

Självkompakterande betong för rationell husbyggnad

SBUF-rapport för utvecklingsprojekt 0106



Markus Peterson
lad Saleh

Farsta 2003-07-04

Förord

Självkompakterande betong (SKB) har en stor potential att förbättra arbetsmiljön och skapa möjligheter för ökad rationalisering inom det platsgjutna stombyggandet. Trots dessa uppenbara fördelar används tekniken i mycket begränsad utsträckning i Sverige såväl som internationellt. Denna rapport beskriver först självkompakterande betongs potentiella produktionsfördelar men även hinder för ökad implementering. Därefter redovisas resultatet av genomförda fältstudier, vilka har syftat till att studera positiva effekter vid SKB-användande men även identifiera eventuella problemområden. Slutligen redogörs utförda laboratoriestudier. Dessa har haft målet att verifiera problemområden upptäckta i fält, men även finna lösningar som kan tillämpas vid SKB-användande och på så vis kunna utnyttja mera av SKB:s stora potential.

Styrgruppen har bestått av följande personer:

Göran Fagerlund LTH, Avd. Byggnadsmaterial

Christer Ljungcrantz Cementa AB

Markus Peterson Skanska Asfalt och Betong, Betongtekniskt Centrum

Innehållsförteckning

1. Inledning	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	1
1.3 Metod	2
1.4 Sammanfattning	2
2. Självkompakterande betong	4
2.1 Allmänt kring användandet av ny betongteknik	4
2.2 SKB – historik	5
2.2.1 Internationella forskningsinsatser och erfarenheter	5
2.2.2 Svenska forskningsinsatser och erfarenheter	5
2.2.3 SKB – tekniska egenskaper	6
2.3 SKB – fördelar jämfört med vanlig betong	8
2.3.1 Inledning	8
2.3.2 Förbättrad arbetsmiljö	9
2.3.3 Mera rationell produktionsmetod	10
2.3.4 Ekonomiska aspekter	11
2.4 Hinder för implementering av SKB	12
2.4.1 Inledning	12
2.4.2 Tekniska hinder	12
2.4.2.1 Tekniska hinder grundade på produktionssvårigheter	13
2.4.2.2 Tekniska hinder grundade på kunskapsbrist	14
2.4.3 Hinder relaterade till byggprocessen	16
2.4.3.1 Inledning	16
2.4.3.2 Organisation	16
2.4.3.3 Ekonomi	17
3. SKB-tillverkning inom Skanska Asfalt och Betong	19
3.1 Inledning	19
3.2 SKB-användande inom Skanska Asfalt och Betong Fabrik 1	19
3.3 SKB-användande inom Skanska Asfalt och Betong Fabrik 2	20
3.4 SKB-användande inom Skanska Asfalt och Betong Fabrik 3	20
3.5 SKB-användande inom Skanska Asfalt och Betong Fabrik 4	21
3.6 Sammanfattning av SKB-tillverkning inom Skanska Asfalt och Betong	22
4. Fältstudier	23
4.1 Inledning	23
4.1.1 Bakgrund	23
4.1.2 Syfte	23
4.1.3 Metod	24
4.2 Fältförsök	24
4.2.1 Allmänt kring byggprojektet	24
4.2.2 Produktionsmetoder (lossningsmetoder, SKB-koncept etc)	26
4.3 Resultat	26
4.3.1 Horisontella konstruktioner	26
4.3.1.1 SKB-gjutning av den första bottenplattan	26
4.3.1.2 Produktionsmetoder vid SKB-gjutning	28
4.3.1.3 Observationer av färsk SKB	31

4.3.2 Vertikala konstruktioner	32
4.3.2.1 Observationer av hårdnad SKB	33
4.3.2.2 Produktionstekniska aspekter	35
4.4 Analys	38
4.4.1 Orsaker till resultat	38
4.4.2 Konsekvenser av erfarenheter i fält för fortsatt SKB-användande	40
4.4.2.1 Fördelar	40
4.4.2.2 Nackdelar	40
4.4.2.3 Övriga aspekter	41
4.5 Slutsatser	42
5. Laboratoriestudier	44
5.1 Inledning	44
5.1.1 Bakgrund	44
5.1.2 Syfte	45
5.1.3 Metod	45
5.2 Förundersökning – betong från fabrik	45
5.2.1 Undersökta parametrar	45
5.2.2 Resultat från förundersökning	46
5.2.2.1 Delmaterial och betongsammansättning	46
5.2.2.2 Flytsättningsmått och stabilitet	47
5.2.2.3 Mognadsgrad och hållfasthetsutveckling	49
5.3 Laborieförsök	50
5.3.1 Allmänt	50
5.3.2 Delmaterial och betongsammansättning	50
5.3.3 Resultat från provningar i lab	51
5.3.4 Implementering av laborierresultat i fält	52
5.3.5 Delmaterial och betongsammansättning – diskussion och slutsatser	53
6. Diskussion av resultat samt slutsatser	55
6.1 Diskussion av resultat	55
6.2 Slutsatser	57
Referenser	59

1. Inledning

1.1 Bakgrund

Självkompakterande betong, SKB, har en kraftfull potential att rationalisera det platsgjutna stombyggnad. Den leder till en markant förbättrad *arbetsmiljö* tack vare att det för vanlig betong erforderliga vibreringsmomentet elimineras -en fördel som innebär att de bland betongarbetare vanligt förekommande vibreringsskadorna, s.k 'vita fingrar', kan undvikas. Arbetet blir även mindre tungt och dessutom höjs säkerheten genom kommunikation blir enklare p.g.a att bullernivån sänks. Det sista är dessutom en fördel för byggarbetsplatsens närmaste omgivning.

SKB kan också leda till *produktionsekonomiska fördelar*, såsom fina 'porfria' ytor (vilket kräver mindre efterarbete), högre produktivitet (gjutning av större volym betong per tidsenhet) och lägre behov av personal under gjutning.

Tekniken började användas i fullskaleprojekt i Sverige för drygt fem år sedan och trots de uppenbara fördelarna levereras fortfarande en mycket låg volym SKB i jämförelse med vanlig betong. SKB är känsligare än normal betong och ställer därför högre krav på god proportionering och kontroll över delmaterialens kvalitet. Implementeringen har stött på problem såsom separation, sprickbildning, höga formtryck, poriga ytor etc. Frågetecken finns också t.ex kring brandbeständighet och ekonomiska samband såsom materialkostnad i förhållande till besparing av arbetskraft eller efterarbete.

1.2 Syfte

Projektet 'Självkompakterande betong för rationell husbyggnad' syftar dels till att beskriva SKB avseende, potentiella fördelar, FoU och erfarenheter men även att identifiera produktionsfördelar och eventuella produktionsproblem med SKB samt att efter kompletterande laboratoriestudier föreslå tekniska lösningar på eventuella problem.

1.3 Metod

I projektets förstudie har tillverkningsätt och erfarenheter av olika SKB-koncept sammanställts genom intervjuer och litteraturstudier. Därefter har fältstudier genomförts med syfte att upptäcka fördelar och eventuella problemställningar avseende användning SKB. De identifierade problemställningarna har sedan verifierats i Skanska BTC:s laboratorium och dessutom har lösningar inför implementering föreslagits.

1.4 Sammanfattning

FoU, implementering och erfarenheter gällande SKB

Självkompakterande betong (SKB) som ej behöver vibrering för att fylla ut formen började utvecklas i Japan under 80-talet med syfte att öka beständigheten genom god utfyllnad i form och kringgjutning av armering. I Sverige har den använts sedan andra halvan av 90-talet men fortfarande är de levererade volymerna SKB starkt begränsade, såväl i Sverige som internationellt. De potentiella fördelarna är dock uppenbara. Tack vare att vibreringsinsatserna kan elimineras kan en markant förbättrad arbetsmiljö erhållas. Dessutom innebär SKB en möjlighet för mera kostnadseffektivt byggande genom lägre behov av arbetskraft och efterarbete. Jämfört med vanlig betong ställer dock SKB betydligt högre krav på god proportionering samt kontroll över både delmaterialens kvalitet och gjutförhållanden. Olika koncept används för tillverkning av SKB, varav de som innehåller någon typ av filler (kalkstens- eller glasfiller) är vanligast. De huvudsakliga problemen med färsk SKB anses vara förlust av självkompakterbarheten och höga formtryck samt sprickbildning för den hårdnade betongen.

Resultat av fält- och laboratoriestudier

De genomförda fältstudierna inom detta projekt koncentrerades endast (p.g.a brist på lämpliga SKB-husprojekt) till ett flerbostadsbygge i Östergötland och indikerade på tydliga fördelar vad gäller arbetsmiljö och möjlighet till att bygga mera rationellt, men även negativa effekter sammanhängande med SKB. Det använda SKB-konceptet för detta projekt innehöll ej något filler. Vad gäller de identifierade problemområdena med denna betong, bestod dessa huvudsakligen av separationstendens (inhomogen färsk betong) vilket medförde risk för sämre kvalitet i betongytor (väggar, pelare såväl som i bjälklag) än förväntat. Problemen

Dessa effekter uppstod i princip oberoende av formtyp, lossningsmetod och stighastighet - parametrar vilka ofta kan påverka gjutresultatet. Efter provtagning i fält och framförallt vid verifierande lab-försök visade sig huvudproblemet vara att få en tillräckligt robust betong. För att åstadkomma den självkompakterande förmågan krävdes tillsättning av större tillsatsmedelsmängder, vilket ökade risken för separation. En ytterligare effekt var uppkomsten av kraftiga luftbubblor i ytan med grova porer och 'skinnbildning' som slutligt resultat i den hårdnade betongen. Eftersom det studerade SKB-konceptet ej innehöll något filler (d.v.s utgjorde den typ av koncept som anses vara det känsligaste och svåraste att lyckas tillverka tillräckligt robust SKB med) valdes att i labförsöken prova tillsättning av kalkfiller. Efter ett flertal provblandningar optimerades receptet varpå de tidigare observerade problemen i princip var eliminerade. Dessutom kunde cementhalten minskas. Således erhöles ett recept som bör leda till en mera robust betong med dessutom lägre cementhalt, vilket i sig sänker produktionskostnaden -aspekter som är nödvändiga för ökad implementering av SKB och kanske t.o.m för framtida användande av platsgjuten betong.

2. Självkompakterande betong

2.1 Allmänt kring användande av ny betongteknik

Intensiv betongforskning bedrivs över hela världen. Under det senaste decenniet har stora insatser gjorts inom högpresterande betong (HPB) och självkompakterande betong (SKB). Internationellt sett har dessa tekniker, främst vad gäller HPB, framförallt använts inom anläggningsbyggande (t.ex broar, vägar och offshore-byggande) och prestigefyllt skyskrapsbyggande. Inom svenskt husbyggande (kontors- och flerbostadsbyggande) har HPB använts i viss utsträckning med syfte att förkorta uttorkningstider och/eller formrivningstider. SKB har använts vid försök att rationalisera det platsgjutna anläggnings- och husbyggandet. Men oftast används platsgjuten betong med samma metoder och genom samma typ av organisation som under de senaste decennierna, trots ökad konkurrens från andra material såsom prefabricerade betongelement, trä och stål.

Betongforskning fokuserar huvudsakligen på rent tekniska aspekter. Icke-tekniska aspekter, t.ex hinder för implementering eller incitament såsom ekonomiska vinster är ofta begränsade. Dock finns exempel på forskning som visar att ny betongteknik kan leda till rationalisering av byggandet. T.ex har Hallgren (1993) och Persson (1996) visat på praktiska fördelar och kostnadsbesparingar vid användande av HPB inom husbyggnad. Men vanligtvis vid den här typen av forskning är endast ett begränsat antal aspekter undersökta. Dock finns potential för rationellt platsgjutet stombyggande om ny betongteknik utnyttjas och en helhetssyn tillämpas (Peterson 2003a och 2003b).

