

LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA
LUNDS UNIVERSITET

Avd Byggnadsmaterial

Förändring av arbetbarhet hos betong med anläggningscement

Anders Anderberg

TVBM-5050

Examensarbete

Lund 2002

Förord

Ursprungsidén till detta examensarbete kommer från professor Göran Fagerlund. I samband med de konsistensproblem som uppkom i slutet av 1990-talet när anläggningscement började användas i självkompakterande betong misstänkte han att dagens blandningsmetoder, där nya kraftfulla tillsatsmedel gör det möjligt att radikalt minska vattenhalten i betongen, kan vara en av orsakerna till att snabba konsistensförluster ibland har uppkommit.

Detta examensarbete har tillkommit i samarbete mellan Avdelningen Byggnadsmaterial vid Lunds Tekniska Högskola och Cements AB. Undertecknad vill framföra ett stort tack till handledarna, professor Göran Fagerlund, Niklas Johansson och Lars Wadsö för allt stöd och handledning under arbetets framskridande.

Jag vill även tacka Bo Johansson, Stefan Backe och övrig personal på Avdelningen Byggnadsmaterial vid LTH.

Slutligen vill jag tacka Cements AB och Sven-Erik Johansson för värdefull information och finansiering av försök hos Scancem Research i Slite samt personalen hos Scancem Research, framförallt Pentti Piiparinen och Kenneth Johansson för hjälp och handledning vid betongförsök i Slite.

Lund, mars 2002

Anders Anderberg

Sammanfattning

Anläggningscement kom ut på marknaden i början av 1980-talet. Det framtog framförallt för att användas i grova konstruktioner där en begränsad värmeutveckling är nödvändig för att undvika sprickbildning i betongen. Redan tidigt noterades dock att konsistensförlusterna för detta cement ibland var stora. Nya sorters tillsatsmedel kan ha gjort att fenomenet har ökat på senare tid.

I detta examensarbete undersöktes konsistensförändringar hos färsk konventionell betong med anläggningscement. Syftet med försöken var att kunna åskådliggöra hur en ändring av vattenmängden samt hur en ändring av tillsatt dosering tillsatsmedel påverkar konsistensförlusterna i en betongsats.

Ett vidare syfte var att med hjälp av värmeutvecklingsförsök undersöka om det kunde utläsas skillnader i värmeutvecklingen under de första timmarna hos blandningar med olika sorters vattenreducerande/plasticerande tillsatsmedel respektive hos blandningar utan tillsatsmedel. Detta gjordes för att se om tillsatsmedel kunde påverka cementets tidiga reaktioner och därmed betongens konsistensförluster.

I undersökningarna har tre olika sorters tillsatsmedel använts som kommer från ”första, andra respektive tredje generationens” tillsatsmedel. De tre använda tillsatsmedlen var Cementa P40, Cementa Flyt 92 M och Cementa SR 20. Vid samtliga försök var vct 0,40. Enbart tester på konventionell betong med anläggningscement utfördes.

Undersökningarna på den färska betongen genomfördes med sättmått, utbredningsmått och BML-viskosimeter, WO-3. Därefter har inträngningsmotstånd mätts på några av proven. Värmeutvecklingsförsöken har utförts med isoterm kalorimeter, TAM Air.

Försöksprogrammet på färsk betong var uppdelat i mindre serier om tre försök där samma mängd vatten och cement, men olika doseringar av ett och samma tillsatsmedel användes. För varje tillsatsmedel gjordes tre mindre serier om vardera tre försök med olika vattenhalt, men samma vct. Dessutom gjordes en serie med betongsatser utan tillsatsmedel där halten vatten och cement varierades på samma sätt som i serier med tillsatsmedel.

Resultaten visar att vid en minskad mängd blandningsvatten sker konsistensförlusterna snabbare. Dessutom blir effekten av doseringen tillsatsmedel större genom att en mindre ändring i doseringen får ett större utslag i konsistensen. En minskad mängd blandningsvatten leder även till att betongmassans viskositet blir högre. Lägst konsistensförluster uppvisar blandningar med störst mängd blandningsvatten ($W=180$ l och $W=170$ l) i kombination med tillsatsmedel SR 20. Även blandningar med mycket stor mängd blandningsvatten ($W=215$ l, $W=220$ l), men utan tillsatsmedel uppvisar små konsistensförluster.

Ur kalorimeterförsöken går ej att utläsa någon skillnad i värmeutvecklingen under viloperioden för blandningar med måttliga doseringar av tillsatsmedel. I de fall doseringen tillsatsmedel var hög kunde en skillnad utläsas. I dessa fall gav SR 20 från den tredje generationens tillsatsmedel en betydligt högre värmeutveckling än övriga två tillsatsmedel. I gengäld blev den efterföljande värmetoppen då något lägre. Blandningarna med höga doseringar tillsatsmedel visade även att SR 20 inte påverkar de tidiga cementreaktionerna före viloperioden. Viloperioden fick en tidig och tydlig start. För de övriga två tillsatsmedlen,

framförallt P40, påverkas de tidiga cementreaktionerna genom att de fortgår under längre tid. Därmed förskjuts starten på viloperioden och den blir heller inte lika tydlig som för blandningar med SR 20. I övrigt kan noteras att P40 har en stark retarderande effekt medan Flyt 92 M har en mera måttligt retarderande effekt. Även SR 20 har i förhållande till sin vattenreducerande effekt en måttlig retardation.

Summary

“Anlåggningscement” (Low alkali, high sulphate resistant, Portland cement for heavy constructions) was launched at the Swedish market in the beginning of the 1980s. It had been developed for being used in heavy constructions, where the heat production from the reacting cement can cause cracks. Already at an early stage, it was noticed that concrete made with this cement sometimes lost its workability very quickly. New sorts of admixtures may have increased this phenomenon.

In this master thesis, a study of changes in workability of fresh concrete with “Anlåggningscement” was investigated. The purpose with the experiments was to investigate how a change in the amount of water and adding of admixture influence losses of workability on a concrete mass.

Another purpose was to see if it was possible to measure any differences in the heat production rate during the first hours between mixtures with different admixtures respectively without admixtures. These tests were performed with the aim to see if different types of admixtures could affect the early cement reactions.

Three different types of admixtures have been used in the tests, representing the “first, second and third generation” of admixtures. The three admixtures were Cementa P40, Cementa Flyt 92 M and Cementa SR 20. All tests performed in this master thesis had a W/C 0,40. Only concrete with “Anlåggningscement” was used.

Tests on fresh concrete were made with slump test, flow table test and viscometer. Thereafter penetration resistance was measured on some of the mixtures. Heat production rate tests were performed with an isothermal calorimeter.

The testing program on fresh concrete was divided into small series including three tests, where the same amount of water and cement was used, but different doses of one admixture. Three small test series were carried out for each admixture. Each series with different amount of water but the same W/C. Furthermore, one series without admixtures was performed where the amount of water was varied.

The results show that a decreased amount of water in the concrete leads to faster losses in workability. Furthermore it increases the importance of the admixture in the way that a smaller change in the dosage causes bigger differences in workability. A decreased amount of water also increases the viscosity values. In this master thesis, mixtures with SR 20 and fairly large amount of water (W=180 l and W=170 l) show the smallest losses in workability. Mixtures without admixtures, but with a very big amount of water (W=215 l, W= 220 l), also show small losses in workability.

The heat production rate tests show that only at high dosages of admixtures it is possible to see differences between mixtures during the dormant period. These tests shows that mixtures with SR 20, from the third generation of admixtures, have a significant higher heat production rate during the dormant period. On the other hand, the main hydration heat production peak is lower.

Admixture SR 20 does not influence the early cement reactions before the dormant period. The dormant period has then an early and clear start. The two other admixtures, especially P40, influences the early cement reactions by making them last longer. This means that the dormant period starts later. It was also noticed that admixture P40 has a significant retarding effect.

Innehållsförteckning

Förord

Sammanfattning

Summary

Innehållsförteckning

1 Inledning	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	2
1.3 Avgränsningar	2
2 Cement	3
2.1 Allmänt	3
2.2 Kemisk sammansättning	3
2.3 Fysikaliska egenskaper	4
2.4 Reaktion med vatten	5
2.5 Bindetid	6
2.6 Konsistensförlust	7
3 Anläggningsbetong	9
3.1 Allmänt	9
3.2 Anläggningscement	9
3.3 Ballast	10
3.4 Tillsatsmedel	10
4 Arbetbarhet	13
4.1 Allmänt	13
4.2 Konsistens	13
4.3 Reologi	15
4.4 Stabilitet	17
4.5 Tillstyvnadstid	18
5 Värmeutveckling	19
5.1 Allmänt	19
5.2 Beskrivning	19

6 Studier av arbetbarhet i betong **21**

6.1 Inledning	21
6.2 Försöksprogram	21
6.3 Delmaterial	22
6.3.1 Cement	22
6.3.2 Ballast	23
6.3.3 Tillsatsmedel	23
6.4 Provningsförfarande	23
6.5 Resultatsammanställning	26
6.5.1 Sättnmätt och utbredningsmätt	27
6.5.2 Reologiska egenskaper bestämda med viskosimeter	34
6.5.3 Tillstyvnadstid	37
6.6 Osäkerhet i mätning av arbetbarhet	38

7 Studier av värmeutveckling **39**

7.1 Inledning	39
7.2 Försöksprogram	39
7.3 Provningsförfarande	40
7.4 Resultatsammanställning	40
7.5 Osäkerhetsfaktorer	45

8 Slutsatser **46**

9 Referenser **47**

Appendix

Appendix A	Delmaterial
Appendix B	Förförsök vid LTH
Appendix C	Betongrecept huvudförsök, Slite
Appendix D	Resultat av konsistensmätningar, Slite
Appendix E	Mätning av värmeutveckling
Appendix F	Bestämning av minisättnmätt

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Vid användning av betong är betongmassans arbetbarhet, ofta uttryckt med begreppet konsistens, viktig för att underlätta gjutningen och säkerställa god kvalitet. Är betongmassans konsistens inte tillfredställande får extraarbete läggas ner för att bearbeta betongen samt för att reparera eventuellt uppkomna gjutskador. I värsta fall kan konsistensen vara så dålig att en gjutning av betongen inte är möjlig. Då måste hela betongsatsen kasseras, alternativt extra tillsatsmedel tillsättas med följderna att betongens egenskaper kan förändras.

Idag tillverkas nästan all betong i fabriker för att sedan transporteras till byggarbetsplatserna. Detta innebär att det kan ta långt tid, ibland över en timme, från det att betongen blandas tills dess att den gjuts. Under denna tid måste betongens arbetbarhet upprätthållas för att säkerställa bra gjutförhållanden.

