkitekter AB för att diskutera trafiksäkra och estetisk tilltalande broar. Vid mötet beslöts att ett möte mellan Vägverket och Skanska skulle hållas för att utröna samarbetsmöjligheter, minnesanteckningarna från det mötet bifogas som Bilaga-2.

Några exempel på mellanstödslösa broar visas i Figur 8.



SKANSKA
Skanska Teknik AB



SKANSKA
Skanska Teknik AB



Figur 8 Några arkitektoniska brolösningar

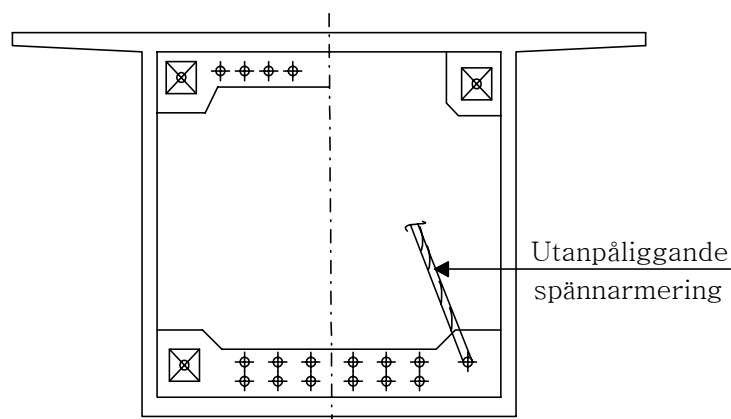
En mellanstödslösbro är en utmaning när det gäller spännvidden. Varje ingrepp för att förbättra skönheten kan påverka negativt bronns enkelhet. Bronsutseende bör visa det statiska systemet. Med andra ord är bron vacker som den är. Nedan visas den enklaste och kanske den vackraste varianten.



Figur 9 Mellanstödslös bro i högpresterande betong

1.4.2 Tvärsnitt

Effektivt utnyttjande av högpresterande betong är grunden för framgång i det här projektet. Låd tvärsnitt med utanpåliggande spännarmerings-system har flera fördelar jämfört med ett massivt tvärsnitt. Låd tvärsnittet möjliggör en lätt konstruktion med mindre betong- och armeringsförbrukning. Utanpåliggande spännarmeringssystem möjliggör tunnare väggtjocklek. Det finns även andra alternativa brolösningar för högpresterande betongapplikationer, bland annat med olika fackverksystem som kräver ännu högre betonghållfastheter (Aitcin and Richard 1996). Med en betongklass som i det här projektet är detta val av tvärsnitt ett av de bästa alternativen. Fördelarna och nackdelarna med det här tvärsnittet har diskuterats mer detaljerat i Ay (1999). Figur 10 illustrerar tvärsnittet hos en mellanstödslös motorvägsbro.



Figur 10 Tvärsnittet hos mellanstödslös motorvägsbro

Tabell 8 visar material behovet av båda Bro T898 och de olika mellanstödslösa FoU-bro alternativ (Andersson och Klingsmo 2004).

Tabell 8 Jämförelse mellan den originell bro lösning med två HPB alternativ

	T898	FoU-bron Massivtvärsnitt	FoU-bron Låd balk
Betong [m ³]	314 (K40)	417 (K100)	217 (K100)
Slakarm. [ton]	31.1	26.9	13.5
Spännarm.[ton]	10.5	44.5	21.8
	(12 st. 12 ϕ 15.7)	(15 st. 43 ϕ 15.7)	(16 st. 6 ϕ 15.7)

Det som kan ses i Tabell 8 är att låd tvärsnittet med utanpåliggande spännsystem kan utmana ekonomiskt de nuvarande motorvägsbroarna med tre stöd.

Utanpåliggande spännarmeringssystem utnyttjas i hög grad i England och Tyskland. Skanska AB har redan byggt en sådan bro, Medway Bridge, i England. Utanpåliggande spännarmeringssystem utnyttjas enbart för förstärkningsändamål i svenska broar, då detta system hittills enbart är godtaget av Vägverket för förstärkningsarbeten. Bland annat har man förstärkt broar i Huvudsta, Skelefteå och Täby. Emellertid finns det inga föreskrifter som gäller för nya konstruktioner. Med hjälp av det här projektet kan man införa det här moderna konceptet i den svenska bronormen, Bro 2002. Ett nära samarbete med Vägverket krävs medan man undersöker tyska och engelska bronormer.