Detta kapitel syftar till att beskriva SKB med fokus på följande aspekter:

- Internationella forskningsinsatser
- Tekniska materialegenskaper
- Tillämpningsområden
- Potentiella produktionsfördelar (även konstruktions- och funktionsaspekter)
- Eventuella problemområden
- Hinder för implementering (inklusive icke-tekniska)

2.2 SKB – historik

2.2.1 Internationella forskningsinsatser och erfarenheter

Självkompakterande betong (SKB) baseras på nya typer av högeffektiva vattenreducerade tillsatsmedel och vanligtvis i kombination med höga fillermängder (t.ex kalkstens- eller glasfiller). Den huvudsakliga fördelen med SKB består av att det traditionellt nödvändiga vibreringsarbetet för att erhålla god kompaktering av den färska betongen kan elimineras. Forskning inom SKB påbörjades i Japan under 80-talet. Anledningen var främst att lösa beständighetsproblem orsakade av bristfällig kompaktering (Okamura och Ouchi, 1999). De första provblandningarna som gav betong som inte behövde vibreras kom fram 1988. I själva verket kallades denna betong för högpresterande betong (HPB). I Japan inkluderar definitionen HPB även självkompakterande betong. Under de senaste åren har SKB introducerats över hela världen men volymerna är fortfarande bara en bråkdel av de totalt producerade. 1997 uppgick SKB i Japan till endast 0,1 % av den totala japanska fabriksbetongproduktionen (Ouchi, 1999).

2.2.2 Svenska forskningsinsatser och erfarenheter

I Sverige har inget nationellt forskningsprogram genomförts för SKB, såsom är fallet för HPB. Svensk forskning inom SKB har dock pågått sedan mitten av 90-talet. Det första fullskaleprojektet för SKB, var en betongbro som Vägverket Produktion producerade 1998. Incitament för att använda sig av SKB inom detta projekt bestod huvudsakligen av potentiellt högre hållfasthet, antagen ökad livslängd, möjlighet till högre estetisk kvalitet och förväntat högre kostnadseffektivitet (Skarendahl, 2001). Projektet blev framgångsrikt och resulterade i ett antal projekt där SKB användes med syftet att eliminera vibreringsinsatserna eftersom detta arbetskraftsintensiva moment även innebär arbetsmiljömässiga nackdelar vid platsgjutet betongbyggande. Användande av SKB skapar även möjligheter till högkvalitativa betongtytor med mindre grad av erforderligt efterlägningsarbete som följd. Inom både anläggnings- och husbyggande har användandet av SKB ökat under de senaste fem åren och har ansetts som en av de viktigaste tekniska innovationerna för rationellt platsgjutet betongbyggande. Det finns dock exempel på projekt där SKB har lett till tekniska produktionsproblem, såsom

betongseparation med icke godtagbara betongytor som resultat, sprickbildning p.g.a plastisk krympning, och formras genom höga formtryck. Intensiv utveckling och användning av nya tillsatsmedel har ägt rum och i Sverige har flera olika typer av SKB-koncept använts. Det anses att ytterligare forskning inom SKB behövs för att kunna garantera en robust och helt tillfredsställande produkt. I en nyligen publicerad rapport av Svenska Betongföreningen (2002) som behandlar SKB redovisas egenskaper, forskning, rekommendationer etc. Erforderliga forskningsområden och förslag på organisation beskrivs också av Emborg (2002). I enlighet med rapporten från Svensk Betongförening kan pågående forskningsområden vad gäller SKB exemplifieras enligt följande:

- Filler-effekten (ökad hållfasthet vid bibehållet vct)
- Formtryck
- Krympning
- Sprickbildning
- Kvalitet hos betongytor
- Separation
- Tillstyvnande och tixotropi

2.2.3 SKB – tekniska egenskaper

Vanlig betong kräver externa vibreringsinsatser genom användande av vibreringsstavar för att kunna ge god kompaktering av den färska betongen, utfyllnad i form samt god kringgjutning kring armeringsjärnen. För att skapa den självkompakterande effekten hos SKB, vilken gör att eliminering av vibreringsinsatser är möjligt, behöver friktionen mellan partiklarna reduceras. Dessutom behövs en god stabilitet hos den färska betongen. Detta kan genomföras genom att utnyttja ett högt fillerinnehåll (partiklar < 0,125 mm) i kombination med högeffektiva superplasticerare och/eller viskositetshöjande tillsatsmedel. Ett högt fillerinnehåll av t.ex kalk- eller glasfiller, ökar viskositeten hos vätskefasen vilket syftar till att tillåta större partiklar att ”sväva” och på så sätt undvika betongseparation. Superplasticerare syftar till att öka den dispergerande effekten och ytterligare minska friktionen mellan partiklarna.

Det finns flera typer av koncept för att framställa SKB. Det mest frekvent använda konceptet består av en kombination av mycket effektiva tillsatsmedel och kalkfiller samt ett ökat

cementinnehåll. Alternativa koncept innehåller ofta andra typer av filler, t.ex glasfiller eller inget filler alls. Nedan presenteras tre olika koncept för tillverkning av SKB, av vilka det första som innehåller både superplasticerare och filler, är det mest använda i Sverige.

1. SKB baserad på superplasticerare (dispergerande) och filler

En välavvägd proportionering av partiklar, vatten och superplasticerare skapar goda förutsättningar för att kunna leda till tillfredsställande stabilitet, viskositet och utbredning. Balansen mellan utbredning och stabilitet är mycket viktig. Fülleregenskaperna påverkar stabiliteten och viskositeten, och superplasticeraren påverkar utbredningsegenskaperna.

2. SKB baserad på superplasticerare och viskositetshöjande tillsatsmedel i kombination med reducerat fillerinnehåll

Utnyttjande av viskositetshöjande tillsatsmedel leder till minskat fillerbehov. Detta koncept kräver dock större finmaterialandel för ballasten jämfört med koncept 1.

3. SKB baserad på superplasticerare och viskositetshöjande tillsatsmedel (ej filler)

I denna typ av SKB erhålles stabiliteten genom viskositetshöjande tillsatsmedel. Inget filler behövs. Balansen mellan tillsatsmedlen är mycket viktig och i praktiken svår att bemästra.

Ett antal nya typer av provningsmetoder har utvecklats för att kunna mäta viktiga egenskaper hos färsk SKB, såsom L-låda, utbredningsmått (med eller utan T50), Tixometoden, J-ring och V-tratt. SKB kräver ökad provning både på betongfabriken och byggarbetsplatsen för att kunna säkerställa den självkompakterande förmågan och stabiliteten hos den färska betongen

2.3 SKB – fördelar jämfört med vanlig betong

2.3.1 Inledning

SKB har beskrivits som en av de mest innovativa utvecklingarna inom betongteknologi. Mizobuchi *et al.* (1999) har beskrivit SKB som en av de mest innovativa utvecklingarna inom betongteknologi. Byfors (1999) beskriver användandet av SKB som en viktig förutsättning för att kunna industrialisera det platsgjutna betongbyggandet. SKB accelererar produktionsprocessen och förbättrar kvalitet, beständighet och reliabilitet hos betongkonstruktionen -aspekter som alla genererar kostnadsbesparingar (Grauers, 1999).

Utnyttjande av SKB innebär att det traditionellt erforderliga vibreringsmomentet hos traditionell icke-självkompakterande betong kan elimineras. Tack vare denna möjlighet skapas ett flertal fördelar vid användande av platsgjuten betong. SKB är en lösning på arbetsmiljörelaterade problem. Problemen med vita fingrar hos betongarbetare, p.g.a vibreringsskador, blir eliminerade och byggarbetsplatsen kommer bli avsevärt tystare utan bullret från betongvibratorer. Dessutom innebär användande av SKB en potentiellt betydligt mera rationell produktionsteknik som minskar behovet av arbetsinsats och presumptivt bör leda till reducerad produktionskostnad. Porfria och högkvalitativa betongytor kan erhållas utan kostsamt efterarbete som annars ofta är krävs för traditionell betong. SKB skapar även nya konstruktionsmöjligheter. Exempelvis kan tätarmerade betongkonstruktioner som vid användande av traditionell betong är svåra eller omöjliga att gjuta, nu bli möjliga att klara av.

De två huvudsakliga fördelarna med SKB betår m.a.o av:

- Förbättrad arbetsmiljö
- Högre produktivitet (lägre total produktionskostnad) och utökade konstruktionsmöjligheter

2.3.2 Förbättrad arbetsmiljö

Traditionell platsgjuten betong kritiseras för arbetsmiljörelaterade nackdelar i samband med det erforderliga vibreringsarbetet. Betongvibratorer anses leda till vibreringsskador hos betongarbetare. Dessutom kan det innebära tungt och oergonomiskt arbete samt risk för hörselskador. En annan aspekt är dessutom den minskade säkerheten avseende kommunikationsmöjligheter på byggarbetsplatsen p.g.a betongvibratorernas höga bullernivå. SKB anses vara en lösning på dessa problem, vilket närmare beskrivs nedan. Det skall även nämnas att det idag inte finns några svenska krav kopplade till hälsoaspekter vad gäller vibreringsarbete vid betonggjutning. Om sådana krav införs nu när SKB har börjat introduceras är oklart men under diskussion.

Eliminering av syndromet 'vita fingrar'

Användande av handvibratorer kan leda till skador som kallas 'vita fingrar' eller HAVS (Hand Arm Vibration Syndrome). En stor del av betongarbetare förtidspensioneras av denna orsak. Ökad användning av självkompakterande betong kan tänkas påverka arbetsmiljön mycket positivt.

Reduktion av tungt arbete

En annan arbetsmiljörelaterad nackdel med traditionell platsgjuten betong är att vissa arbetsmoment ses vara oergonomiska. Exempel på detta är tunga lyft och ansträngande arbetsställningar. SKB i kombination med betongpumpning skapar möjligheter för enklare arbetsmetoder. Betongarbetarens roll blir mer eller mindre att övervaka gjutningen.

Minskning av buller

Genom att ta bort betongvibratorerna från byggarbetsplatsen kan bullernivån markant minskas. Detta minskar inte bara risken för hörselskador utan höjer dessutom säkerheten. Lägre bullernivå möjliggör enklare kommunikation under gjutning. Kanske kan detta ses som ett generellt sätt att öka trivseln på byggarbetsplatsen. Dessutom uppskattas troligtvis en tystare byggarbetsplats av de som arbetar eller bor i närheten.

2.3.3 Mera rationell produktionsmetod

Det faktum att SKB leder till borttagande av vibreringsinsatser är inte bara en fördel för arbetsmiljön, utan kan även ses som en möjlighet till att öka konkurrenskraften vad gäller produktionsekonomi, jämfört med traditionell betong. Nedan, exemplifieras fem potentiella fördelar hos SKB ur ett produktionsekonomiskt perspektiv.

Reduktion av personal

Det diskuteras huruvida SKB minskar byggarbetsplatsens arbetskraftbehov eller inte. Det direkta arbetskraftsbehovet under gjutning minskas uppenbarligen i och med att vibreringsmomentet borttages. Men SKB behöver eventuellt ökade arbetsinsatser vid formsättning (för att göra dessa starkare och tätare). Möjligheten att kunna minska arbetskraften är troligtvis beroende av god planering med hänsyn tagen till effekter av SKB-användandet samt av typen av byggprojekt.