Betong med anläggningscement kom ut på marknaden i början av 1980-talet. Den framtog för att användas i konstruktioner där begränsad värmeutveckling vid härdning är nödvändig för att undvika sprickbildning till följd av temperaturdifferenser. Andra fördelar med anläggningscement är:

- Hög sulfatresistens
- Låg alkalitet
- Möjliggör betong med hög frostbeständighet

Vattenbehovet i betong med anläggningscement är normalt lägre än för betong med standardcement, vilket medför att ett lägre vct kan erhållas vid konstant cementhalt (vct = förhållande mellan vatten och cement), alternativt en lägre cementhalt vid bibehållet vct. Detta medför dock även en ökad risk för konsistensförluster under de första timmarna då de första cementreaktionerna sker.

Redan när anläggningscementet var nyframtaget noterades att konsistensen ibland snabbt förlorades. I samband med att anläggningscement började användas i självkompakterande betong mot slutet av 90-talet uppmärksammades detta problem igen. Nya sorters tillsatsmedel som kommit fram under senare år, med vilka det är möjligt att kraftigt reducera vattenhalten i en betongmassa, kan ha gjort att detta fenomen har ökat ännu mer.

1.2 Syfte

Syftet med detta examensarbete är att undersöka konsistensförändringar i färsk konventionell betong (d.v.s. icke självkompakterande betong, SCC) med anläggningscement. Försöken utförs med avsikten att kunna åskådliggöra hur en ändring av vattenmängden samt en ändring av tillsatt dosering tillsatsmedel påverkar konsistensförlusterna i en betongsats.

Vidare undersöks med värmeutvecklingsförsök hur olika typer av tillsatsmedel påverkar de tidiga cementreaktionerna.

Mätningar utförs på färsk betongmassa med sättmått, utbredningsmått och BML-viskosimeter. Därefter mäts tillstyvnadstid genom inträngningsmotståndsmätningar med syftet att undersöka hur gjorda ändringar i betongrecepten påverkar tillstyvnadstiden.

Värmeutveckling mäts på cementbruk med isoterm kalorimeter.

1.3 Avgränsningar

För att minska antalet försöksparametrar beslutades att alla prover skulle utföras med samma vct, 0,40 och att tre olika tillsatsmedel skulle användas vid försöken, ett från var och en av de s.k. första, andra och tredje generationens tillsatsmedel. Vidare undersöktes endast konventionell betong med anläggningscement. Ballastgradering valdes efter den standard ballastkurva för konventionell betong med anläggningscement som används vid Scancem Research i Slite. I samtliga försök tillsattes tillsatsmedel tillsammans med blandningsvattnet. Ingen lufttillsats användes trots att detta är vanligt i betong med anläggningscement.

2 Cement

2.1 Allmänt

Betongens huvudbeståndsdelar är cement, ballast och vatten. Cement och vatten kallas för cementpasta och fungerar som ett bindemedel som binder ihop ballastkornen. De cement som används i byggnadsindustrin är oftast av typen hydrauliska bindemedel, d. v. s. de hårdnar i reaktion med vatten och bildar en produkt som är beständig mot vatten. Portlandcement, slaggcement och aluminatcement är exempel på bindemedel av detta slag.

De vanligaste cementtyperna innehåller framförallt portlandcement. Råmaterialet vid framställning av portlandcementet är normalt kalksten och ett material som innehåller lermineral, t.ex. lera. Vid tillverkning av portlandcement finmåls råmaterialet innan det matas fram till en lång roterugn där små kulor, s.k. cementklinkers bildas. Portlandcement bildas sedan genom sammanmalning av cementklinkern och ca: 5 % gips. Gipset tillsätts för att dämpa de momentana cementreaktionerna som annars snabbt gör betongmassan obearbetbar. Normalt tillsätts även upp till 1 % kromatreducerande tillsats (Fagerlund 2000) för att undvika kromatrelaterade hudreaktioner vid kontakt med cement.

Det finns många olika typer av cement som används i olika situationer.

De vanligaste är:

Byggcement. Detta är ett portlandkalkstencement där 20 % av cementets huvudbeståndsdelar får vara kalkstensfiller och resten utgörs av portlandsklinker. Det används framförallt vid husbyggande och har i stor utsträckning ersatt standard portlandcementet på den svenska marknaden.

Anläggningscement. Detta används vid gjutning av grova konstruktioner, där cementets värmeutveckling kan ge upphov till temperaturdifferenser som medför sprickbildning i betongen. Anläggningscement är ett portlandcement med långsam värmeutveckling och har i Sverige ersatt det långsamthårdnande cementet, LH-cement som tillverkades fram till slutet av 1970-talet.

Snabbt hårdnande cement, SH-cement. Detta är ett portlandcement som används när en snabb hållfasthetsutveckling önskas eller till gjutningar vid låg temperatur.

2.2 Kemisk sammansättning

Vid en kemisk analys fås fram vilka oxider som ett cement innehåller. Ur dessa resultat kan sedan klinkermineralernas mängder räknas fram med hjälp av Bouges formler. Dessa beräkningar kan inte göras för cement med tillsatsmaterial (flygaska, slagg mm) eftersom resultaten då blir felaktiga (Johansson S-E, 1994).

Klinkermineralerna i Portlandcement är:

Trikalciumsilikat	3CaO SiO_2	(Alit)	Betecknas med C_3S
Dikalciumsilikat	2CaO SiO_2	(Belit)	Betecknas med C_2S
Trikalciumaluminat	$3\text{CaO Al}_2\text{O}_3$	(Aluminat)	Betecknas med C_3A
Tetrakalciumaluminatferrit	$4\text{CaO Al}_2\text{O}_3 \text{Fe}_2\text{O}_3$	(Ferrit)	Betecknas med C_4AF

Alit, C_3S reagerar snabbt med vatten och har störst betydelse för hållfasthetsutvecklingen upp till 28 dygn.

Belit, C_2S reagerar långsamt med vatten och bidrar därför till hållfastheten på lång sikt.

Aluminat, C_3A reagerar mycket snabbt med vatten samt ger snabb bindning om inte retardator tillsätts. Ofta inmåls gips i cement som retardator och då reagerar en liten del av C_3A direkt vid vattentillsats och därefter sker reaktionerna långsamt. Aluminat påverkar även cementets beständighet mot sulfater, lägre halt C_3A ger högre beständighet.

Ferrit, C_4AF har normalt en hög reaktionshastighet, men variationer kan förekomma.

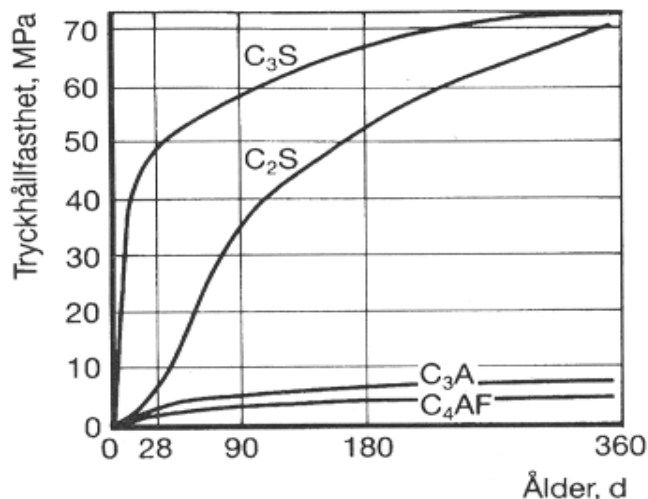
2.3 Fysikaliska egenskaper

Specifik yta

Ju större kontaktyta ett cementkorn har med vatten desto snabbare reagerar det. Kontaktytan eller specifika ytan som har enheten m^2/kg är cementkornens totala area och beror av hur fint cementet har malts. Den mäts oftast enligt Blaines metod som bygger på att det finns ett samband mellan luftmotståndet och cementkornens totala yta i en materialbädd (Johansson S-E, 1994).

Hållfasthet

Det är framförallt reaktionsprodukterna från C_3S , (alit) och C_2S , (belit) som bestämmer cementets hållfasthetsegenskaper. C_3S är den viktigaste komponenten för den tidiga hållfasthetsutvecklingen (se figur 2.1). På längre sikt får emellertid C_2S en högre hållfasthet. Genom ändring av de inbördes förhållandena mellan C_3S och C_2S kan ett cements hållfasthetsutvecklingsegenskaper förändras. Ett långsamthårdnande cement (LH-cement) har lägre kvot $\text{C}_3\text{S} / \text{C}_2\text{S}$ än ett snabbhårdnande cement (SH-cement).



Figur 2.1 Klinkermineralens hållfasthetsutveckling (Johansson S-E, 1994).

Tryckhållfastheten hos cement bestäms genom provtryckning på kuber av cementbruk. Normhållfastheten är den hållfasthet som uppnås efter 28 dygn och den tidiga hållfastheten uppnås efter 2 respektive 7 dygn. Cement indelas i hållfasthetsklasser enligt tabell 2.1.

Tabell 2.1 Hållfasthetsklasser enligt Svensk Standard SS 13 42 01.

Hållfasthetsklass	Tryckhållfasthet, MPa			
	Tidig hållfasthet		Norm hållfasthet	
	2 dagar	7 dagar	28 dagar	
32,5	-	≥16,0	≥ 32,5	≤ 52,5
32,5 R	≥ 10,0	-	≥ 32,5	≤ 52,5
42,5	≥ 10,0	-	≥ 42,5	≤ 62,5
42,5 R	≥ 20,0	-	≥ 42,5	≤ 62,5
52,5	≥ 20,0	-	≥ 52,5	
52,5 R	≥ 30,0	-	≥ 52,5	

Hållfasthetsutvecklingen är även beroende av temperaturen. Normhållfastheten är fastställd vid 20 °C. Vid 10 °C är hållfasthetsutvecklingen endast ungefär hälften så snabb. Vid 30 °C är den ungefär 50 % snabbare.

Värmeutveckling

Värmeutvecklingen följer i hög grad hållfasthetsutvecklingen eftersom cement utvecklar värme när det härdar. Olika klinkerkomponenter (C_3S , C_2S , etc.) utvecklar olika mängd värme. Värmeutvecklingen är därför beroende av både specifik yta och klinkersammansättningen. Exempel på värmeutveckling för olika cement visas i tabell 2.2.

Tabell 2.2 Värmeutveckling hos olika cement.

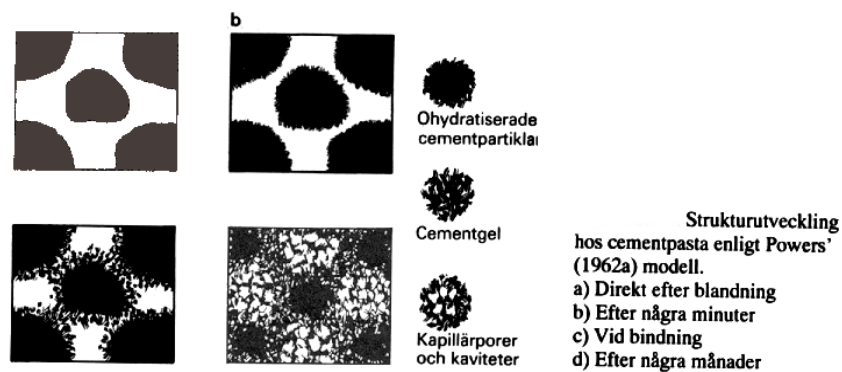
P 400 är ett finmalt anläggningscement (Cementa, 1999).