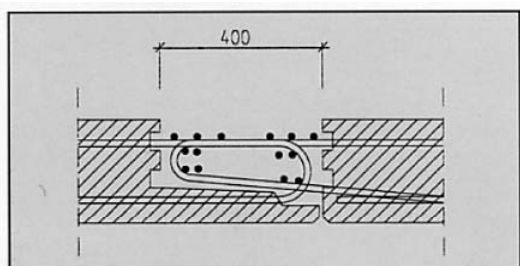
1.4.3 Prefabriceringsmetoder

Den första bron kan tänkas bli en platsgjuten konstruktion. Däremot, när det här konceptet blir godtaget av svenska industrin måste produktionstekniken effektiviseras. Bron kan prefabriceras i tre eller fyra delar, fraktas och monteras på plats. Transporten av en U-balks bro visas i Figur 11.

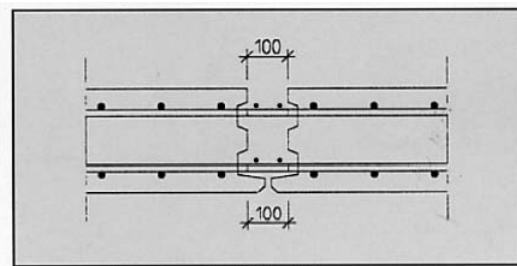


Figur 11 Transporten av en U-balks bro

För gjutning av fogar för prefabricerade element kan man använda olika metoder. Figur 12(a) illustrerar det traditionella fogsystemet som kräver 400 mm förankringslängd och (b) CRC-jointcast tekniken med 100 mm förankringslängd. CRC-jointcast tekniken utnyttjar ultrahögpresterande fiberbetong som fogmassa. En likvärdig fiberbetong har tillverkats och dess egenskaper har undersökts detaljerat under Ay (2004).



(a)



(b)

Figur 12 (a) Traditionella fogsystemet som kräver 400 mm förankringslängd och (b) CRC-jointcast tekniken med 100 mm förankringslängd (Nielsen et. al 1996)

Fullskaleförsök med CRC-jointcast visas i Figur 13.



Figur 13 Fullskaleförsök med CRC-jointcast

1.5 Slutsatser

- Det är möjligt att tillverka högpresterande betong av klass C100/115 med god arbetbarhet och pumpbarhet med tillräckligt öppethållandetid i fabriksmiljö.
- Låd tvärsnitt med utanpåliggande spännsystem kan utmana ekonomiskt de nuvarande motorvägsbroarna med tre stöd.

Litteraturförteckning

AITCIN P.C. (1998), *High-performance concrete*, publisher: E & FN Spon

AITCIN P.C., RICHARD P. (1996), *The pedestrian/bikeway bridge of Sherbrooke*, 4th International symposium on utilization of high strength/high performance concrete.

ANDERSSON L. , KLINGSMO M. (2004), *Mellanstödslös bro över motorväg i högpresterande betong med extern förspänning*, TRITA-BKN Examensarbete 201, Brobyggnad 2004, KTH

AY L. (2000), *Matrix-fiber coherence of SFRHPC*. Proceedings, Fibre-Reinforced Concretes, BEFIB 2000, Lyon, pp 801-809

AY L. (1999), *Using prestressed steel fiber reinforced high performance concrete in the industrialization of bridge structures*, Licentiate. Thesis. Dept. of Struct. Eng., Royal Institute of Technology, KTH

AY L. (2004), *Steel Fibrous Cement Based Composites*, Part one: Development of material and mechanical properties Part two: Behavior in the anchorage zones of prestressed bridges, PhD. Thesis. Dept. of Struct. Eng., Royal Institute of Technology, KTH

NIELSEN, C.V. & OLESEN, J.F. & AARUP, B. (1996), “*Effect of fibres on the bond strength of high strength concrete*”. BHP96 Fourth International Symposium on Utilization of High-Strength/High-Performance Concrete, 29-31, Paris, France.

PERSSON B. (1995), *Beräkningsprogram PROPH för partikelfördelning av färsk betong*, Lund Tekniska Högskolan, Rapport TVBM-7090

Bilagor

Bilaga-1: Svensk standard SS 13 70 03, Tabell 5.3.2a gränsvärden och kravsammansättning med avseende på beständighet.

Bilaga-2: Minnesanteckningar, Möte mellan Vägverket och Skanska Teknik angående nya attraktiva och trafiksäkra brokonstruktioner

Bilaga-1

Bilaga-2

Handläggare
SKANSKA
Datum
2004-05-24

Minnesanteckningar

Möte mellan Vägverket och Skanska Teknik angående nya attraktiva och trafiksäkra brokonstruktioner.