Reduktion av efterarbete

En väl proportionerad SKB kan leda till släta betongytor med få porer. Jämfört med en vanlig betong skapar detta potentiella kostnadsbesparingar genom att minska det efterarbete (spackling och slipning) av betongytor som ofta är nödvändigt.

Ökad produktivitet

De två tidigare nämnda potentiella fördelarna med SKB, reduktion av arbetskraftsbehov och efterarbete, påverkar produktiviteten indirekt. En ytterligare men direkt fördel är att SKB kan leda till ökad gjuten volym betong per tidsenhet. En stor del av den tid som läggs på vibreringsarbete för traditionell betong kan vid utnyttjande av SKB läggas på gjutning/utläggning istället. Dock är denna möjlighet till stor del beroende av typ av konstruktion. Väg gjutningar t.ex, kan bli tidskrävande även för SKB, beroende på att låg stighastighet kan behövas för att undvika separation hos den färska betongen och försämrade egenskaper hos den hårdnade betongen (t.ex poriga ytor). Gjutning av horisontella konstruktioner är däremot inte så känsliga som vertikala angående dessa problem eftersom ytan vanligtvis glättas eller ABS-slipas. Praktiska erfarenheter tyder på att SKB med framgång kan användas för både horisontella och vertikala konstruktioner.

Ökad möjlighet för gjutning av avancerade konstruktioner

SKB leder även till möjligheter ur ett konstruktionstekniskt perspektiv. T.ex kan avancerade tätarmerade betongkonstruktioner gjutas, vilka hade varit svåra eller omöjliga med en traditionell icke-självkompakterande betong. Ett exempel är Millennium Tower i Wien som beskrivs av Pichler (1999) som omöjligt att bygga utan SKB. I dessa situationer kan SKB utnyttjas som en konkurrenskraftig metod och ibland vara den enda praktiskt genomförbara lösningen. En speciell metod för avancerade vertikala konstruktioner är att pumpa SKB underifrån genom speciella formventiler vilket innebär att betongen kompakteras och fyller ut formen automatiskt.

2.3.4 Ekonomiska aspekter

Det finns en ekonomisk potential för användande av SKB. Ur ett *längre* tidsperspektiv bör SKB minska framtida kostnader (för reparationer etc) genom ökad beständighet tack vare högre kvalitet av kompaktering, t.ex kring armeringsjärn. Det finns även aspekter relaterade till framtida kostnadsbesparingar genom minskade sjukersättningar för betongarbetare. Ur ett *kortare* perspektiv och vad gäller direkt produktionskostnad, måste kostnadsbesparingarna överstiga de direkta materialmerkostnaderna.

Hursomhelst skiljer sig de potentiella kostnadsbesparingarna vid användande av SKB för olika byggprojekt och de är därför generellt svåra att kvantifiera. Det är dessutom fortfarande vanligt att SKB:s fördelar upptäcks och utnyttjas 'ad hoc' under utförandefasen. Förmodligen är god planering redan i projekteringsfasen nödvändig för att kunna utnyttja den totala ekonomiska potentialen hos SKB.

2.4 SKB – hinder för implementering

2.4.1 Inledning

Som redan nämnts är användandet av SKB mycket begränsat -trots de många fördelarna, beskrivan ovan, som tekniken potentiellt leder till. Nedan beskrivs olika typer av hinder som anses vara orsaker till den begränsade implementeringen av SKB.

2.4.2 Tekniska hinder

Det finns ett antal tekniska frågeställningar vad gäller SKB. Dessa kan generellt delas in enligt följande problemområden:

- Fabriksbetongtillverkningen (t.ex krav på utökad kontroll över delmaterial och proportionering)
- Färska betongen (separationsbenägenhet, risk för ökat formtryck etc.)
- Hårdnade betongen (varierande kvalitet hos betongytor och kringgjutning av armeringsjärn, sprickbildning etc.)

Jämfört med vanlig betong behöver SKB utökad kontrol vid proportionering såväl som på gjutförhållanden. Små skillnader i receptur eller byggarbetsplatsförhållanden kan resultera i ett antal problem, vilka närmare beskrivs nedan. Det finns även hinder för implementering baserade på kunskapsbrist vad gäller den hårdnade betongens egenskaper (t.ex brandbeständighet, krypning och krympning), se nedan.

2.4.2.1 Tekniska hinder grundade på produktionssvårigheter

Proportionering

Som tidigare har nämnts är SKB, jämfört med traditionell betong, känsligare för variationer i proportionering och gjutsförhållanden. Små skillnader i kvalitet och mängd vad gäller filler, vatten, cement, ballast och tillsatsmedel kan orsaka bruks- och vattenseparation samt tidig förlust av den självkompakterande förmågan. Om SKB-receptet inte är tillräckligt balanserat, finns det risk för problem på byggarbetsplatsen. Därför behövs en ökad kontroll över betongen både i fabriksbetongtillverkningen och byggarbetsplatsen. Även felaktig behandling av den färska betongen, t.ex under transport eller gjutning kan leda till bristfälliga resultat, beskrivna nedan:

Produktionsproblem

- Robusthet

De självkompakterande egenskaperna kan lätt förloras under transport eller handhavande av den färska betongen, speciellt om det går lång tid mellan tillverkning och gjutning. Detta kan resultera i otillräcklig kompaktering och kringlutning kring armeringsjärn. Det är därför viktigt att robusta SKB-koncept utvecklas så att dessa problem kan undvikas.

- Porer i betongytan

En av de huvudsakliga fördelarna hos SKB är den potentiellt höga ytkvaliteten, vilket kan utnyttjas till att minska det annars erforderliga efterarbetet. Dock finns flera faktorer som kan påverka kvaliteten i betongytorna på ett negativt sätt. Om t.ex stighastigheten är för hög kan betongen separera eller stora mängder luftbubblor uppkomma i betongytan vilket kan leda till oacceptabelt porig yta hos den hårdnade betongen.

- Sprickbildning

SKB kan leda till sprickbildning p.g.a plastisk krympning när höga fillermängder används.

- **Transport**
Jämfört med vanlig betong är SKB mera känslig för variationer i transportförfarandet. Under långa transporter kan den självkompakterande förmågan riskera att försämrats eller förloras, speciellt då betongen innehåller stora mängder superplasticerande tillsatsmedel. En lösning på detta problem är att tillsätta en del av tillsatsmedlet på byggarbetsplaten, vilket kräver roterbilar.
- **Pumpning**
SKB är vanligtvis väl anpassad för pumpning, men vid höga pumptryck kan problem uppstå med konsistensförlust eller minskat luftinnehåll.
- **Formar**
Formtrycket hos SKB kan bli avsevärt högre än för normal betong. Därför behövs normalt starkare och tätare formar för vertikal konstruktioner (väggar och pelare).

2.4.2.2 Tekniska hinder grundade på kunskapsbrist

Även om intensiv SKB-forskning har pågått under 90-talet finns det fortfarande områden där kunskap delvis saknas. Framförallt behövs mera forskning kring effekten av högt fillerinnehåll i SKB. Ofta kan en ökad hållfasthet observeras när självkompakterande betong innehåller ökad fillermängd, även vid konstant vct. Denna effekt benämns ofta som 'fillereffekten'. Dess orsak kan bestå av fysikaliska effekter såsom förbättring av mikrostrukturen och/eller kemiska effekter, t.ex kemiskt bindande mellan cementkomponenter och filler, vilket kan leda till en tätare struktur. Nedan redovisas kortfattat de mest relevanta områdena där mera SKB-forskning behövs inom husbyggande:

- **Plastisk krympning och uttorkningskrympning**
Sambandet mellan forskning och erfarenheter vad gäller krympning hos SKB är motsägelsefullt. Ett högt fillerinnehåll hos SKB kan leda till ökad plastisk krympning p.g.a tidig uttorkning. Fillereffekten är dock ej klargjord. Uttorkningskrympningen

borde bli högre i SKB p.g.a dess högre fillerinnehåll. Dock finns inga genomförda systematiska studier på detta som jämför SKB med normal betong.

- Formtryck

Formtrycket hos SKB antas vara relaterat till typ av SKB-koncept, receptproportionering och tixotropi. En annan effekt som påverkar formtrycket är stighastigheten. Ökad hastighet leder till ökat formtryck. Sambandet mellan formtryck, stighastighet och reologiska egenskaper hos färsk SKB behöver undersökas ytterligare.

- Uttorkning

Jämfört med normal betong leder SKB till högre hållfasthet vid samma vct p.g.a av fillereffekten. Detta kan leda till längre uttorkningstider för SKB jämfört med normal betong om hållfastheten är den samma. Det faktum att ett lägre cementinnehåll kan användas innebär även en reduktion av självuttorkningseffekten.

- Vinterbetongegenskaper

Det lägre cementinnehållet som behövs för SKB för att uppnå samma hållfasthet som för normal betong kan vid kall omgivande temperatur innebära lägre grad av värmeutveckling och långsammare hållfasthetsutveckling. För att undvika denna effekt (liksom för ovanstående punkt) kan cementmängden väljas att bibehållas och därmed även hållfasthetsutvecklingen.

- Brandbeständighet

SKB med ett högt fillerinnehåll (kalkstensfiller) verkar öka risken för brandspjälkning (Persson, 2003). Därför måste detta problem studeras närmare innan några säkra slutsatser kan göras. Ett sätt att lösa problemet är att blanda polymerfiber i betongen.

2.4.3 Hinder relaterade till byggprocessen

2.4.3.1 Inledning

Icke-tekniska hinder för implementering av SKB liknar de som gäller för innovationer i allmänhet inom byggbranschen. Hindren kan delas upp och baseras på följande två huvudorsaker:

- Organisation
- Ekonomi

2.4.3.2 Organisation

Byggbranschen har utsatts för stark kritik av byggkostnadsdelegationen (BKD, 2000) vad bl.a gäller kundorientering, samarbete mellan aktörer, helhetssyn och innovationsbenägenhet. Liksom vad gäller implementering av andra innovationer inom byggsektorn stöter ny betongteknik på hinder som är relaterade till hur husbyggnadsbranschen är organiserad. Betongleverantören är ofta begränsad av både andra aktörer och entreprenadform till att påverka stommaterialvalet (Peterson & Öberg, 2000). Nedan redovisas de mest påtagliga hindren, av vilka de två sista är sammankopplade med ny betongteknik och inte innovationer i allmänhet.

- Konservatism bland aktörerna
- Kunskapsbrist och lågt intresse för innovationer
- Bristande informationsspridning och feedback mellan aktörerna
- Oklar ansvarsfördelning

Till exempel är det inte alltid klarlagt vem som ansvarar för god kompaktering av SKB. Detta kan ibland leda till tvister mellan betongleverantören och entreprenören.

- Fackliga argument
Oklara risker huruvida betongarbetare förlorar sina arbeten genom att personalbehovet vid gjutning minskar.

2.4.3.3 Ekonomi

Ofta är ekonomiska frågeställningar inom husbyggnadsbranchen fokuserade på produktionsekonomi och inte på byggnadens hela livscykel. Att kunna uppskatta framtida kostnader och vinstgenererande fördelar jämfört med andra material kan vara svårt. En del faktorer är också svåra att kvantifiera i ekonomiska termer, t.ex olika kvaliteter vad gäller funktionalitet och estetik. Dessa faktorer påverkar dock sällan stommaterialvalet (ref multivelling). En annan aspekt är att flera fördelar med ny materialteknik sällan analyseras. När ny materialteknik diskuteras sätts fokus ofta på en enda produktionsekonomisk fördel, vilket kan leda till sub-optimering. Den fulla potentialen hos ny teknik utnyttjas därför sällan.