Cementtyp	1 dygn	3 dygn	7 dygn
Bygg	220 kJ/kg	300 kJ/kg	320 kJ/kg
Std	230 kJ/kg	320 kJ/kg	340 kJ/kg
SH	290 kJ/kg	350 kJ/kg	370 kJ/kg
Anl	170 kJ/kg	240 kJ/kg	270 kJ/kg
P 400	190 kJ/kg	250 kJ/kg	290 kJ/kg

Avvikelser från angivna medelvärden kan uppgå till ± 20 kJ/kg.

2.4 Reaktion med vatten

Kemiska reaktioner mellan vatten och cement startar direkt vid blandning. Vattenmolekyler reagerar med klinkermineraler på cementkornens yta och bildar ett tunt skikt i form av en gelliknande massa som ökar i tjocklek allteftersom reaktionsprocessen fortlöper. Efterhand som gelskiktet ökar i storlek avtar reaktionshastigheten eftersom vattenmolekylerna får svårare att tränga igenom det allt tjockare gelskiktet och nå ohydratiserade delar av cementkornen.



Figur 2.2 Strukturutveckling i cementpasta enligt Powers modell, (Fagerlund, 2000).

Eftersom gelen upptar större volym än volymen hos den del av cementkornet som reagerat med vatten (hydratiserat) bildas en del av gelen (cirka 50 %) utanför cementkornet.

2.5 Bindetid

När gelen från olika cementkorn kommer i kontakt med varandra uppstår bindning och cementet får då en viss styrka. Tiden för detta motsvarar ungefär cementets bindetid (Fagerlund 1994)

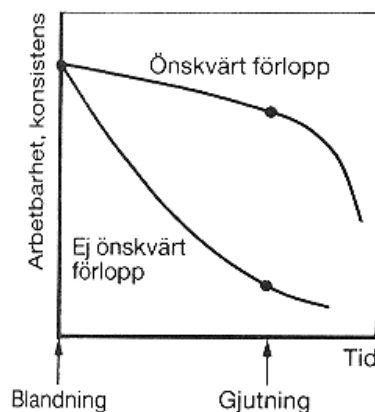
Cementets bindetid mäts med standardiserade metoder enligt SS 13 42 31 och är den tid som det åtgår för en standardiserad cementpasta att uppnå en viss hårdhet. Mätningarna utförs genom inträngningsprov med en Vicat-apparat, där en belastad nål trycks ner i en blandning av cementpasta. Cementets bindetid är den tid det tar till dess att inträngningsdjupet har reducerats till ett visst värde.

Enligt Svensk Standard skall cement i hållfasthetsklass 52,5 och 52,5 R ha en bindetid på minst 45 minuter. För cement i övriga hållfasthetsklasser skall bindetiden minst vara 60 minuter.

2.6 Konsistensförlust

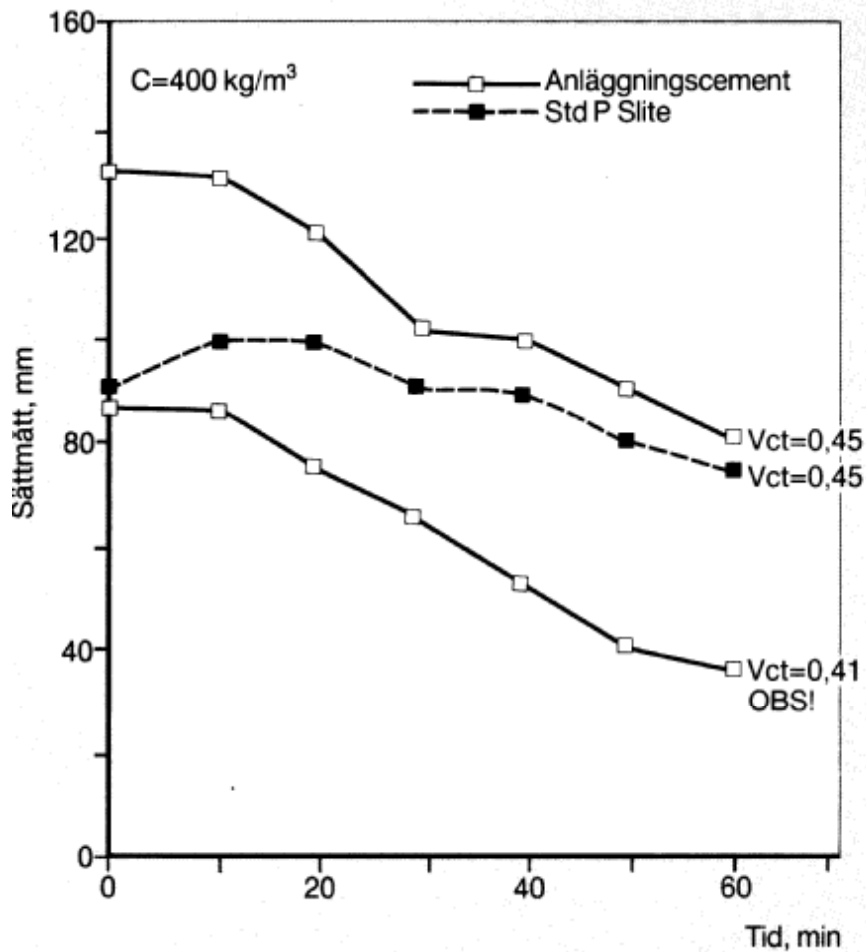
Konsistensförluster beror på vattenavdunstning från betongmassan och begynnande hydratisering av cementet. De mäts genom upprepade mätningar inom ett visst tidsintervall. Under de första timmarna efter blandning är vattenavgången den dominerande faktorn och tillstyvnandet går långsamt. Därefter får cementets hydratisering större och större betydelse och tillstyvnandet kan då avläsas med en inträngningsmotståndsmätare, s.k. Proctor prov. Betong med låg vattenhalt förlorar sin konsistens snabbare än betong med hög vattenhalt. Detta beror på att den tidiga vattenavgången snabbare gör att kvarvarande vattenmängd blir för låg för god gjutbarhet när betongsatsen från början har låg vattenhalt.

Ett önskvärt förlopp är att en jämn konsistens uppehålls från blandning fram till gjutning. När gjutning och komprimering är avslutade är det önskvärt att härdningen inleds så snabbt som möjligt för att en snabb formrivning och därmed en snabb byggprocess skall vara möjlig.



Figur 2.3 Exempel på tillstyvnadsförlopp (Johansson et al, 1994).

Vid en jämförelse av konsistensförluster mellan betong med standard portlandcement och betong med anläggningscement (se figur 2.4) noteras att betong med anläggningscement initialt får en högre utgångskonsistens än betong med standard portlandcement vid lika stor vattenhalt och vct. Dock tappar betong med anläggningscement sin konsistens fortare och efter 60 minuter är konsistenserna ungefär lika. Vid lika utgångskonsistens tappar betong med anläggningscement konsistensen mycket snabbare. Detta torde bero på den lägre vattenhalten (vct = 0,41 jämfört med vct = 0,45).



Figur 2.4 Mätning av sättnmättsförlust hos betong med Anläggnings respektive Standard Portlandcement Slite (Fagerlund, 1990)

Ur figur 2.4 kan noteras att medan sättnmättsgrafen för standard portland Slite liknar kurvan ”önskvärt förlopp” i figur 2.3 påminner de båda sättnmättsgraferna för anläggningscement mer om kurvan ”ej önskvärt förlopp”.

3 Anläggningsbetong

3.1 Allmänt

Betong med anläggningscement används i medelgrova och grova konstruktioner där begränsad värmeutveckling är nödvändig för att minska risken för sprickbildningar p.g.a. temperaturdifferenser. Den används även när risk för alkalikiselreaktioner föreligger eller där krav ställs på högre sulfatresistens, t.ex. vid marina arbeten och pålning. Anläggningscementet har i Sverige ersatt det långsamt hårdnande cementet, LH-cement.

3.2 Anläggningscement

Anläggningscement är ett standard portlandcement med speciella egenskaper. För att anläggningscementet skall få en långsammare härdning och därmed en lägre värmeutveckling mals det mer grovkornig än vanligt cement. Normalvärden för anläggnings- respektive byggcementens specifika yta är 300 m²/kg och 450 m²/kg (Cementa 1999). Ju mindre specifik yta desto långsammare sker reaktionerna med vattnet eftersom kontaktytan mellan vatten och cement då blir mindre. Låg specifik yta medför även ett lägre vattenbehov (Johansson S-E, 1994). Anläggningscementet får därför en långsammare reaktion och värmeutveckling än byggcementet samt ett mindre vattenbehov. Vidare har anläggningscement en klinkersammansättning som gör att värmeutvecklingen går långsammare än för ett vanligt cement.

Beteckningen för anläggningscement är enligt SS 13 42 01: CEM I 42,5 BV/SR/LA där:

CEM I betecknar att cementet är ett portlandcement och att det innehåller minst 95 % klinker. Portlandcement får innehålla upp till 5 % tillsatsbeståndsdelar, vanligen kalkstensfiller. Anläggningscement innehåller emellertid inga tillsatsmaterial.

42,5 innebär att tryckhållfastheten efter 2 dygn skall vara minst 10 MPa och att tryckhållfastheten efter 28 dygn skall vara mellan 42,5 MPa och 62,5 MPa (se tabell 2.1).

BV betecknar begränsad värmeutveckling och kravet är då att värmeutvecklingen högst får vara 290 kJ/kg efter 7 dygn.

LA betyder låg alkalitet. Vid ogynnsamma förhållanden kan alkalikiselreaktioner mellan ballast och cementpasta leda till sprängverkan i betongen. I betongen kan då uppstå sprickbildningar eller kan betongen helt förstöras. Alkalihalten räknas fram med hjälp av formeln: $\text{Na}_2\text{O ekvivalent} = 0,66 \text{ K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$. För ett LA cement är kravet att ekvivalent $\text{Na}_2\text{O} \leq 0,6 \%$.

SR innebär att cementet uppfyller krav på sulfatresistens enligt SS 13 42 01. Sulfatangrepp är inte vanligt i Sverige, men större problem har förekommit utomlands (Rombén 1994). Angreppen gör att betongen sväller, vilket kan leda till sprickbildning och nedsatt hållfasthet. För SR cement gäller att halten $\text{C}_3\text{A} \leq 3,5 \%$.

3.3 Ballast

Ballast består av sand, grus och stenmaterial och utgör ungefär 70 volym % av en betong. Ballasten kan främst inverka på betongens egenskaper genom sin kornfördelning med vilken framförallt betongens vattenbehov, arbetbarhet och stabilitet kan påverkas.

Betongens vattenbehov är beroende av ballastens area, där större ballastarea kräver mer cementpasta. En ökning av kornstorleken leder till en minskning av vatten- och cementbehovet, vilket i sin tur minskar värmeutvecklingen och därmed risken för temperatursprickbildningar. Ett minskat cementbehov är även ur ekonomisk synvinkel fördelaktigt. Betong innehållande mindre kornstorlekar är dock ofta mer homogen och lättarbetad.