Deltagare:

Thorbjörn Suneson, Vägverket
Henrik Rundqvist, KHR R arkitekter ab
Claes Bergsten, Skanska Teknik AB
Per-Ola Jönsson, Skanska Teknik AB

Dag: 7 april 2004

Plats: Skanska kontor Solna

§ 1

Bakgrunden till Thorbjörns och Henriks besök är ett möte mellan Ingemar Skogö och Per-Ola Jönsson där trafiksäkra broar diskuterades. Därvid beslöts att ett möte mellan Vägverket och Skanska skulle hållas för att utröna samarbetsmöjligheter.

§ 2

Som agenda bestämdes följande punkter:

- Information från Skanska Teknik om dess verksamhet
- Information från Vägverket
- Beskrivning av aktuella broprojekt
- Diskussion huruvida Vägverket kan gå in i enskilda projekt tillsammans med enbart Skanska?
- Vardagsbroar
- Broars gestaltning

§ 3

Per-Ola Jönsson beskrev de förändringar som genomförts inom Skanska Teknik och hur avsikten är att verksamheten ska bedrivas i framtiden. Skanska Teknik AB är nu ett bolag i Skanska Sverige med fokus på att förbättra teknisk kvalitet och prestanda i den Skanskas svenska verksamhet. En viktig del är att kontinuerligt utveckla och förbättra produkter och konstruktioner. Det är då

Handläggare
SKANSKA
Datum
2004-05-24

viktigt att våra viktigaste kunder medverka i processen för att nya tekniska innovationer ska kunna omsättas på marknaden.

§ 4

Thorbjörn Suneson beskrev sitt uppdrag att driva och samordna vägarkitekturfrågor. Inom Vägverket är vägarkitekturfrågorna prioriterade och långsiktigt hållbara lösningar ska utvecklas och byggas. De nya anläggningssystem som ska kunna tas i bruk måste uppfylla Vägverkets mål för att kunna användas. Det är därför viktigt att ha en nära dialog mellan Vägverket, entreprenörer och konsulter för att kunna uppnå ställda målsättningar.

§ 5

Diskuterades varför utvecklingen går långsamt inom anläggningsbranschen. Mycket beror på en hård standardisering som gör det svårt att omsätta nya tekniska lösningar. Det handlar dock ofta om tekniska konstruktioner med mycket långa dimensionerade livslängder varför frågeställningarna om långsiktigt hållbara lösningar är komplexa. Per-Ola Jönsson hänvisade till ett föredrag vid vägdagarna i Göteborg där olika upphandlingsmetodik redovisats varav några metoder stimulerar till utveckling och andra inte gör detta. Vägverket avser prova båda metoderna.

§ 6

Claes Bergsten beskrev olika broprojekt där hänsyn har tagits till arkitektonisk utformning. Bland annat beskrevs förnyelse av en bågbro som behållit sitt arkitektoniska utseende trots att den funktionen och konstruktionen är helt ny efter ombyggnaden. (Bilaga)

Claes beskrev också huvudtemat för dagen i form av en trafiksäker mellanstödsfri bro. Denna bro har en attraktiv gestaltning samtidigt som trafiksäkerheten ökar i och med att mittstöd saknas. Vägverket har tidigare uttalat ett behov av att utveckla denna typ av bro för att förbättra trafiksäkerheten. (Bilaga)

§ 7

Diskuterades möjligheterna för Vägverket att gå in i ett projekt där enbart Skanska deltar. Per-Ola beskrev att ovanstående projekt ofta drivs i form av SBUF-projekt där alla medlemsföretag till SBUF får ta del av resultaten. Dessutom finns det möjlighet att samordna utvecklingsverksamhet med kunderna och även adjungera exempelvis Vägverket till referensgrupperna till projektet. I de fall där en

Handläggare
SKANSKA
Datum
2004-05-24

entreprenör vill genomföra en unik lösning som entreprenören är ensam om (exempelvis en patenterad ny produkt eller konstruktion) finns också möjlighet att använda förhandlad upphandling enligt LOU. Detta för att ny teknik ska kunna implementeras på marknaden.

§ 8 Vardagsbroar

(Har inte antecknat något om detta. Menas väl motorvägsbroarna och småbroar. Komplettera om du har någon annars stryk punkten)

§ 9 Broars gestaltning

(???)

§ 10

Beslöts att Skanska Teknik och Vägverket utväxlar minnesanteckningar från mötet vartefter kontakt tas om eventuellt fortsatt samarbete.

Claes Bergsten/Per-Ola Jönsson