En ytterligare aspekt vad gäller ekonomiska hinder mot ny betongteknik är att direkta materialkostnader ofta står i fokus. Generellt sätter betongleverantören ett högre produktpris för ny betongteknik jämfört med direkta materialkostnader och fabriksbetongtillverkningskostnader. Skälen består vanligtvis av den ökade risken för misslyckanden. Priset hänger troligtvis även samman med låga levererade volymer av den nya betongtekniken. Vad gäller SKB är det satta priset också påverkat av det utökade ansvaret för betongleverantören genom att vibreringsarbetet elimineras på byggarbetsplatsen, vilket för vanlig betong annars ligger hos entreprenören. SKB kan även innebära utökade kostnader i samband med extra provtagning av de självkompakterande egenskaperna. Nedan är dessa diskuterade ekonomiska hinder summerade:

- Ekonomiska frågor är ofta fokuserade på direkta materialkostnader och inte totala produktions- eller livscykelkostnader

- Sub-optimering (hänsyn tas sällan till flera aspekter och samband)
- Prissättning av SKB (priset är ofta kritiserat för att vara för högt jämfört med verkliga material- och tillverkningskostnader)
- Tilläggskostnader (p.g.a eventuellt erforderlig extra provtagning)

3. SKB-tillverkning inom Skanska Asphalt och Betong

3.1 Inledning

För genomgång och systematisering av befintliga SKB-koncept har intervjuer gjorts med ett antal ansvariga personer för fabriksbetongtillverkning i olika geografiska regioner inom Skanska Asphalt och Betong. Under intervjuerna har även viss erfarenhet av de olika koncepten diskuterats. Nedan beskrivs kortfattat vilka typer av SKB-koncept som har använts i de olika regionerna samt erfarenheter från dessa. Fabriker numreras som 1-4 i denna rapport.

3.2 SKB-tillverkning inom Skanska Asphalt och Betong Fabrik 1

Kort historik kring användandet av SKB

Inom Skanska Asphalt och Betong Fabrik 1 användes till en början kalkfiller samt superplasticerande och viskositetshöjande tillsatsmedel. Denna betong uppfattades ej som tillräckligt stabil. Därför provades naturfiller 0-2 mm som ersättning till kalkfiller. Tack vare fabriken stora silokapacitet i kombination med ny extrablandare kan man klara av att tillverka SKB med naturfiller 0-2 mm. Denna betong uppfattas som stabilare än SKB med kalkfiller. Även användande av andra typer av filler diskuteras.

Exempel på SKB-projekt

- ATCC
Lyckad SKB men denna krävde höga cementhalter
- Fysikcentrum

- Kista
Smala konstruktioner, sprickrisk, provade att minska cementhalten men erhöll delvis dåliga ytor.
- Länna
Måttliga cement- och fillermängder gav ändå en god SKB

3.3 SKB-tillverkning inom Skanska Asfalt och Betong Fabrik 2

Kort historik kring användande av SKB

När man började tillverka SKB krävdes höga cementhalter (upp till ca 400 kg/m³), vilket kunde leda till sprickbildning. Idag används glasfiller 40-50 kg/m³, cementhalter mellan 290 och 300 kg/m³ och ett viskositetshöjande superplasticerande tillsatsmedel i all SKB. Denna betong är mindre sprickbenägen och orsakar ej kollaps. Dock anses god planering alltid vara en nödvändighet vid användning av SKB. SKB används främst i väggar för husbyggnader. Fabrik 2 har producerat en hel del SKB till bl.a. följande projekt:

- Elmia- höga väggar
- Karlskrona Högskola
- Konradssons kakel och villabygge i Gränna

3.4 SKB-tillverkning inom Skanska Asfalt och Betong Fabrik 3

Erfarenheter

Goda erfarenheter av SKB inom husbyggnad. Däremot kan det vara problem inom anläggningsbyggande ibland p.g.a. höga cementhalter. SKB kräver kontroll över grusfukt,

ballastgradering m.m. Ansvarig för betongtillverkning anser att utvecklingen/användningen har gått för fort.

Orsakerna till att använda SKB har främst varit tätarmerade konstruktioner och bättre arbetsmiljö. Det uppfattas som om konstruktörerna ej hänger med i utvecklingen, t.ex. vad gäller krav på sprickarmering vid användande av SKB.

3.5 SKB-tillverkning inom Skanska Asfalt och Betong Fabrik 4

Vid den första tillverkningen av SKB i denna fabrik användes kalkfiller men denna ersattes senare av en annan fillertyp som har lett till goda erfarenheter. Främsta orsaken till att SKB användes i kasionobyggnaden i Sundsvall var att väggarna bedömdes svåråtkomliga för vibrering. Levererad SKB för detta projekt hade god stabilitet.

Erfarenheter

Kunskaper, t.ex vad gäller beskaffenhet och långtidseffekter kring vissa fillertyper verkar saknas. Den aktuella fillertypen uppfattades som dyr, vilket har medfört att användande av någon annat typ av filler diskuteras.

Frågetecken finns kring vissa tillsatsmedels retarderande effekt vid kyla.

SKB kräver höga cementmängder (men detta uppfattas ej som ett direkt problem vid tillverkningen).

SKB har mottagits positivt på byggarbetsplatserna men många betongarbetare undrar om personal riskeras att rationaliseras bort. SKB anses trots detta av betongarbetarna som ett nödvändigt ont för att platsgjuten betong skall klara konkurrens av andra material.

3.6 Sammanfattning av SKB-tillverkning inom Skanska Asfalt och Betong

Sammanfattningsvis används framförallt tre olika typer av SKB-koncept inom Skanska Asfalt och Betong enligt följande:

- SKB med mycket finmaterial (dock ej filler) och cement samt tillsatsmedel
- SKB med glasfiller och tillsatsmedel
- SKB med kalkfiller och tillsatsmedel

I tabell 3.1 nedan redovisas andelen levererad SKB i förhållande till totalt levererad betong för respektive Skanska-fabrik under år 2001. Observera att tabellen endast gäller för år 2001 vilket innebär att både typ av koncept och volymer för respektive fabrik har ändrats jämfört med idag. Vissa fabriker, t.ex Norrköping och Karlskrona, har levererat betydligt större volymer SKB jämfört med de andra, där merparten ligger under 5 %. Detta kan förklaras av leveranser till enstaka stora projekt där SKB har använts.

Tabell 3.1 Levererad SKB inom Skanska år 2001 (volymer för olika koncept).

Betongfabrik	Levererad volym SKB (%)	Filler
Luleå	2,1%	x
Piteå	4,4%	x
Sundsvall	0,9%	x
Söderhamn	1,3%	x
Gävle	9,3%	x
Bålsta	1,8%	Nej
Solna	3,0%	x
Norrköping	23,5%	Nej
Linköping	3,0%	Nej
Jönköping	3,9%	x
Nässjö	4,8%	Nej
Vetlanda	2,4%	Nej
Karlskrona	27,9%	Nej
Trollhättan	0,4%	x
Sydsten	5,4%	x

4. Fältstudier

4.1 Inledning

4.1.1 Bakgrund

Trots den stora potentialen som finns hos SKB för förbättrad arbetsmiljö och troligtvis även för ökad kostnadseffektivitet, är användandet fortfarande mycket begränsat. En orsak till detta är troligtvis att produkten innebär ökade direkta materialkostnader och att ekonomiska incitament kan vara svåra att se om inte produktionskostnaderna ses ur ett bredare perspektiv, såsom möjligheter till att minimera efterarbete eller förbättra arbetsmiljön. Ett annat skäl till att implementeringen av SKB hittills är begränsad består troligen av de tekniska problem som i en del fall har uppstått. Produkten är ibland inte tillräckligt robust, vilket leder till förlust av den självkompakterande förmågan och/eller separation av den färska betongen. Dessutom finns fortfarande en del frågetecken kring den hårdnade betongens egenskaper, t.ex vad gäller brandbeständighet och plastisk krympning.

Detta projekts upplägg innebär att fältstudier har genomförts före labbförsök för att i fält kunna studera fördelar hos SKB men framförallt identifiera eventuella tekniska problem som kan relateras till SKB. Under projektets tid har det varit svårt att hitta lämpliga husprojekt där SKB har använts i större skala. Därför har fältstudien koncentrerats till *ett* flerbostadsprojekt i Östergötland, där SKB har använts i så gott som hela stommen förutom i ett parkeringshus där vanlig anläggningsbetong användes.

4.1.2 Syfte

Fältstudiernas syfte är att försöka identifiera olika typer av byggarbetsplatsrelaterade fördelar och tekniska problemställningar som kan kopplas till användandet av självkompakterande betong. Resultaten av fältstudierna är dessutom tänkta att användas som underlag för efterföljande laboriestudier som är av mera konkret problemlösande karaktär.

4.1.3 Metod

På grund av bristande tillgång av lämpliga bostadsprojekt där SKB har använts, har fältstudierna fokuserats på endast ett flerbostadsbygge i Östergötland. I detta byggprojekt har SKB använts för alla betongkonstruktioner utom i ett parkeringshus där vanlig anläggningsbetong har använts. Ett flertal gjutningar av horisontella såväl som vertikala betongkonstruktioner har studerats okulärt med fokus satt på att försöka identifiera fördelar och eventuella problem samrörande med färsk SKB jämfört med om vanlig betong hade använts. Resultatet av dessa gjutningar har sedan följts upp för att kunna observera egenskaper hos hårdnad SKB. Dokumentation av detta har skett genom fotografering. Deltagande har även skett vid ett mindre antal byggmöten mellan entreprenör och betongleverantör då även bygghandlingar har studerats. Intervjuer har skett med entreprenören (arbetsledning och betongarbetare) såväl som betongfabrikspersonal (inkl. betongbilschaufförer och pumpförare). Aktuella SKB-recept har studerats.

4.2 Fältförsök

4.2.1 Allmänt kring byggprojektet

Fältstudierna har genomförts på ett flerbostadshusprojekt som påbörjades under slutet av 2001 och väntas vara helt klart hösten 2003. Entreprenadformen har varit en styrd totalentreprenad och den totala byggkostnaden har beräknats till ca 190 milj.



Figur 4.1 Inflyttningsfärdigt hus i flerbostadsprojektet där fältstudierna har bedrivits.

Projektet har bestått av fyra stycken platsgjutna 5-våningshus med källare och ett garage. Gjutningarna har pågått under tiden februari-02 till februari-03 och självkompakterande betong har använts i princip för alla utom vad gäller parkeringshuset/garaget. Beställd betongkvalitet har varit K30, dvs vanlig husbyggnadsbetong.

Följande typer av betongkonstruktioner har ingått i den platsgjutna stommen:

- Bottenplattor (tjocklek 400 mm)
- Bjälklag (pågjutning på plattbärlag 'Filigran', golvbeläggning med klinker alt. parkett)
- Väggar (bärande innerväggar)
- Pelare (vid entréer)

Övriga konstruktioner:

Ytterväggar (murade lättbetongelement som har putsats)

Övriga innerväggar (stålreglar och gipsskivor)

4.2.2 Produktionsmetoder (lossningsmetoder, SKB-koncept etc)

Det SKB-koncept som har använts är ett med förhöjd cementhalt, superplasticerare och utan filler. Se tabell 4.1 nedan.

Tabell 4.1 SKB-recept som har använts inom fältstudierna.

Betongparameter	
Vct	0,52-0,55
Cementhalt	380-395 kg/m ³
0-8 grus	Natur
16-sten	Krossad
Flytsättmått	620-650 mm
Sluthållfasthet 28d	55-60 MPa
Tillsatsmedel	1,1% superplasticerare

Vad gäller lossningsmetoder har pump använts för gjutning av bottenplattorna samt till viss del även vid vägg- och pelargjutningar. Bask har använts vid bjälklagsgjutningar och dessutom i flertalet väggar och pelare.