En kantig långsträckt kornform, liksom en råare yta på ballastkornen, ger större vattenbehov än runda korn. En övergång från naturgrus till krossmaterial medför alltså i regel ett ökat vattenbehov. Dock ger makadam vid för övrigt lika förhållanden normalt högre hållfasthet än singel (Johansson L, 1994).

3.4 Tillsatsmedel

Tillsatsmedel används för att påverka betongens egenskaper. Det är möjligt att förbättra eller förändra ett flertal egenskaper såsom beständighet och arbetbarhet med olika tillsatsmedel. Betongen kan då få mer produktionstekniska, ekonomiska och miljömässiga fördelar. Tillsatsmedel till betong är kemiska tillsatser i vattenlösningar som normalt används i små mängder och mäts i viktprocent av cementvikten.

De vanligaste grupperna av tillsatsmedel är:

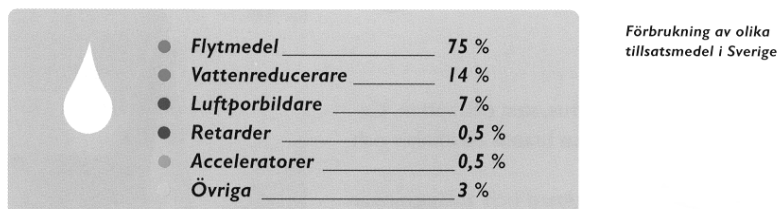
Vattenreducerande tillsatsmedel dispergerar cementkornen genom att fästa på dess yta och göra dem elektriskt laddade så att de stöter ifrån varandra. Därmed klumpar de inte ihop sig varvid vattnet kan flyta in mellan kornen så att pastan blir mer lättflytande. På så sätt minskar betongens vattenbehov och det blir möjligt att minska vct med bibehållen konsistens, alternativt göra konsistensen mer lättflytande vid bibehållen vattenhalt. De har ofta retarderande verkan och bör därför ej användas vintertid (Retelius, 1998).

Flyttillsatsmedel verkar på samma sätt som vattenreducerande tillsatsmedel, men är effektivare och har mindre retarderande verkan. Flyttillsatsmedel är det vanligaste förekommande tillsatsmedlet i Sverige, se figur 3.1.

Luftporbildande tillsatsmedel	bildar finfördelade luftporsystem i betongen och används för att göra betongen frostbeständig. Luftporerna fungerar som expansionskärl då porvattnet expanderar vid frysning. Porerna gör även betongen mer lättarbetad och smidig samt förbättrar betongens stabilitet.
Accelererande tillsatsmedel	påskyndar betongens tillstyvnad och/eller hållfasthetsutveckling. De ger även en snabbare värmeutveckling och används ofta vintertid.
Retarderande tillsatsmedel	fördröjer betongens tillstyvnande och tidpunkt då hållfasthetstillväxten påbörjas. De används t. ex. vid långa transportsträckor och sommartid.
Övriga tillsatsmedel	t.ex. expanderande tillsatsmedel, fryspunktsnedsättande tillsatsmedel och vattenavvisande tillsatsmedel för undervattensgjutning

De flesta tillsatsmedel har även andra effekter förutom den tilltänkta. Dessa effekter kan vara både positiva och negativa. Det är möjligt att kombinera olika tillsatsmedel för att uppnå optimal betongmassa. Förundersökningar bör då alltid göras för att säkerställa att oönskade effekter inte uppstår (Byfors, 1994).

■ De vanligaste tillsatsmedlen



Figur 3.1 Förbrukning av tillsatsmedel i Sverige (SACA).

Vattenreducerande och flyttillsatsmedel har delats upp i olika generationer beroende på vilka ämnen de baseras och när de kom ut på marknaden.

Första generationens tillsatsmedel är oftast baserade på lignosulfonat och tillhör de vattenreducerande tillsatsmedlen.

Andra generationens tillsatsmedel baseras på melamin- och naftalenformaldehydkondensat. De har kraftigare plasticerande och mindre retarderande verkan än första generationens tillsatsmedel och kallas för flyttillsatser. Eftersom öppethållandetiden (den tid under vilken önskad konsistens upprätthålls) är kort tillsätts dessa flyttillsatser ibland i roterbilen (Byfors 1994). Melaminbaserade tillsatsmedel är mindre retarderande och har kortare öppethållandetid än naftalenbaserade tillsatsmedel.

Tredje generationens tillsatsmedel kallas också för flyttillsatser. De är t.ex. baserade på polykarboxylater. Dessa har en ännu kraftfullare verkan än andra generationens tillsatsmedel och är framförallt utvecklade för självkompakterande betong, men används även till konventionell betong. De kan användas i lägre doseringar och är mer retarderande än t.ex. melaminbaserade tillsatsmedel.

Erforderlig lufthalt bestäms genom frysprovning. BBK 94 ger riktvärden för att uppnå tillfredställande frostbeständighet i en betong. I konstruktioner som utsätts för en mycket betongaggressivmiljö (klass B4) bör t.ex. lufthalten vara minst 6 % vid största stenstorlek på 16 mm. Betong har efter en normal blandning ungefär 2 % lufthalt varför luftporbildande tillsatsmedel då måste tillsättas. En höjning av lufthalten med 1 % anses ungefär motsvara en höjning av vattenhalten med 5 l/m³.

4 Arbetbarhet

4.1 Allmänt

Egenskaperna hos den färska betongen bestäms av förhållandet mellan cementpasta och ballast samt av de inbördes proportionerna i cementpastan och ballasten. Vid proportionering av betong måste hänsyn tas till ett flertal faktorer. För den färska betongen är de två viktigaste egenskaperna arbetbarhet och stabilitet (Burström, 1993). Andra viktiga faktorer är hållfasthet, frostbeständighet, täthet och utseende.

Det finns många definitioner på arbetbarhet. En definition är: ”Gjutbarheten eller arbetbarheten är ett mått på den arbetsinsats – maskinell eller manuell – som behövs för att överföra den färska, ogjutna betongmassan till en byggnadskomponent av önskad kvalitet.” (Fagerlund, 1990)

God arbetbarhet ger en snabbare gjutning där mindre arbete måste tillsättas för att bearbeta betongen, vilket leder till mindre påfrestningar för betongarbetaren. Vid dålig arbetbarhet kan sänkt hållfasthet och skadade ytor, där efterlagningar måste göras, bli följden. Alltför god arbetbarhet kan däremot leda till en inhomogen betong med bruks och stenseparation som följd. Vad som är lämplig arbetbarhet beror på vad som skall tillverkas och på vilket sätt betongen skall komprimeras. Vid fabriksstillverkning av betongvaror, där kraftiga vibratorer kan användas, är lämplig arbetbarhet inte samma som för en platsgjuten tätt armerad konstruktion.

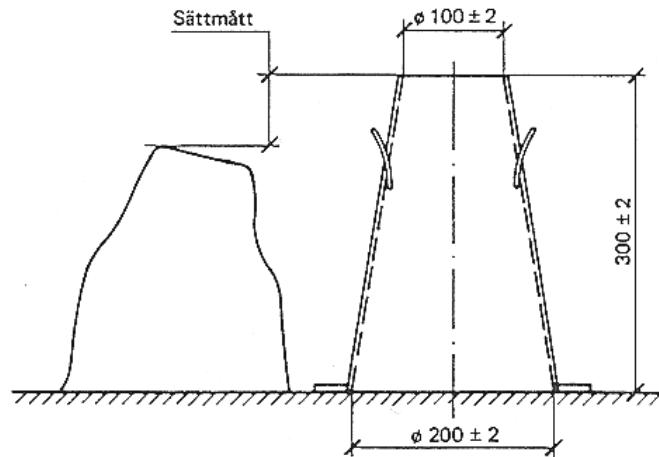
Följande faktorer har betydelse för betongmassans arbetbarhet: vattenhalt, cementhalt, ballastgradering, finmaterialhalt i ballast, ballastens kornform, tillsatsmaterial och tillsatsmedel (Johansson et al 1994).

Någon bra metod för att mäta arbetbarhet finns inte eftersom arbetbarhet till stor del är en subjektiv egenskap som dessutom måste kopplas till de produkter som tillverkas. Därför mäts den med alternativa s.k. ”ställföreträdande” metoder.

4.2 Konsistens

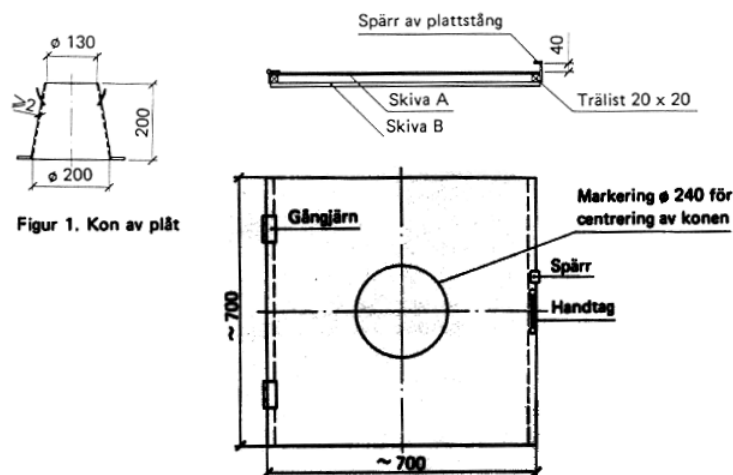
Som ersättning för en mätning av arbetbarhet väljs oftast att mäta betongens konsistens. Begreppet konsistens är närbesläktat men inte likvärdigt med arbetbarhet. Vid en och samma konsistens hos två olika betongtyper, t.ex. samma sättmått, kan arbetbarheten vara helt olika. Med konsistensmätare kan man se förändringar i konsistensen för en och samma betongtyp. Dessa konsistensförändringar indikerar förändringar i arbetbarhet. Det finns ett antal olika konsistensmätare.

En mycket enkel metod som är vanlig både i Sverige och utomlands är sättmättet. En plåtkon som är öppen i båda ändar fylls och packas med betong enligt standardiserad metod. Därefter lyfts konen upp och sättmättet mäts som nedsjunkningen i betongmassan, enligt figur 4.1.



Figur 4.1 Sättmått (SS 13 71 21).

Utbredningsmättet mäter diametern hos en omformad kon av betong. Konen placeras på ett fallbord (se figur 4.2) och betongen packas i konen enligt standardiserad metod. Därefter lyfts konen bort och ena änden av fallbordet lyfts 40 mm och släpps 15 gånger, varpå utbredningsmättet mäts som diametern hos den omformade betongmassan.



Figur 4.2 Kon och fallbord för utbredningsmått (SS 13 71 23)

Varken sättmåttet eller utbredningsmättet ger riktigt bra värden på arbetbarhet. Betongmassor med höga sättmått och stora utbredningsmått kan ha dålig arbetbarhet.

Omformningsmätaren (SS 13 71 30) mäter det antal slag som erfordras för att med ett slags fallbord omforma en sättkon av färsk betong så att den sjunker 34 mm. Omformningen försvåras genom att betongen måste rinna ut runt en inre plåt-cylinder. Metoden anses bra för att bedöma en betongmassas arbetbarhet och används när omformningstalen är mellan 10 och 150 och när sättmåttet är mellan 20 mm och 150 mm.

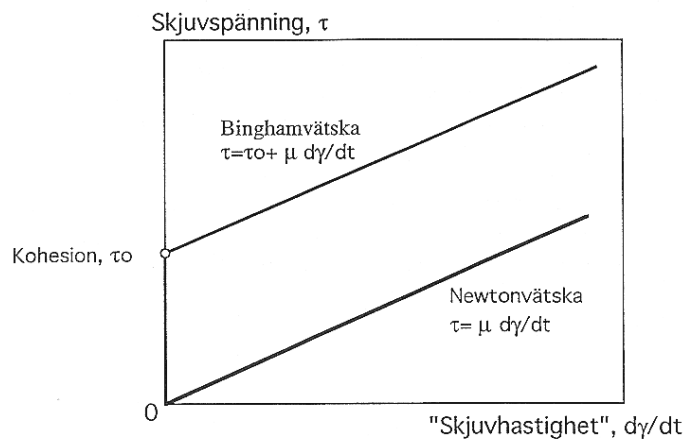
Vebe-mätaren (SS 13 71 22) används till styv betong och uttrycker hur lång tid det tar att omforma en sättkon till en cylinder med vibrering enligt standardiserad metod.

För självkompakterande betong används oftast flytsättnmättet, vid vilket en sättnmättskon placeras på en horisontell skiva och fylls med betong. Därefter lyfts konen och betongen flyter ut. Den tid det tar för betongen att få en utbredning av diametern 500 mm, t_{500} mäts. När betongen har slutat att flyta, mäts diametern av den totala utbredningen, flytsättnmättet.

4.3 Reologi

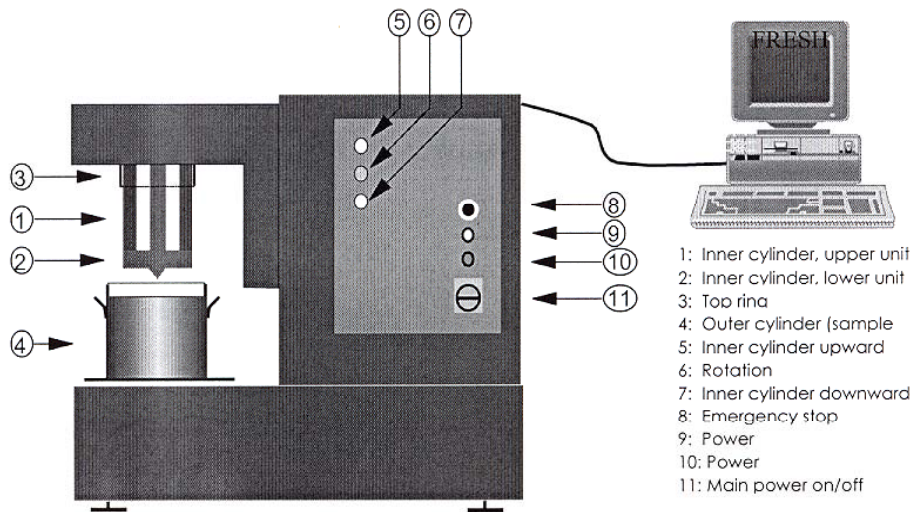
Reologi är läran om materiens deformations- och flytegenskaper. Betong är reologiskt sett en Binghamvätska d.v.s. att den har både en inre kohesion och en viskositet till skillnad från en Newtonvätska (t.ex. vatten) som inte har någon inre kohesion utan endast en viskositet. Den inre kohesionen vill motverka att en rörelse uppstår i betongmassan och är därför ett mått på hur mycket energi som måste tillsättas för att starta en rörelse i massan. Viskositeten beskriver motståndet mot en ökad rörelsehastighet i betongen, vilket även uttrycks som hur lätt ett material flyter när väl rörelse har startat i det. Viskositeten mäts ej direkt, utan beräknas ur förhållandet mellan skjuvspänning och skjuvhastighet i massan. För ovan nämnda vätsketyper är detta förhållande linjärt.

Höga inre kohesionsvärden gör betongen mer svårkomprimerbar. Låga viskositetsvärden innebär att betongen blir mer lättflytande (Fagerlund 2000).



Figur 4.3 Reologiska egenskaper hos en Bingham respektive en Newtonvätska, μ =viskositeten [Ns/m^2] och τ_0 =inre kohesion [N/m^2], (Fagerlund, 2000).

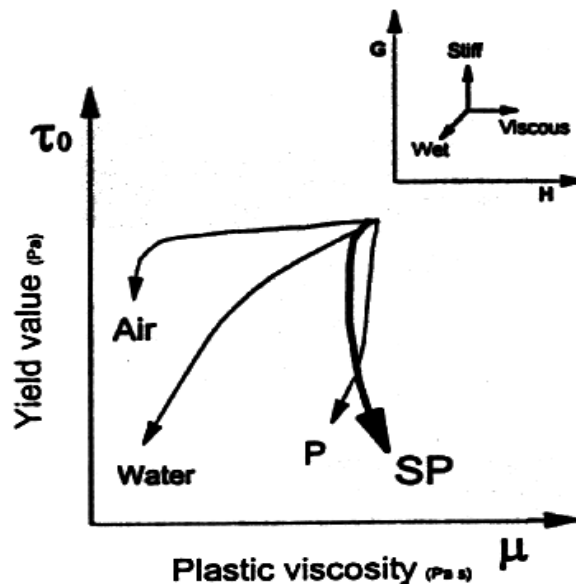
Ett exempel på en utrustning som mäter både kohesion och viskositet är BML-viskosimetern.



Figur 4.4 Schematisk bild av BML-viskosimetern där 1 är den inre cylindern och 4 är den yttre cylindern i vilken betongen finns (IBRI-Wallewik, 1999).

BML-viskosimetern består av två koaxiala cylindrar, där betongmassan placeras i den yttre cylindern (behållaren). Under testet sänks den inre cylindern ner i den roterande yttre cylindern och vridmomentet mäts på den inre cylindern vid olika rotationshastigheter med början på högsta hastighet. Hela försöksförfarandet styrs av ett datorprogram och mätvärdena visas fortlöpande på datorskärmen.

Vid tillsättning av luft, vatten och flyttillsatsmedel ändras betongmassans egenskaper, se figur 4.5. Tillsättning av luft gör att betongmassans viskositet minskar, den blir mer lättflytande. Vid tillsättning av vattenreducerande tillsatsmedel och flyttillsatsmedel minskar den inre kohesionen vilket innebär att det blir lättare att sätta betongmassan i rörelse. En ökning av vattenhalten medför att både viskositet och inre kohesion minskar.



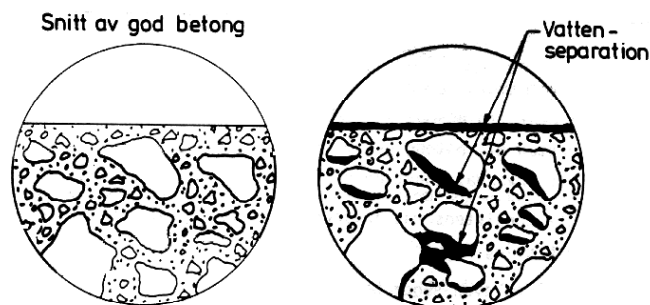
Figur 4.5 Beskrivning av hur en ändring av mängden luft (Air), vatten (Water), vattenreducerande tillsatsmedel (P) och flyttillsatsmedel (SP) påverkar betongens egenskaper. Ovan till höger finns en beskrivning av begreppen "lös" (wet) "styv" (stiff) och "seg" (viscous) i reologiska termer. (IBRI-Wallewik, 1999).

4.4 Stabilitet

I betong ingår material med olika densitet. De tyngre materialen strävar efter att sjunka ner och de lättare vill flyta upp. Stabilitet är ett uttryck för betongens förmåga att hålla samman och inte separera. Separation uppkommer vid transport, gjutning och bearbetning och leder till en inhomogen betong med försämrade egenskaper hos framförallt den övre delen av betongkonstruktionen. Följden kan bli lägre hållfasthet, större krympning och mindre nötningsmotstånd. För att erhålla stabil betong krävs framförallt god ballastsammansättning med lämpliga mängder av varierande kornstorlekar (Svenska Cementföreningen, 1972).

Man skiljer på tre olika sorters separation:

Vattenseparation uppstår när det finns för lite finmaterial i förhållande till blandningsvatten. Den leder till att vatten avskiljs från cementpastan. Det avskiljda vattnet samlas sedan i ytan, under större ballastkorn och under armering.



Figur 4.6 Snitt av god betong respektive betong med vattenseparation (Burstrom, 1993)

Stenseparation orsakas av skillnader i densitet mellan grov ballast och cementbruk. De tyngre ballastkornen sjunker och koncentreras i botten av betongmassan, vilket får till följd att finpartiklar samlas i ytskiktet. Risk för stenseparation är störst när det finns mycket stenmaterial och när betongen under gjutning får falla fritt från stor höjd (Herzell, 1996).

Bruksseparation innebär att ett skikt av bruk bildas i ytan, samtidigt som stenpartiklar sjunker.



Figur 4.7 Exempel på sten och bruksseparation (Herzell, 1996)

4.5 Tillstyvnadstid

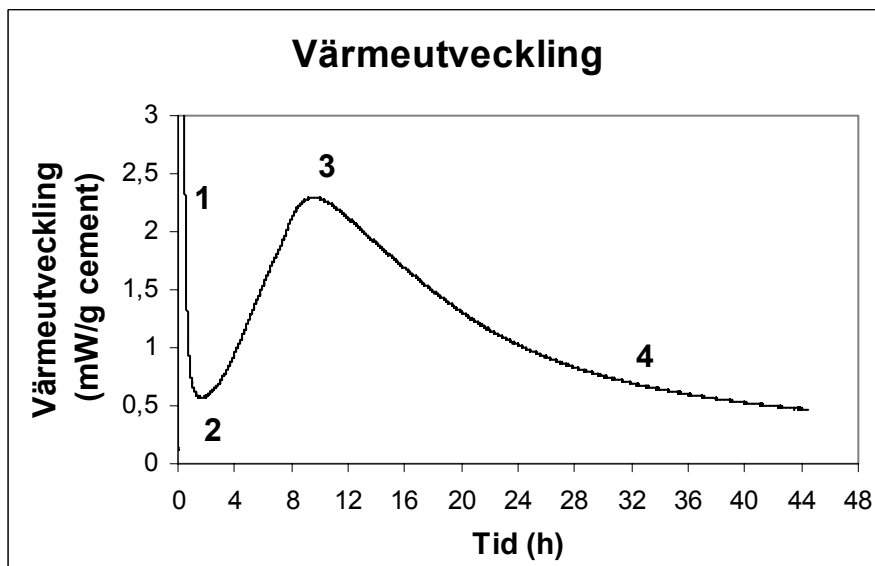
När huvudreaktionerna startar, styvnar betongmassan snabbt och förlorar sin rörlighet. Betongmassan övergår nu till att bli en fast kropp som inte längre är bearbetbar.