4.3 Resultat

4.3.1 Horisontella konstruktioner

4.3.1.1 SKB-gjutning av den första bottenplattan

Arbetsplatsledningens observationer under och efter gjutning av första bottenplattan

Den första bottenplattan som göts var 40 cm tjock och hade en yta av 400 kvm. SKB-recept enligt tabell 4.1 användes. Gjutningen påbörjades kl. 07.00 den 4 februari 2002. Att gjuta med SKB uppfattades som väldigt positivt ur arbetsmiljömässigt perspektiv. SKB uppfattades leda

till ett enklare gjutförfarande utan vibreringsinsatser vilket gjorde arbetet mindre tungt och betydligt tystare. Färre personal behövdes för själva gjutningen och produktionstakten ansågs högre avseende gjuten volym bottenplatta per timme, jämfört med erfarenheter från liknande gjutningar med vanlig betong.

I början av gjutningen uppfattades betongen som något blöt av arbetsplatsledningen. Betongleverantören höjde då cementhalten från 380 till 395 kg/m³. När gjutningen var klar kl. 16.00 kunde ett brunaktigt vattenlager observeras på ytan (d.v.s betongen blödde). Morgonen efter låg ett millimetertjockt ”vitt skinn” på delar av bottenplattans yta. Dessutom kunde poriga partier synas. Se figur 5.2 nedan.



Figur 4.2 Dagen efter gjutning kunde ett millimetertjockt skinn och synliga porer över delar av bottenplattan observeras. Eftersom bottenplattan i förväg hade planerats att ABS-slipas medförde detta ej några negativa konsekvenser för varken produktionsekonomin eller den färdiga konstruktionens funktion.

Troliga orsaker till denna ”skinnbildning” och porer antogs vara att betongen hade separerat p.g.a. för låg finmaterialhalt och/eller för långa gjutfronter med pump på samma ställe under hela gjutningen. Det var osäkert om sten- eller vattenseparation hade inträffat eftersom mätning av avstånd mellan yta och sten ej hade gjorts. Enligt betongleverantören hade ej dessa problem observerats vid liknande gjutningar av bottenplattor. Dock var de plattorna ej

lika tjocka som de aktuella för det här projektet. Därför diskuterades även bottenplattans tjocklek som en trolig orsak till den uppkomna betongseparationen.

Trots de uppenbara fördelarna med SKB vad gäller förbättrad arbetsmiljö och ökad produktionstakt fördes vissa resonemang kring att gå över till vanlig betong för kommande gjutningar. Men eftersom ytan ändå planerades att ABS-slipas dagen efter gjutning, uppfattades gjutresultatet ej som något direkt problem, vare sig produktionsekonomiskt eller funktionsnedsättande- ej heller för de kommande bjälklagsgjutningarna eftersom även dessa skulle slipas och sedan förses med klinker eller parkett. SKB:s starka fördelar i kombination med att de observerade effekterna på betongytan inte innebar några negativa konsekvenser för varken produktionsekonomi eller den färdiga konstruktionens funktion, gjorde att även kommande gjutningar planerades att ske med SKB.

Dock försökte olika typer av åtgärder att göras för att undkomma de observerade effekterna. Åtgärder som diskuterades var bl.a att försöka bromsa gjutfronten genom att ändra pumpföringen eller använda avstängare av typen sträckmetall (varav det senare ej godkändes av konstruktören).

Ny gjutning av en mindre men lika tjock bottenplatta genomfördes v.10 och resulterade i samma typ av fenomen som de ovan beskrivna. Diskussioner fördes även kring om orsaken kunde bero på att någon enstaka leverans under gjuttillfället hade haft en lösare konsistens och att det eventuellt bildade skummet sedan hade spridit sig snabbt över hela ytan. SKB-receptet provades att optimeras med hjälp av nya tillsatsmedel som var mera stabiliserande och skumdämpande än det tidigare använda.

4.3.1.2 Produktionsmetoder vid SKB-gjutning

Observationer vid gjutning av den tredje bottenplattan

Denna bottenplatta hade liksom den första en tjocklek av 40 cm och en total yta på 400 kvm. Vid denna gjutning hade SKB:n modifierats enligt ovan. Lossning skedde med pump och pumpföringen bedömdes som korrekt utförd (se figur 4.3 a och b). Slodning skedde med s.k 'rörsloda' (se figur 4.4). Såväl arbetsledning som pumpförare och betongarbetare tyckte att den självkompakterande betongen innebar en tydligt förbättrad arbetsmiljö jämfört med

förhållanden vid gjutning med vanlig betong. Liksom vid gjutningarna av den första bottenplattan ansågs SKB klara högre gjut-tempo.



a



b

Figur 4.3 a och b Lossning skedde med pump vid gjutning av den tredje bottenplattan.



Figur 4.4 Betongen slodades med s.k 'rörsloda' direkt efter lossningen.

4.3.1.3 Observationer av färsk SKB

Jämfört med de observationer som hade gjorts vid gjutningstillfället för den första bottenplattan var nu vattenseparationen (i form av s.k 'brunvatten' på ytan) markant reducerad och uppträdde endast fläckvis. Se figur 4.5.



Figur 4.5 En tydlig minskning av vattenseparation kunde observeras. Det s.k 'brunvattnet' på betongytan uppträdde nu endast fläckvis jämfört med gjutningen av den första bottenplattan.

Dock kunde en blåsbildning observeras och stenen uppmättes vid ca en centimeters djup från ytan, vilket även indikerade på att separation av bruket hade skett. Se fig 4.6 och 4.7.



Figur 4.6 Stora såväl som små luftbubblor kunde observeras även efter att bottenplattan hade slodats.



Figur 4.7 Vid nedstickande av en metallstav uppmättes stenen vid ca 1 cm djup från ytan, vilket tyder på att bruksseparation hade ägt rum.

4.3.2 Vertikala konstruktioner

Bärande innerväggar och pelare vid t.ex entréer utfördes av självkompakterande platsgjuten betong som lossades med bask. Som alternativ provades även lossning med pump.



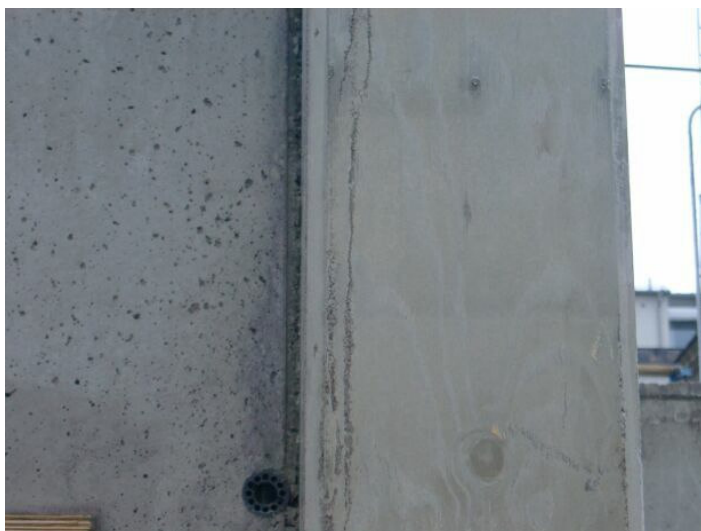
Figur 4.9 SKB användes i alla platsgjutna vertikala stomkonstruktioner.

4.3.2.1 Observationer av hårdnad SKB

Liksom för horisontella konstruktioner, sammanhänge de problem som kunde observeras hos hårdnad SKB i vertikala konstruktioner (d.v.s bärande innerväggar och pelare) med ytkvaliteten. En del väggpartier, förutom då brädform hade använts istället för plyfaform som avstängare, innehöll ett stort antal porer, såväl finare som grövre. Även s.k 'grusränder' kunde observeras. Jämfört med effekterna av varierande ytkvalitet hos de horisontella konstruktionstyperna (som inte innebar några negativa konsekvenser eftersom de skulle slipas och beläggas med klinker/parkett) innebar porer i väggytorna att SKB:s potential inte kunde utnyttjas fullt ut. Ett av huvudargumenten för att använda SKB i väggarna var som redan nämnts att minska det annars kostsamma efterarbetet i form av spackling. Trots att detta argument nu delvis försvagades ansågs fördelarna av SKB totalt sett ändå överväga.



Figur 4.10 Exempel på porig väggyta som kunde observeras.



Figur 4.11 Exempel på skillnad mellan betongytans kvalitet då olika typer av form hade använts (plyfa-form till vänster och brädform till höger). Användning av brädform som avstängare innebar betongytor av mycket god kvalitet.



Figur 4.12 Även s.k 'grusränder' kunde observeras på några väggytor.

4.3.2.2 Produktionstekniska aspekter

För att komma tillrätta med väggarnas ytkvalitet och därmed utnyttja mera av SKB:s potential och slippa efterarbete (d.v.s spackling för att erhålla jämna betongytor) utvärderades skilda produktionsmetoders effekter. Betongen lossades i huvudsak med bask och strumpa (som stacks ner mellan armeringen i nivå med betongen där detta var möjligt). Se figur 4.14 och 4.15. Även pumpning (ovanifrån, d.v.s ej genom ventiler underifrån) provades. Betongen lossades från ena sidan av formen för att fylla ut formen i sidled. Stighastigheterna varierades. Ibland skedde gjutning på flera fronter vilket gjorde att stighastigheten för varje vägg förlängdes.

Som formmaterial hade nya plyfa-formar från Doka använts (se figur 4.13). Den använda formoljan var av typen 'Differol T08' och hade duschats (ej rollats) på formytan. Enligt betongarbetarna förekom ej några problem med läckande formar. Mera noggrant formarbete inför SKB-gjutningar anses annars ofta behövas för att undvika att formar ska läcka.

Trots att skilda produktionsmetoder provades och utvärderades, kunde poriga väggytor ändå observeras. Att se några samband mellan uppkomna effekter och använda produktionsmetoder var svårt. T.ex. blev en pelare nästan porfri trots mycket snabb stighastighet. Lossning med pump gav t.o.m sämre resultat än bask även då baskens strumpa ej stacks ner i betongen. Vad gäller betongrecept användes det samma som för gjutning av bottenplattorna. Angående tillsatsmedel gjordes samma övergång för väggbetongen (som för betongen till bottenplattorna) till det mera stabiliserande och skumdämpande tillsatsmedlet. Detta resulterade i minskad vattenseparation men ej tillfredsställande reduktion av porer i betongytan.



Figur 4.13 Som formmaterial användes nya plyfaformar av fabrikket Doka.



Figur 4.14 Som lossningsmetod vid väggjutningarna användes i huvudsak bask med strumpa.



Figur 4.15 Strumpan försöktes placeras mellan armeringen ner till betongens nivå.

4.4 Analys

4.4.1 Orsaker till resultat

De observerade effekterna berodde främst på att separation av den färska betongen hade skett, vilket ledde till varierande kvalitet hos den hårdnade betongens yta som slutligt resultat. I de horisontella ytorna kunde denna effekt observeras som porer och s.k 'skinnbildning' och för de vertikala ytorna som porer och till begränsad del även som s.k 'grusränder'.