Mätningar av tillstyvnadstid görs vanligen med en inträngningsmotståndsmätare s.k. Proctorprov. Betongen siktas först från ballastkorn större än 8 mm. Därefter trycks en stämpel ner 25 mm i bruket under 10 sekunders tid vid upprepade tillfällen. Tillstyvnadstiden uppnås då inträngningsmotståndet för stämpeln uppgår till 3,5 MPa. Vid ett inträngningsmotstånd på 0,5 MPa anses betongen inte längre vara vibrerbar (Fagerlund, 2000).

5 Värmeutveckling

5.1 Allmänt

När cement reagerar med vatten utvecklas värme. Den första värmepipen (1), se figur 5.1, inträffar redan under de första minuterna och förorsakas av tidiga reaktioner mellan aluminat, gips och vatten. Därefter avtar reaktionerna snabbt och cementet hamnar i en viloperiod (2). Efter viloperioden börjar cementets huvudkomponenter, kalciumsilikaterna, reagera med vattnet, cementet binder och får en hållfasthetstillväxt. Då skjuter värmeutvecklingen fart igen. Den når normalt sitt maximum (3) efter 10-20 timmar och avtar sedan exponentiellt (4), men fortgår så länge cementet reagerar. Den utvecklade värmen är ett tecken på hållfasthetstillväxt i betongen. Med kalorimeterförsök är det möjligt att följa värmeutvecklingen i en provkropp. Det kan t.ex. utläsas när värmeutvecklingen startar, hur snabbt den tilltar och hur stor den är. En tidig och stor värmeutveckling efter viloperioden tyder på en snabb hållfasthetstillväxt.



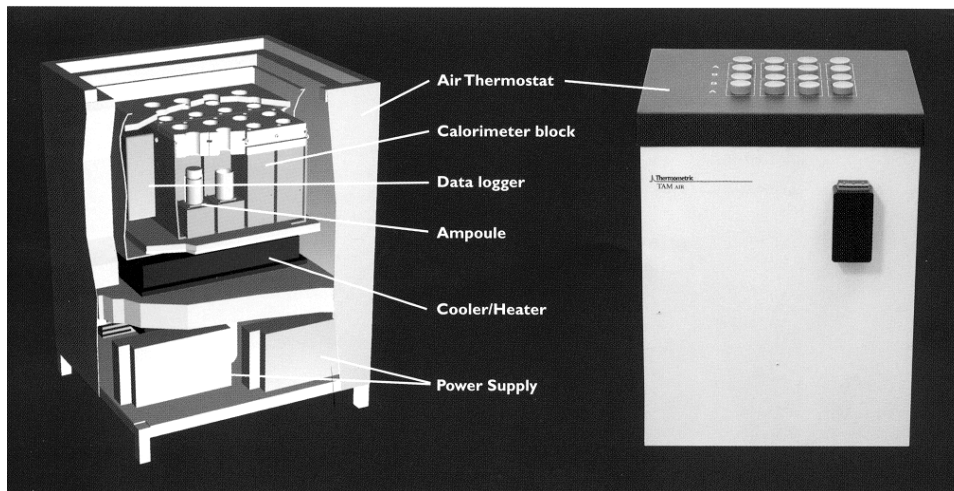
Figur 5.1 Exempel på värmeutvecklingskurva

5.2 Beskrivning

För att mäta värmeutveckling i cementblandningar användes en isoterm värmeledningskalorimeter, TAM Air (Thermometric AB, Järfälla). I en isoterm kalorimeter leds värmen bort från provkroppen ner till en värmesänka (heat sink) där konstant temperatur råder. Även provkroppens temperatur blir då i stort sett konstant.

I TAM Air kalorimetern kan samtidigt åtta prover utföras och till varje prov finns ett referensprov kopplat för att eliminera inverkan av störningar. Eventuella störningar registreras även i referensprovet och värdet av störningen dras automatisk ifrån provkroppens resultat.

Behållaren med provet placeras i kalorimetern på en termoelementplatta. Värmen som utvecklas i provet leds genom termoelementplattan till den omgivande värmesänkan och registreras av en värmeflödesgivare i form av en spänning.



Figur 5.2 TAM Air Kalorimetern (Thermometric AB)

Kalorimetern är kopplad till en dator som med programmet PicoLog for Windows registrerar mätvärdena och samtidigt visar dem grafiskt på bildskärmen. De av datorn registrerade spänningsvärdena överförs sedan från PicoLog for Windows till ett datorprogram där de kan bearbetas, t ex Excel eller Matlab. Vid bearbetningen kan mätvärdena räknas om från volt till watt per gram cement, enligt formeln:

$$P = \varepsilon (U_{\text{avläst}} - U_{\text{bas}}) / m_c$$

Där ε är kalibreringskoefficienten, U_{bas} är uppmätt värde då inget prov befinner sig i kalorimetern ("nollvärde") och m_c är cementmassan.

Värmeutvecklingen i cementblandningen registreras inte momentant. Det finns en liten fördröjning mellan det att värme utvecklas i cementpastan till dess att den registreras av kalorimetern. Den s.k. Tians ekvation kan korrigera för detta. I detta examensarbete har det dock inte varit nödvändigt att utföra dessa korrekationer.

6 Studier av arbetbarhet i betong

6.1 Inledning

Syftet med betongförsöken var att undersöka hur utgångskonsistensen i en betongmassa och konsistensförändringen med tiden ändras vid ändrad mängd vatten respektive ändrad dosering tillsatsmedel. Undersökningar på den färska betongmassan utfördes både med hjälp av konsistens och reologiska mätningar. För att få tillgång till reologisk mätutrustning utfördes försöken i Scancem Researchs laboratorium i Slite.

Som konsistensmätare användes sättmått och utbredningsmått. Dessa utvaldes dels p.g.a. att de är lätta att använda och dels p.g.a. att deras användningsområde stämmer överens med konsistensen för de betongmassor som skulle undersökas i detta examensarbete. Vid mätning av reologiska egenskaper användes en BML-viskosimeter, WO-3, se avsnitt 4.1.2.

För att minska antalet variabler i försöken valdes att alla försök skulle göras med ett och samma vct, 0,40. Anledningen till att just detta vct valdes är att det är vanligt förekommande i anläggningskonstruktioner (Ryberg, 2001). Samtidigt bör betongkonstruktioner med anläggningscement enligt BBK 94 högst ha vct 0,40 med avseende på korrosion i extremt armeringsaggressiv miljö (klass A4). De enda parametrarna som ändrades under försöken var förhållandet cementpasta/ballast och doseringen av tillsatsmedel.

6.2 Försöksprogram

Ett försöksprogram togs fram (se tabell 6.1) där mindre serier om tre försök med samma vattenhalt, men olika doseringar av tillsatsmedel skulle undersökas. För vart och ett av de tre tillsatsmedlen skulle tre småserier göras. Utöver detta skulle även en referensserie utan tillsatsmedel undersökas.

Tabell 6.1 Programstruktur för försöksserie. Varje x är en betongsats. $V_{ct}=0,40$ i samtliga betongsatser.

Tillsatsmedel	Dosering	Vattenhalt			Cementpastahalt		
		1	2	3	1	2	3
1:a generationen	1	x	x	x	x	x	x
	2	x	x	x	x	x	x
	3	x	x	x	x	x	x
2:a generationen	1	x	x	x	x	x	x
	2	x	x	x	x	x	x
	3	x	x	x	x	x	x
3:e generationen	1	x	x	x	x	x	x
	2	x	x	x	x	x	x
	3	x	x	x	x	x	x
Utän tillsatsmedel	-	x	x	x	x	x	x

$$\text{Cementpastahalt (exklusive luftporer)} = (0,32 \cdot C \text{ [kg/m}^3\text{]} + W \text{ [l/m}^3\text{]}) / 10 \text{ [\%]}$$

För att bestämma ingångsparametrar till försöksprogrammet gjordes förförsök vid Avdelningen Byggnadsmaterial, LTH. Målet med förförsöken var att i de tre betongsatserna i varje liten försöksserie skulle utgångskonsistensen ungefär motsvara sättmåtten 100, 150 respektive 200 mm. Resultat från förförsöken visas i appendix B.

För att serien utan tillsatsmedel skulle få rimliga mängder cement och vatten beslutades att grus-/stenförhållandet i ballasten skulle vara 40 % respektive 60 % i dessa blandningar eftersom konsistensen då blir något lösare. För övriga blandningar skulle grus-/stenförhållandet vara 50/50.

Vid huvudförsöken i Slite visade det sig att konsistensmåttan inte blev samma som de uppmätta vid förförsöken i Lund, utan betongsatserna blev avsevärt lösare. Detta beror troligtvis främst på att den i Lund använda frifallsblandaren inte lyckades blanda betongmassan lika väl som den i Slite använda tvångsblandaren. Även skillnaden i ballastgraderingen mellan Lund och Slite kan ha haft en viss inverkan. I och med detta kunde samma grus-/stenförhållande användas i betongsatserna utan tillsatsmedel som i övriga betongsatser. Eftersom försöksserien i Slite inleddes med betongförsök utan tillsatsmedel hann betongsatser med ballastförhållandet 40/60 blandas. Resultaten från dessa finns redovisade tillsammans med övriga resultat.

6.3 Delmaterial

6.3.1 Cement

I alla försök användes portlandcementet Anläggningcement tillverkat i Cementas fabrik i Degerhamn. Cementets beteckning är CEM I 42,5 BV/SR/LA. För kemisk analys på det i försöken använda cementet, se appendix A.

6.3.2 Ballast

Vid försöken i Slite användes ballast från Scancem Research. Ballasten hade samma siktkurva som den som används vid fortlöpande betongprovning av konventionell betong med anläggningscement vid Scancem Research (se appendix A).

6.3.3 Tillsatsmedel

Tre olika sorters tillsatsmedel, samtliga från Cementa, användes. De tre tillsatsmedlen är från var och en av de s.k. första, andra och tredje generationens tillsatsmedel. Från första generationen användes ett vattenreducerande tillsatsmedel, Cementa P40 som är lignosulfonatbaserat. Den andra generationen representerades av flyttillsatsmedel Cementa Flyt 92 M som är baserat på sulfonerad melaminpolykondensat och från den tredje generationen användes flyttillsatsmedel Cementa SR 20 som är baserad på polykarboxylateter (för vidare information appendix A).

6.4 Provningsförfarande vid huvudförsök i Slite

Vid blandningen vägdes de olika delmaterialen upp enligt framräknade recept. Därefter hölls ballast och cement ner i en betongblandare, Eirich 40 liter av typen tvångsblandare, och det torra materialet blandades i 15 sekunder innan vatten med eventuellt tillsatsmedel tillsattes. Betongsatsen blandades sedan i ytterligare 3 minuter.



Figur 6.1 Blandare Eirich 40 L.

Efter avslutad blandning mättes betongsatsens temperatur och därefter gjordes följande mätningar (se även appendix D):

Sättmått: Sättmått utfördes efter 5, 15, 30 och 60 minuter. Det togs på ett fallbord för utbredningsmått och utfördes enligt SS 13 71 21.



Figur 6.2 Sättkon.

Utbredningsmått: Utbredningsmått mättes efter 6, 16, 31 och 61 minuter. Det utfördes direkt efter sättmättet hade bokförts. Samma kon användes således. Fallbordet fick falla 20 gånger varefter utbredningen mättes i två vinkelräta riktningar, där medelvärdet utgjorde utbredningsmättet.



Figur 6.3 Utbredningsmått på fallbord.

Reologiska egenskaper mättes med en BML-viskosimeter, WO-3. Viskosimeterns yttre cylinder (kär) fylldes med betong och testerna startades efter 15, 35 och 65 minuter och varade i knappt 2 minuter. Eftersom BML-viskosimetern har ett begränsat arbetsområde och inte ger tillförlitliga mätvärden för betongmassor med tröga konsistenser utfördes inte tester vid samtliga mättillfällen.



Figur 6.4 Yttre och inre cylinder på BML-viskosimeter WO-3.

Mellan försöken återfördes betongmassan i blandaren och blandarlocket stängdes för att förhindra avdunstning. Omedelbart före samtliga försök, utom de som gjordes vid 10 minuter, blandades betongmassan i 15 sekunder.

Inträngningsmotståndsmätningar, enligt SS 13 71 26, utfördes när alla övriga mätningar var färdiga. Av tidsskäl kunde inträngningsmotståndsmätningar inte utföras på alla betongsatser.



Figur 6.5 Inträngningsmotståndsmätare Dial Push-Pull Gauge Model DPPH 100 kg.

6.5 Resultatsammanställning

Resultatsammanställning från mätningarna visas i tabellform i appendix D. Samtliga försök har genomförts hos Scancem Research i Slite.

De mått som har tagits är sättmått, utbredningsmått, inre kohesion, viskositet och inträngningsmotstånd. För beskrivning av arbetsutförande hänvisas till kapitel 6.4.

Vid samtliga försök var vct 0,40 vilket innebär att en ändring av vattenhalt även innebar en ändring av mängden cement. Storleken på varje betongsats var 30 liter. Tabell 6.2 visar en sammanställning över de gjutningar som utfördes vid huvudförsöken i Slite. (Utförliga recept finns i appendix C)

Tabell 6.2 Utförda betongprover vid huvudförsök i Slite.

Cement (kg/m ³)	Vatten (l/m ³)	vct	Grus/Sten	P 40 (%)*	92 M (%)*	SR 20 (%)*
525	210	0,40	40/60			
537,5	215	0,40	40/60			
550	220	0,40	40/60			
475	190	0,40	50/50			
450	180	0,40	50/50			
475	190	0,40	50/50	0,3		
475	190	0,40	50/50	0,15		
475	190	0,40	50/50	0,075		
450	180	0,40	50/50	0,7		
450	180	0,40	50/50	0,5		
450	180	0,40	50/50	0,3		
425	170	0,40	50/50	1,1		
425	170	0,40	50/50	0,9		
425	170	0,40	50/50	0,7		
450	180	0,40	50/50		0,4	
450	180	0,40	50/50		0,2	
450	180	0,40	50/50		0,1	
425	170	0,40	50/50		1,0	
425	170	0,40	50/50		0,8	
425	170	0,40	50/50		0,6	
400	160	0,40	50/50		1,4	
400	160	0,40	50/50		1,3	
400	160	0,40	50/50		1,2	
450	180	0,40	50/50			0,4
450	180	0,40	50/50			0,2
425	170	0,40	50/50			0,4
425	170	0,40	50/50			0,3
425	170	0,40	50/50			0,2
400	160	0,40	50/50			0,8
400	160	0,40	50/50			0,6
400	160	0,40	50/50			0,4

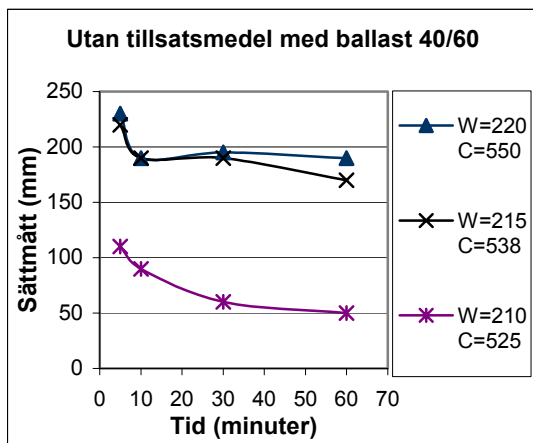
* Doseringen tillsatsmedel mäts i vikt % av torrsviktshalten cement

6.5.1 Sättmått och utbredningsmått

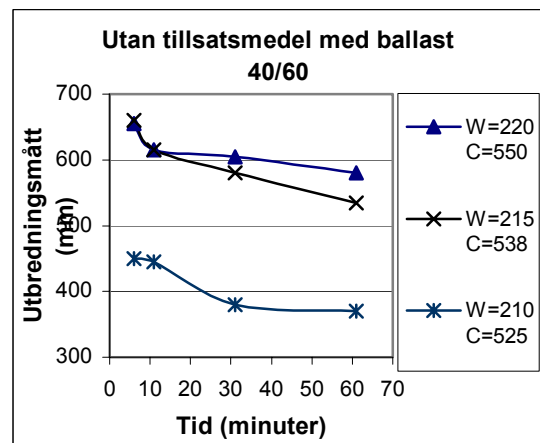
Resultaten för sättmått och utbredningsmått redovisas i diagramform, där W är liter vatten per m³ betong och C är kg cement per m³ betong.

Betongsatser utan tillsatsmedel

Figur 6.6 och 6.7 visar resultaten för betongsatserna där ballastförhållandet mellan grus och sten var 40/60. Mätvärdena visar att vid en stor mängd vatten blir konsistensförlusterna små. Betongsatsen där W=210 och C=525 uppvisar en relativt styv konsistens.



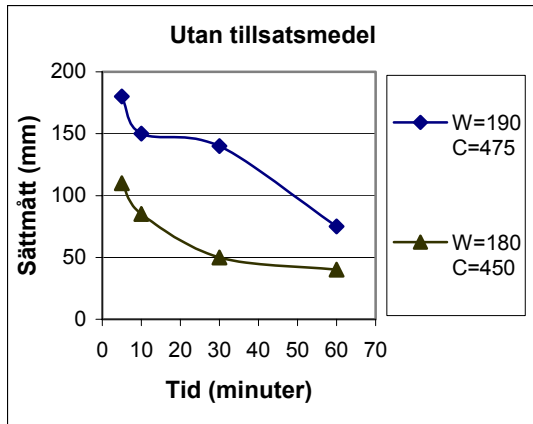
Figur 6.6 Sättmått för betongsatser utan tillsatsmedel med 40 % grus och 60 % sten i ballasten.



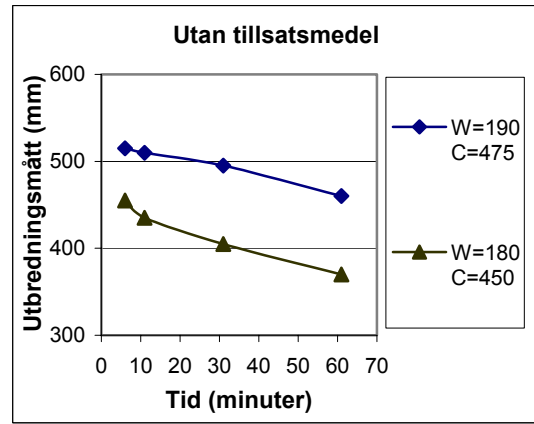
Figur 6.7 Utbredningsmått för betongsatser utan tillsatsmedel med 40 % grus och 60 % sten i ballasten.

Vid försök med betongsatser utan tillsatsmedel där grus- stenförhållandet var 50/50, se figur 6.8 och 6.9, gjordes blandningar med W=190 och C=475 respektive W=180 och C=450. Mätresultaten visar att vid en vattenhaltshöjning av 10 liter höjs utgångskonsistensen avsevärt och denna konsistenshöjning märks tydlig även efter 60 minuter. Dessa två blandningar finns även redovisade nedan i diagrammen för betongsatser med tillsatsmedel.

Försöken utan tillsatsmedel visar att små förändringar i vattenhalt (10 liter/m³) får stor effekt såväl på utgångskonsistensen som på tillstyvnadsförloppet. Försöken visar således att alltför stor vattenreduktion kan medföra problem med arbetbarheten.



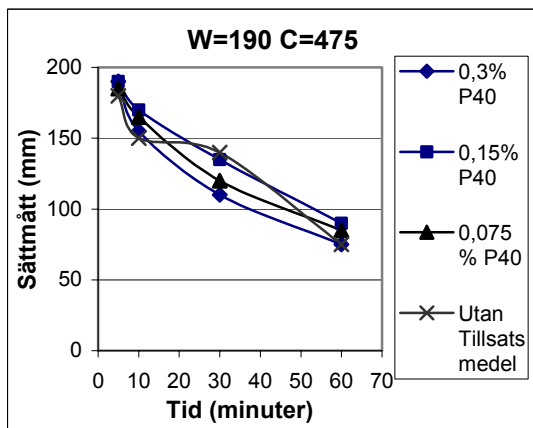
Figur 6.8 Sättningsmått för betongsatser utan tillsatsmedel med 50 % grus och 50 % sten.



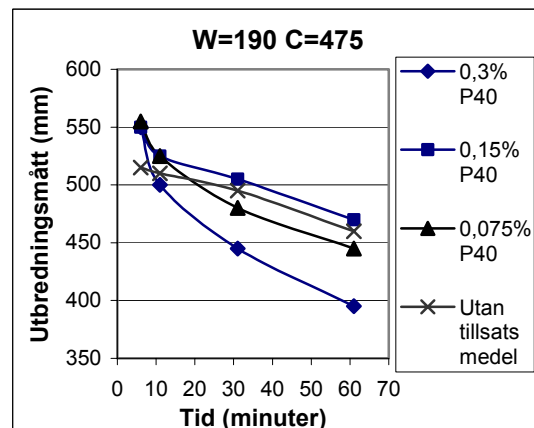
Figur 6.9 Utbredningsmått för betongsatser utan tillsatsmedel med 50 % grus och 50 % sten.

Betongsatser med tillsatsmedel Cementa P40 (lignosulfonatbaserat)

Mätvärdena från serien med W=190, C=475 och tillsatsmedel P40 redovisas i figur 6.10 och 6.11. Sättningsmåttet är ungefär detsamma oberoende av dosering tillsatsmedel. Variationen i dosering var 0-0,3 % d.v.s. tämligen liten, vilket var nödvändigt för inte konsistensen skulle bli alltför lös. Även utbredningsmåttet utvecklas ungefär på samma sätt, oberoende av mängd tillsatsmedel. Det är dock noterbart att de lägsta doseringarna av tillsatsmedel (0-0,15 %) ger de minsta tillstyvnadstendenserna.