Baserade även på de tidigaste antagandena under projektets gång, kunde orsakerna delas in i och relateras till följande två grupper:

- Produktionsmetoder
- Betongegenskaper

Orsaker grundade på produktionsmetodernas inverkan

Tidigare erfarenheter av samma betongrecept och till liknande konstruktionstyper hade visat på betydligt bättre resultat avseende den färska och hårdnade betongens egenskaper. Detta ledde till att diskussioner började föras kring produktionsmetodernas betydelse enligt följande indelning:

- Typ av lossning (pump och bask)
- Stighastighet
- Typ av form/formolja
- Typ av efterbehandling (framförallt typ av slodning)

Vad gäller lossningsmetod, användes i enlighet med produktionsplanen från början kran och bask. Olika längder på strumpan provades. Likaså att låta strumpan vara stilla i ena hörnet för att betongen på så vis skulle flyta ut i sidled, en metod som för SKB har visat sig ge betongytor av hög kvalitet. Stighastigheten varierades genom att gjuta flera väggar samtidigt och låta betongen på så vis 'vila' under tiden för respektive form. Som alternativ provades

även att lossa betongen med pump- dock utan någon märkbar skillnad i resultat. Det visade sig t.o.m att vissa pumpgjutningar ledde till sämre resultat än de som hade utförts med bask. Likaså fanns exempel på att snabba stighastigheter i enstaka fall ledde till finare betongytor.

Vad gäller formmaterial användes uteslutande Doka-formar av plyfa. Enligt vad som kom fram applicerades formoljan korrekt avseende metod och kvantitet. Formarna rengjordes även noggrant mellan gjutningarna. Vid de tillfällen som en betydligt mera sugande brädform användes som avstängare kunde dock ett märkbart förbättrat resultat observeras (se figur 4.11.).

De ovan beskrivna variationerna av produktionsmetoder resulterade m.a.o inte i säkerställande av ytkvaliteten. Då skillnader i resultat kunde observeras (förutom när brädform användes) var det svårt att se en logisk förklaring. Sammanfattningsvis ledde dessa observationer till att produktionsmetodernas inverkan troligtvis var av underordnad betydelse och att uppkomna problem istället berodde på de direkta betongegenskaperna, vilka närmare diskuteras nedan.

Orsaker grundade på betongens egenskaper

Vad gäller de betongegenskapsrelaterade förklaringarna till de uppkomna problemen är troligtvis avsaknaden av filler den största. Betongen tillhör den grupp av SKB-koncept som innefattar SKB med förhöjd cementhalt och tillsats av superplasticerare men utan filler. Denna är den känsligaste typen av SKB-koncept och anses svårast att klara av med hänsyn till robusthet vad gäller undvikande av separation och bibehållande av den självkompakterande förmågan.

Optimering av betongreceptet gjordes under projektets gång (bl.a genom användande av en ny typ av tillsatsmedel), vilket ledde till en viss reduktion av vattenseparation men däremot inte till robusthet mot poriga betongytor.

Det provades även med en annan typ av 0-8 material med större finmaterialandel, vilket borde öka robustheten och minska risken för separation. Detta ledde också till ett bättre resultat men ej tillfredsställande.

Det beslutades att SKB innehållande kalkfiller skulle provas. Eftersom betongfabriken ej hade tillräcklig silokapacitet för detta, behövdes fabriken först modifieras. Samtidigt påbörjades labförsök med samma betongrecept och delmaterial för att verifiera problemen och därefter försök att optimera receptet men med innehåll av kalkfiller. Se kapitel 5 'Laboratiestudier'.

4.4.2 Konsekvenser av erfarenheter i fält för fortsatt SKB-användande

4.4.2.1 Fördelar

- **Förbättrad arbetsmiljö**

SKB uppfattades som positivt av såväl arbetsledning och arbetare på byggarbetsplatsen genom dess möjlighet att förbättra arbetsmiljön. Det ansågs att gjutningarna förenklades och att de innebar mindre tungt arbete utan vibreringsinsatser samt betydligt lägre bullernivå.

- **Ökad produktivitet vid gjutning av horisontella konstruktioner**

Vid gjutning av bottenplattorna och bjälklagen ansågs SKB möjliggöra gjutningar av större yta per tidsenhet jämfört med om normal betong hade använts och som hade behövt vibreras.

4.4.2.2 Nackdelar

- **Högre direkt materialkostnad (generellt sett)**

Användande av SKB innebär en högre direkt materialkostnad jämfört med om normal betong används. Ofta är produktionsekonomin fokuserad på dessa direkta kostnader. Därför krävs en kvantifierbar produktionsekonomisk vinst, såsom mindre behov av personal och efterarbete för att SKB ska kunna 'räknas hem'. Detta är dock sällan möjligt att genomföra eftersom SKB sällan diskuteras i projekteringsfasen vilket gör att det inte alltid är enkelt att försvara SKB:s möjligheter till att sänka produktionskostnaderna. Dessutom tas sällan hänsyn till aspekter som berör t.ex arbetsmiljö.

- **Merkostnad för åtgärdande av tekniska problem (varierande kvalitet hos betongytor)**

För detta projekt visade sig användandet av SKB resultera i varierande ytkvalitet, vilket för de vertikala konstruktionerna innebär att SKB:s fulla potential inte kunde utnyttjas (d.v.s att en del av den förväntade reduktionen i behov av efterarbete uteblev).

4.4.2.3 Övriga aspekter

- **Effekt av kvaliteten hos horisontella betongytor**

Eftersom bottenplattorna och bjälklagen skulle slipas och förses med klinker eller parkett var dessa ej lika känsliga för dålig ytkvalitet och ansågs därför ej påverka produktionsekonomin negativt.

- **Ej tidsbesparande vid baskning**

Arbetsplatsledningen ansåg att SKB som baskades vid väggjutningar ej innebär någon tid- eller personalbesparing eftersom väntetiderna som var beroende av kranföringen annars hade kunnat utnyttjas för vibreringsarbete. Därtill skall tilläggas att låga stighastigheter (för att erhålla fina betongytor) ansågs innebära samma sak.

- **Formarbete**

SKB anses generellt kräva ökade insatser vid formarbete för att erhålla täta och stabila formar. Dock ansågs detta inte som något problem i det här fallet. En förklaring ansågs vara att enbart nya formar användes inom projektet.

- **Andra egenskaper hos den hårdnade betongen**

Ofta diskuteras andra problem som kan uppstå vid användning av SKB, såsom plastiska krymsprickor, retardation och ökat formtryck. Dessa aspekter upplevdes inte som något problem för detta projekt. Vad gäller den ej uppfattade ökade risken för plastiska krymsprickor, kan detta eventuellt förklaras av att betongen delvis hade separerat vilket för en del bottenplattor innebär att ett vattenlager fanns på ytan.

4.5 Slutsatser

Fältstudierna visade på både möjligheter till betydliga produktionsfördelar och risker för produktionstekniska negativa effekter hos SKB.

Vad gäller SKB:s effekter på arbetsmiljön uppfattades dessa som enbart positiva tack vare enklare gjutförfaranden, lägre grad av tungt arbete, minskad risk för vibreringsskador och betydligt lägre bullernivå. Generellt sett påverkar dessa aspekter dock ej den direkta produktionsekonomi och kvantifieras därför sällan i förhållande till SKB:s ökade direkta materialkostnader.

Vid gjutning av de horisontella konstruktionerna visade det sig att det gick att gjuta snabbare och med mindre personalinsats p.g.a det borttagna vibreringsmomentet. Dock kunde variationer vad gäller den hårdnade betongens ytkvalitet observeras, samrörande med att separation av den färska betongen hade uppstått. Eftersom alla bottenplattor och bjälklag kunde ABS-slipas dagen efter gjutning (istället för att glättas alt. spacklas strax efter gjutning vilket är normalt förekommande för vanlig betong) och senare beläggas med klinker eller parket ansågs detta inte medföra några direkta produktionsekonomiska konsekvenser.

Likaså kunde variationer av ytkvaliteten hos den hårdnade SKB:n i väggar och pelare observeras. Detta innebar att SKB:s hela potential ej kunde utnyttjas vad gäller möjligheten att undvika det vid användande av vanlig betong förknippade kostsamma efterarbetet. Detta tillsammans med att dessa gjutningar hade planerats att baskas, vilket i sig inte gav möjlighet till besparing av tid eller besparande av personal gjorde att den totala produktionskostnaden för väggarna inte kunde minskas.

SKB valdes ändå att användas för alla typer av konstruktioner tack vare att fördelarna övervägde totalt sett. Dock eftersträvades att öka robustheten vad gäller den färska betongens separationstendens (och därmed säkerställa ytkvaliteten) för att på sätt få möjlighet till att utnyttja SKB:s hela potential. De observerade effekterna antogs först vara relaterade till produktionsmetoderna eftersom samma betongrecept vid liknande gjutningar inte hade gett upphov till de uppkomna effekterna. Dock visade det sig svårt att logiskt förklara skilda produktionsmetoders inverkan. Snarare antogs de studerade effekterna i huvudsak bero på

SKB-receptets utformning som ingick i den typ av SKB som ej innehåller något filler, vilken anses vara den känsligaste och svåraste att få robust. Därför beslutades att betong bestående av samma recept och delmaterial men med tillsats av kalkfiller skulle optimeras i laboratoriemiljö med målet att kunna öka robustheten och därefter inleda försök till implementering av en mera robust SKB. Se kapitel 5 'Laboriestudier'.

5. Laboriestudier

5.1 Inledning

5.1.1 Bakgrund

Det har i kapitel 4 'Fältstudier' påvisats fördelar men även negativa effekter som observerades på byggarbetsplatsen vid användande av självkompakterande betong, SKB. De väggytor som delvis erhöles gjorde att ytbehandling/spackling av betongytorna behövdes -vilket innebar att SKB:s fulla potential inte kunde utnyttjas, se figur 5.1 nedan. Detta gjorde i sin tur att ett viktigt produktionsekonomiskt incitament för SKB delvis uteblev. Brister i ytkvalitet hos ytorna kunde härledas till den självkompakterande betongens färska egenskaper, framför allt med avseende på konsistens och homogenitet.



a

b

Figur 5.1 a och b Exempel på bristande ytkvalitet som medförde att efterarbete inte kunde undvikas.

5.1.2 Syfte

Syftet med laboratorieundersökningen är att försöka ta fram en gångbar SKB-lösning för den i fältstudierna aktuella betongfabriken. Detta innebär ökade krav på att betongen ska vara stabil, homogen, arbetbar och 'bubbelfri' samt förhoppningsvis porfri efter härdning.

5.1.3 Metod

För att försöka komma tillrätta med de i fältstudierna observerade problemen, genomfördes som en förstudie till labstudierna ytterligare besök på betongfabriken med målet att konstatera vad som hade inträffat med den färska betongen. Dessutom gjordes besök på den aktuella byggarbetsplatsen för att igen se vilka konsekvenser det fick på den hårdnade betongen. Därefter gjordes provblandningar vid BTC-labbet i Farsta med det recept som användes på fabrik för att kunna verifiera det som hade hänt i fält. Slutligen gjordes provblandningar i lab med syfte att lösa problemen. Samtliga provblandningar i lab gjordes med samma delmaterial som användes i fält men med tillsats av kalkfiller och även andra tillsatsmedel.

5.2 Förundersökning – betong från fabrik

5.2.1 Undersökta parametrar

Vid besöket på den aktuella betongfabriken undersöktes följande egenskaper hos den färska betongen:

- Delmaterial och betongsammansättning
- Flytsättningsmått
- Stabilitet
- Tillstyvnadsegenskaper
- Mognadsgrad och hållfasthetsutveckling

Flytsättningsmått mättes genom att mäta utbredningen för betong som hade fyllts i en kon. Stabilitet bedömdes okulärt genom att titta på flytsättningsmålet men också genom att undersöka

graden av vattenseparation. Vattenseparation undersöktes enligt SS 13 71 27, och enligt den mäts den vattenmängd som separerar på betongytan, se figur 5.2.



Figur 5.2 Mätning av vattenseparation

Tillstyvnad mäts genom att mäta penetrationsmotstånd enligt SS 13 71 26, som innebär att man vid olika tidpunkter trycker in stämplor i bruket och bestämmer motståndet mot inträngning. Mätningen gjordes inomhus på betonglabbet i anslutning till fabriken.

5.2.2 Resultat från förundersökning

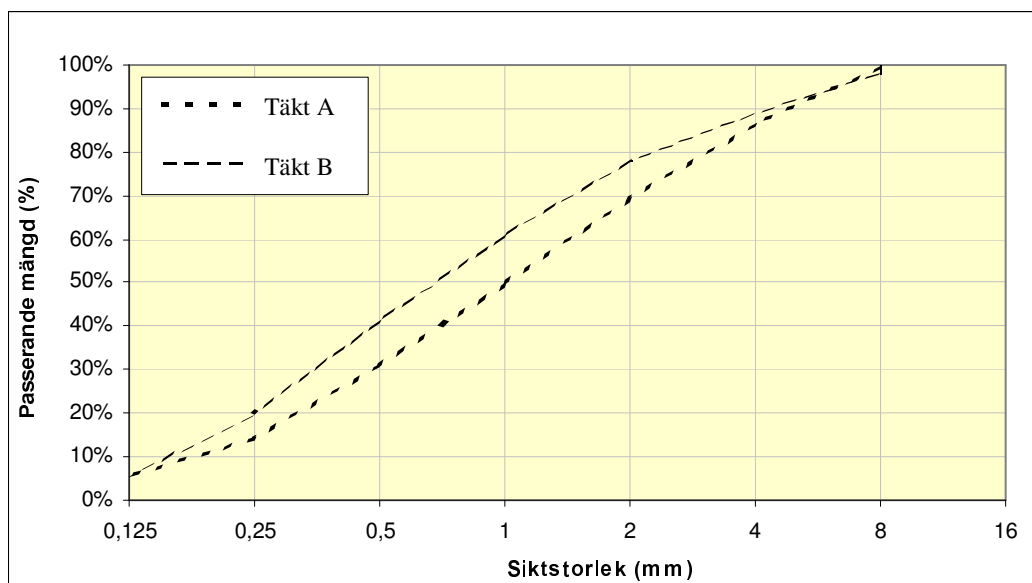
5.2.2.1 Delmaterial och betongsammansättning

Det recept som användes på fabrik hade utseende enligt tabell 5.1.

Tabell 5.1 Recept SKB K30, $v_{ct}=0,53$

Cement	395 kg
Vatten	209 kg
Makadam	526 kg
0-8mm från täkt A	634 kg
0-8mm från täkt B	634 kg
Tillsatsmedel superplasticerare	1,2% av cementvikten

Siktkurvor för 0-8 mm-materialen såg ut enligt figur 5.3 nedan (Nordkalk, 2003).



Figur 5.3 Siktkurvor för material från täkt A och täkt B

Av figur 5.3 ovan kan ses att passerande mängd vid 0,25mm-sikten är 15% för täkt A-materialiet och 20% för täkt B-materialiet. Slamhalten uppmättes av fabrik till 11% respektive 5%, vilket har stor betydelse för betongens stabilitet.

5.2.3.2 Flytsättnmätt och stabilitet

Flytsättnmättet uppmättes till ca 700 mm, men betongen var inte riktigt homogen. Betongen hade separerat och man kuden tydligt se att stenfronten inte hade följt med hela vägen ut till randen, se figur 5.4.



Figur 5.4 Provning av flytsättmätt

Separationen kunde även observeras på betongen i kärra. Se figur 5.5 och 5.6 där man ser att det bubblade ("kokade") om betongen. Även om man drog med en liten spade eller liknande för avjämning kom luften upp i alla fall. Till detta kunde tilläggas en brunaktig missfärgning på betongytan liknande den som uppkom vid fältstudierna.



Figur 5.5 Bubblande betong i kärra.



Figur 5.6 Närbild av bubblor i betong.

Vid undersökning av vattenseparation mättes uppkommen vattenmängd på ytan till ca 5 gram, vilket ansågs vara väldigt liten mängd. En bruksseparation på ca 0,5-1,0 cm kunde dock konstateras.

5.2.3.3 Mognadsgrad och hållfasthetsutveckling

Mätning av tillstyvnad genom att mäta penetrationsmotstånd (enligt SS 13 71 26) gav en hållfasthet på 3,5 MPa efter 6 timmar och 20 minuter, vilket anses motsvara en *minst* K30 (vilket var beställt). Tilläggas skall även att mognadsgrads- och hållfasthetsmätningar med mätsystemet BetongDatorn kontinuerligt utfördes på byggarbetsplatsen. Enligt byggarbetsplatsledningen erhöles god hållfasthetsutveckling, även vintertid. Vad gäller retardationsbenägenhet ansågs SKB:n motsvara en vanlig K30-betong. Dock erhöles större retardation jämfört med en K40 eller K50, vilka den använda SKB:n motsvarade vad gäller sluthållfasthet.

5.3 Laboratorieförsök

5.3.1 Allmänt

Utifrån vad som beskrivits ovan om betongen i fält gjordes provningar vid Skanska BTC:s betonglaboratorium i Farsta med syfte att ta fram en väl fungerande självkompakterande betong. Provblandningarna gjordes i två steg. I det första steget gjordes blandningarna enligt befintligt recept, för att bekräfta det som hände vid fabrik. I det andra steget togs nya betongsammansättningar fram där olika fördelningar mellan 0-8 materialen från täkt A och täkt B prövades samt med olika mängd kalkfiller. Olika tillsatsmedel provades med skiftande resultat

5.3.2 Delmaterial och betongsammansättning

Av de ca 15-tal betongsammansättningar som provades fram, bedömdes två som de mest lovande och de hade följande utseende (se tabell 5.2).

Tabell 5.2 De två mest lovande betongsammansättningarna efter första provningen.

Recept SKB K30, vct=0,53	(1)	(2)
Cement	320kg	320kg
Kalkfiller	125kg	145kg
Vatten	170kg	170kg
Makadam 8-16mm	40%	40%
0-8mm från täkt A	60%	45%
0-8mm från täkt B	0%	15%
Tillsatsmedel typ 1	1,03% av cementvikten	
Tillsatsmedel typ 2		0,90% av cementvikten

Efter ett möte med produktionsansvarig för den aktuella betongfabriken, bestämdes att en del provningar skulle göras med recept (1) som utgångspunkt, men med skillnaden att vct skulle

ökas till 0,60 och cementhalten sänkas till 300 kg/m³. Anledningen till detta var att man ville endast använda täkt A-material och att hållfastheten egentligen ansågs vara ”onödigt” hög för att motsvara en K30 (se 5.3.3 ’Resultat från provningar i lab’). Dessutom skulle de kompletterande försöken göras med ytterligare två typer av superplasticerande tillsatsmedel. Detta gav följande recept:

Tabell 5.3 Modifierade recept efter produktionens önskemål.

Recept SKB K30, vct=0,60	(3)	(4)
Cement	300kg	320kg
Kalkfiller	135kg	145kg
Vatten	180kg	170kg
Makadam	40%	40%
0-8mm från täkt A	60%	60%
0-8mm från täkt B	0%	0%
Tillsatsmedel typ 3	1,33% av cementvikten + 0,3% efterdosering	
Tillsatsmedel typ 4		1,00% av cementvikten + 0,3% efterdosering

5.3.3 Resultat från provningar i lab

De betongsammansättningar som upplevdes som mest lovande med avseende på stabilitet, arbetbarhet, utseende (förekomst av ’bubblor’ mm) provades och följande omdömen gavs:

Tabell 5.4 Omdömen kring betongrecepten.

Recept SKB K30, vct=0,53	(1)	(2)
Flytsättmått	660mm, 715mm efter 10g efterdosering av tillsatsmedel	610mm, 675mm efter 15 min.
Omdöme	Stabil, snabb men inte så lätt	Bra arbetbarhet, snabb men en lite tendens till separation

Recept 2 ökades med 5 kg kalkfiller men ingen skillnad sågs. Hållfastheten efter 28 dygn låg på ca 57 MPa.

Kompletterande provning gav resultat enligt tabell 5.5.

Tabell 5.5 Resultat efter kompletterande provning.

Recept SKB K30, vct=0,60	(3)	(4)
Flytsättmått	670mm efter efterdosering	650mm efter efterdosering
Omdöme	Ser stabil ut men en liten separations-tendens (tål ej mer tillsatsmedel). Något tung men inte seg. OK.	Snabb, ganska smidig och lätt. Några enstaka bubblor och en liten separationstendens.
Tryckhållfasthet, 24h (MPa)	14 (Medelvärde)	
Tryckhållfasthet, 28dygn (MPa)	50	

5.3.4 Implementering av laboratorieresultat i fält

Tanken under projektets gång var att i fält kunna implementera de resultat som framkom genom laboratieförsöken. Betongreceptet som har provats fram i laboratoriemiljö anses också vara lämpligt för den aktuella betongfabriken eftersom samma delmaterial har använts. Mindre justeringar av receptet kan dock behövas med tanke på skillnader i fabriksbetongtillverknings- och labmiljö, t.ex vad gäller betongblandarnas storlek och typ.

Eftersom den aktuella betongfabriken ej hade tillräcklig silokapacitet var det tvunget att först modifiera fabriken genom att montera en extra ballastsilo för kalkfiller. Så har även gjorts och fabriken anses idag ha tillräcklig kapacitet för att leverera SKB med kalkfiller. Dock saknas lämpligt fältprojekt att leverera SKB till, vid tidpunkten för denna rapportskrivning men avsikten är att när fabriken levererar SKB med kalkfiller (med det framtagna optimerade receptet) ska resultaten i fält följas upp med syfte att kunna verifiera att de tidigare funna problemen är markant reducerade och förhoppningsvis lösta.

5.3.5 Delmaterial och betongsammansättning – diskussion och slutsatser

Vid en första bedömning av de båda 0-8mm materialen (från täkt A och B) ansågs båda som välfungerande. Andelen passerande mängd vid 0,25 mm var god för båda. Dock verkade det som om partikelsystemet ej var gynnsamt när tillsatsmedel tillsattes i större mängder för att erhålla en självkompakterande betong -varför är oklart. Detta visar ändå att det inte räcker att enbart titta på siktkurvor för att kunna analysera om ett material är gynnsamt ur betongsammanhang - det måste provas. Täkt A-materialet hade en hög slamhalt vilket ansågs vara bra ur stabilitetssynpunkt. Detta var dock inte tillräckligt, varför kalkfiller var tvunget att tillsättas, samtidigt som kalkfillret även ersatte en del av cementet.



Figur 5.7 Närbild på 8-16-material

8-16-materialet hade också en stor påverkan på den färska betongens egenskaper. Då materialet var stängligt (se figur 5.7) innebar detta att betongen fick en högre inre friktion och därmed sämre arbetbarhet än om materialet hade haft en mer kubisk form. Detta är en möjlig förklaring till att flytsättnmåtten inte blev så höga om inte stora mängder tillsatsmedel användes. 8-16 materialet bromsade upp betongmassan. För lite 8-16 material medförde också att betongen inte fick tillräckligt med fart eller utbredning.

En annan betydelsefull faktor för betongens sammansättning var typen av tillsatsmedel. Vissa tillsatsmedel varierade i effektivitet samtidigt som de innebar varierande skumdämpningsförmåga, vilket var avgörande för den aktuella betongen.

Tillsättningen av kalkfiller i den självkompakterande betongen gjorde betongen mera robust och mer mottaglig för tillsatsmedel då det behövdes. Kalkfiller var en grundsten vid framtagningen av ett nytt recept under laboratorieförsöken.

6. Diskussion av resultat samt slutsatser

6.1 Diskussion av resultat

SKB:s möjligheter att rationalisera stombygget

Rapportens första del syftar till att ge en överblick av självkompakterande betongs potential. Kapitel 2 'Självkompakterande betong' beskriver internationella FoU-insatser och erfarenheter vad gäller SKB, dess potentiella fördelar för att rationalisera det platsgjutna stombygget samt eventuella hinder för ökat användande. Troligtvis framkommer det att SKB kan räknas som en innovation inom det platsgjutna betongbygget genom att inte bara förbättra arbetsmiljön utan även skapa möjligheter för ett mera rationellt och kostnadseffektivt byggande om hänsyn tas ur ett större perspektiv och inte bara är fokuserat på den direkta materialkostnaden. Dock är tekniken fortfarande mycket begränsad i sitt användande i Sverige såväl som internationellt. En av orsakerna är de tekniska problem som användandet av SKB har stött på. Dessa problem utgörs framförallt av förlust av den självkompakterande förmågan vilket ger risk för betongseparation och slutligen även risk för bristfälligt resultat hos den hårdnade betongen. Generellt sett har en av huvuduppgifterna för den utveckling av SKB som har bedrivits bestått av att göra betongen robust. Fortfarande karaktäriseras dock SKB-tillverkning som betydligt mera känsligt vid val av delmaterial och proportionering.

SKB-tillverkning inom Skanska Asphalt och Betong

Därefter redovisas i kapitel 3 kortfattat olika erfarenheter av SKB inom Skanska Asphalt och Betongs fabriksbetongverksamhet. Även skillnader i användandet av de olika SKB-koncepten redovisas kvantitativt. Mestadels bygger detta kapitel på intervjuer, genomförda under projektets början och därför bör man vara medveten om att förhållandena kan ha ändrats. Dock är det troligtvis inga större skillnader totalt sett, varken vad gäller volymer eller uppfattade effekter av användandet.

Studier i fält av SKB:s fördelar och eventuella tekniska problemområden

Fältförsöken i kapitel 4 bygger på studier av ett flerbostadsprojekt i Östergötland. Tanken var från början att minst ett par projekt skulle studeras men bristen på lämpliga husbyggnadsprojekt där SKB användes i större utsträckning medgav inte några andra fältförsök förutom detta. Dock visade det sig att det valda projektet gav möjlighet till intressanta studier eftersom både fördelar och tekniska problemområden hos SKB kunde observeras. I princip användes SKB vid gjutning av alla konstruktioner.

Dess *fördelar* vad gäller arbetsmiljö framkom tydligt. Enklare gjutförfaranden utan stavvibratörer innebar eliminering av risk för vibreringsskador samt lättare och tystare arbete. Även dess möjlighet till att gjuta större etapper per tidsenhet jämfört med vanlig betong kom fram. Dock uppfattades den senare fördelen endast gälla då betongen pumpades i samband med gjutning av horisontella konstruktioner såsom bottenplattor och bjälklag. SKB:n uppfattades ej förkorta byggtiden då väggar göts med bask. Under tiden som basken återvände med kran till betongbilen fick betongarbetarna vänta tills basken återvände. Likaså om låga stighastigheter användes. Det sista kunde dock kompenseras av att betong lossades växelvis i flera väggformar.

Det framkom även att det fanns risk för att *problem* hos den färska självkompakterande betongen kunde uppstå. Framförallt bestod dessa av vatten- och bruksseparation samt stora mängder luftbubblor som uppkom i ytan -problem som alla ledde till att de förväntade fördelarna vad gäller den hårdnade självkompakterande betongens fina ytor riskerade att utebli. Det visade sig dock att för bottenplattorna och bjälklagen innebar det inga egentliga negativa konsekvenser, varken för produktionsekonomi eller den färdiga konstruktionens funktion, eftersom betongenytorna skulle slipas och beläggas med klinker/parkett. Men för de horisontella ytorna däremot, blev behovet av efterlägningsarbete inte reducerat som var det förväntade. Detta gjorde att SKB:s totala potential inte kunde utnyttjas. Anledningarna till dessa studerade effekter på betongens ytkvalitet antogs först bestå av betongens egenskaper i förhållande till olika produktionstekniska aspekter såsom formtyp, formolja, pumpföring, slodning, stighastighet och baskningsförfarande. Detta p.g.a att erfarenheterna var goda för samma typ av betong till liknande konstruktionstyper. Dock visar erfarenheter på att just detta sista är ett av de mest förknippade problemen med SKB -d.v.s brist på robusthet. Att SKB är känsligare än vanlig betong för variationer i proportionering och delmaterialens egenskaper är allmänt känt. Den inom fältförsöken studerade betongen utgjordes dessutom av det koncept

som anses vara det känsligaste, nämligen SKB som ej innehåller någon typ av filler. Därför beslöts att i laboratoriemiljö prova att optimera samma betongrecept men med tillsats av kalkfiller, för att på så vis öka robustheten och skapa möjligheter för utnyttjande av SKB:s fulla potential, se nästa stycke.

Fördjupade laboratoriestudier av upptäckta problem

För att erhålla en ökad robusthet hos den till fältobjektet levererade SKB:n, tillämpades fördjupade laboratoriestudier. SKB med samma delmaterial användes till en början i dessa försök och efter att de i fält uppkomna problemen kunde verifieras, provades tillsats av kalkfiller i kombination med olika andelar 0-8 material från täkt A respektive B. Efter ett flertal försök visade det sig att 0-8 material från den ena täkten, vilket innehöll en större mängd finmaterial, i kombination med kalkfiller gav en tillfredsställande betong. Denna medgav även högre dosering av tillsatsmedel när så behövdes utan att leda till separation samt att lägre cementmängd kunde användas utan att resultera i lägre sluthållfasthet. Vad gäller det senare, försökte även betongen att optimeras genom att minska cementhalten ytterligare och på så vis reducera sluthållfastheten, vilken hade ansetts vara ”onödigt” hög med tanke på att beställd betongkvalitet var K30.

6.2 Slutsatser

Självkompakterande betong innebär stora möjligheter till såväl förbättring av arbetsmiljön som rationalisering för platsgjutet betongbyggande. Trots dessa uppenbara fördelar används SKB fortfarande i mycket begränsad utsträckning. Detta beror på både icke-tekniska orsaker, t.ex att dess direkta materialkostnad ibland inte anses försvarbar i förhållande till produktionsekonomiska vinster, och tekniska orsaker såsom risk för förlust av den självkompakterande förmågan, separation eller bristande ytkvalitet.

I de genomförda fältstudierna visade det sig att separation av den färska betongen kunde medföra en risk för försämrade ytkvalitet hos den hårdnade betongen. Detta fick inga konsekvenser på de horisontella konstruktioner eftersom dessa ABS-slipades dagen efter gjutning. Dock medförde dessa effekter att behovet av efterarbete på väggar och pelare inte kunde undvikas, vilket annars ses som ett viktigt ekonomiskt incitament för användning av

SKB. För det aktuella fältobjektet valdes SKB relativt sent, vilket innebar att t.ex. väggarna var planerade att gjutas med bask och inte med pump. För att kunna öka möjligheterna till att utnyttja SKB:s fulla potential krävs att hänsyn togs till SKB-användande redan i den tidiga projekteringsfasen i byggprojektet.

Fältstudierna kompletterades med fördjupade laboratoriestudier som dels verifierade de uppkomna effekterna men även inleddes försök till att optimera samma typ av betong och därmed öka robustheten. Genom att betongreceptet optimerades med avseende på de olika 0-8 materialen och tillsatsmedlen samt att tillsätta kalkfiller, kunde en mera robust SKB tillverkas. Detta skapar slutligen möjligheter att utnyttja ännu mera av SKB:s potential då denna framtagna och troligtvis även i fält robusta betong implementeras.

Referenser

- BKD, Byggekostnadsdelegationen (2000), *Betänkande från Byggekostnadsdelegationen, SOU 2000:44*, Stockholm.
- Byfors, J. (1999), SCC is an important step towards industrialisation of the building industry, *Proceedings of the First International RILEM Symposium on Self-compacting Concrete*, Stockholm: RILEM Publications S.A.R.L, pp.15-21.
- Emborg, M. (2002) Framtida forskning och samverkan, *CBI:s Informationsdag 2002 – Sammanfattningar*, Stockholm: Cement- och Betonginstitutet, pp.45-49.
- Grauers, M. (1999), Self compacting concrete – industrialised site cast concrete, *Proceedings of the First International RILEM Symposium on Self-compacting Concrete*, Stockholm: RILEM Publications S.A.R.L, pp.651-658.
- Hallgren, M. (1993), *Use of high performance concrete in load bearing structures - Does high strength bring cost savings?* Stockholm: Kungliga Tekniska Högskolan, Avdelningen för konstruktionsteknik.
- Mizobuchi, T., Yanai, S., Takada, K., Sakata, N. & Nobuta Y. (1999), Field applications of self-compacting concrete with advantageous performances, *Proceedings of the First International RILEM Symposium on Self-compacting Concrete*. Stockholm: RILEM Publications S.A.R.L, pp.605-616.
- Nordkalk (2003), Siktkurvor erhållna av Sten Rodenstam, Nordkalk AB.
- Okamura, H. & Ouchi, M. (1999), Self-compacting concrete. Development, present use and future, *Proceedings of the First International RILEM Symposium on Self-compacting Concrete*, Stockholm: RILEM Publications S.A.R.L, pp.3-14.

- Ouchi, M. (1999), Self-compacting concrete development, applications and investigations, *Proceedings of the Nordic Concrete Research Meeting in Reykjavik*, Oslo: Norsk Betongförening, pp.29-34.
- Persson, B. (1999), Modern betong och filigranform förutsättningar för ett rekordbygge I Malmö, *Särtryck Sä 99.44*, Lund: Lunds Tekniska Högskola, Avdelningen för Byggnadsmaterial.
- Persson, B. (2003), Self-compacting concrete at fire temperatures, *Rapport TVBM-3110*, Lund: Lunds Tekniska Högskola, Avdelningen för Byggnadsmaterial.
- Peterson, M & Öberg, M. (2001), Multi-dwelling concrete buildings in Sweden: a review of present technology, design criteria and decision making, *Avdelningsrapport TVBM-7158*, Lund: Lunds Tekniska Högskola, Avdelningen för Byggnadsmaterial.
- Peterson, M (2003a), New concrete materials technology for competitive house building, *Licentiatuppsats, TVBM 3111*, Lund: Lunds Tekniska Högskola, Avdelningen för Byggnadsmaterial.
- Peterson, M. (2003b), Rationell stombyggnad med ny betongteknik, *Bygg & Teknik 2/03*, Stockholm: Förlags AB Bygg & Teknik
- Pichler, R. (1999), The use of SCC for building the Millennium Tower in Vienna, *Proceedings of the First International RILEM Symposium on Self-compacting Concrete*. Stockholm: RILEM Publications S.A.R.L, pp.729-732.
- Skarendahl, Å. (2001), Market acceptance of self-compacting concrete, the Swedish experience, *Proceedings of the Second International Symposium on Self-Compacting Concrete in Tokyo*, Kochi: COMS Engineering Corporation, pp1-12.
- Svenska Betongföreningen (2002), Självkompakterande betong- Rekommendationer för användning, *Betongrapport nr 10*, Stockholm: Svenska Betongföreningen.