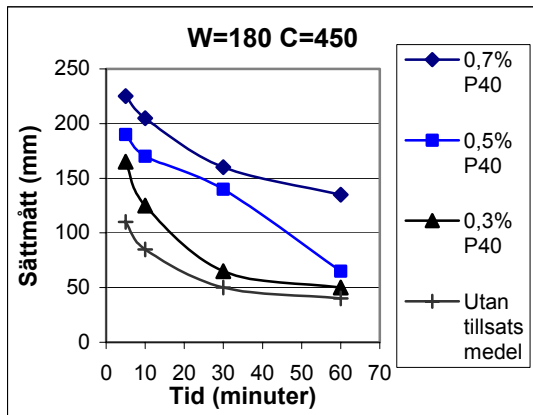


Figur 6.10 Sättningsmått för betongsatser med 190 liter vatten och tillsatsmedel P40.

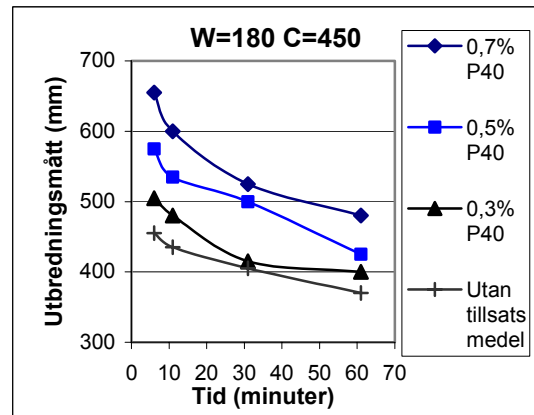


Figur 6.11 Utbredningsmått för betongsatser med 190 liter vatten och tillsatsmedel P40.

För blandningar med $W=180$ och $C=450$ kan ur diagrammen utläsas att en måttlig dosering av tillsatsmedel P40 får till följd att utgångskonsistensen blir avsevärt lösare. För att få en tydlig skillnad även efter 60 minuter behövs en relativt kraftig dosering.

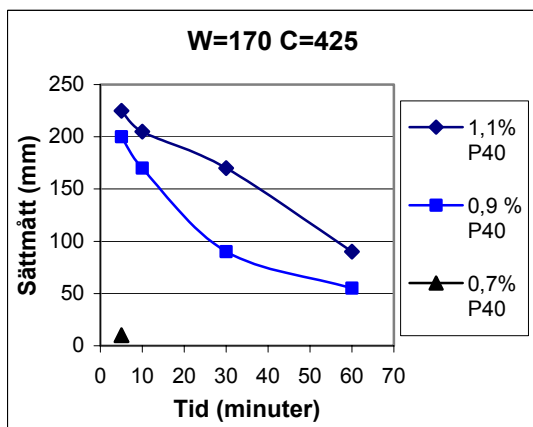


Figur 6.12 Sättningsmått för betongsatser med 180 liter vatten och tillsatsmedel P40.

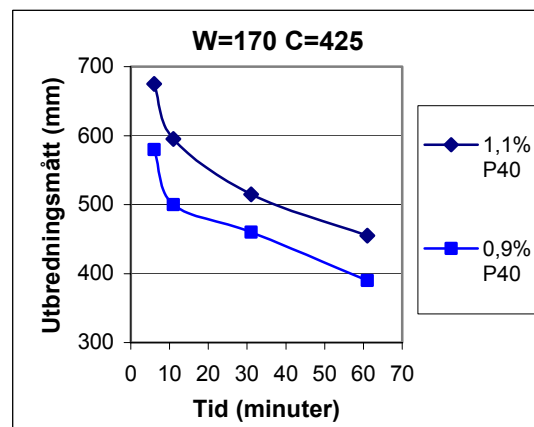


Figur 6.13 Utbredningsmått för betongsatser med 180 liter vatten och tillsatsmedel P40.

Vid en lägre halt blandningsvatten, $W=170$ ($C=425$), måste en kraftig dosering tillsättas för att upprätthålla konsistensen i en hel timme. En tillsättning av höga doseringar av lignosulfonatbaserade tillsatsmedel får till följd att betongsatsen blir kraftigt retarderad, se nedan under tillstyvnadstid. Provet med 0,7 % P40 fick mycket styv konsistens redan vid blandningen. Orsaken är okänd, men det kan bero på att betongen sammansattes felaktigt.



Figur 6.14 Sättningsmått för betongsatser med 170 liter vatten och tillsatsmedel P40.

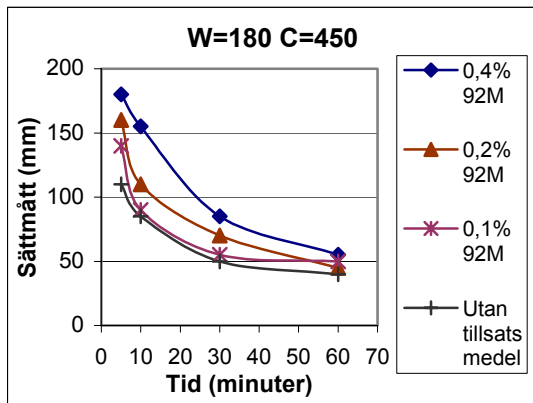


Figur 6.15 Utbredningsmått för betongsatser med 170 liter vatten och tillsatsmedel P40.

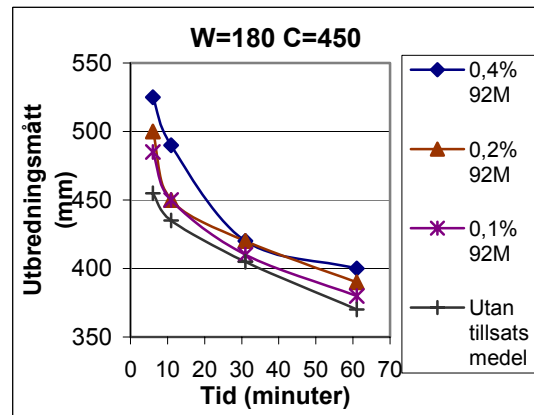
Betongsatser med tillsatsmedel Cementa Flyt 92 M (melaminbaserat)

Flyttillsatsmedel Flyt 92 M tappar enligt resultaten i dessa försök sin konsistenshöjande effekt snabbt. Redan 30 minuter efter blandning är större delen av tillsatsmedlets effekt borta och efter 60 minuter är den nästan helt försvunnen. Detta gäller samtliga betongsatser oavsett vattenhalt.

Blandningar med $W=180$ och $C=450$ uppvisar väldigt snabba konsistensförluster under de första 30 minuterna. Dock bör observeras att ingen blandning gjordes med en utgångskonsistens motsvarande sättmått över 200 mm. Sådana blandningar har med övriga tillsatsmedel tenderat att uppehålla konsistensen bättre.

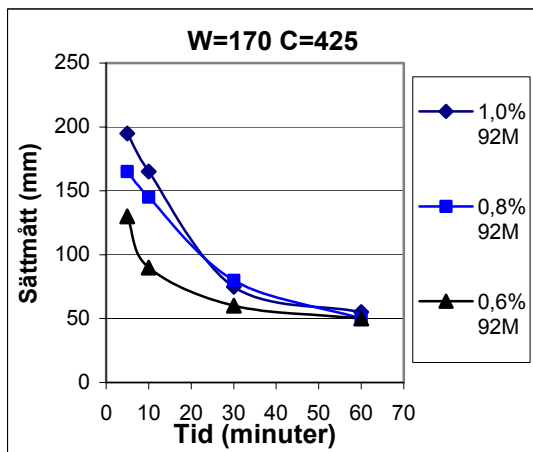


Figur 6.16 Sättmått för betongsatser med 180 liter vatten och tillsatsmedel 92 M.

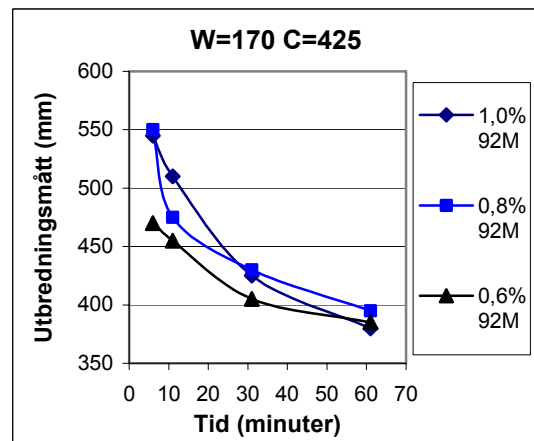


Figur 6.17 Utbredningsmått för betongsatser med 180 liter vatten och tillsatsmedel 92 M.

Även betongsatser med mindre mängd blandningsvatten, $W=170$ ($C=425$), förlorar sin utgångskonsistens mycket fort.

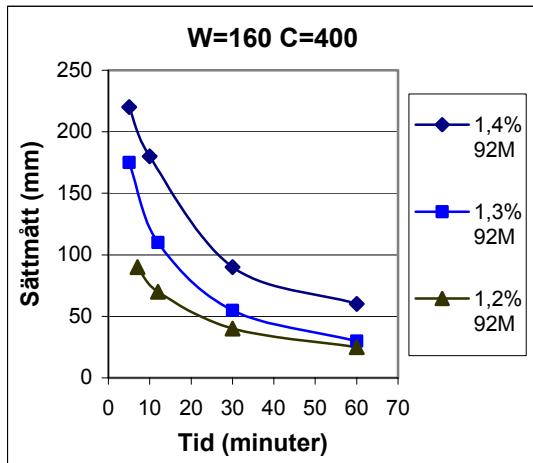


Figur 6.18 Sättmått för betongsatser med 170 liter vatten och tillsatsmedel 92 M.

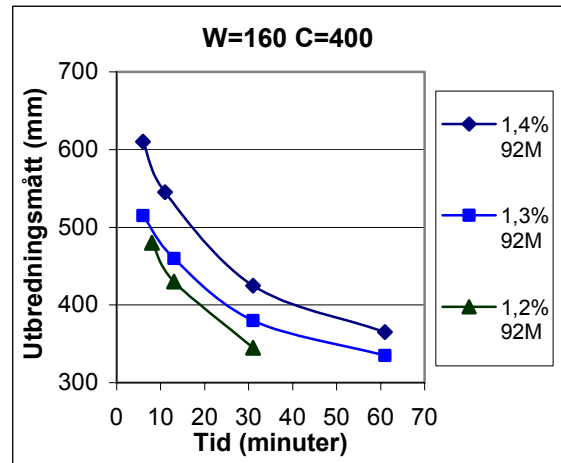


Figur 6.19 Utbredningsmått för betongsatser med 170 liter vatten och tillsatsmedel 92 M.

Vid en ännu lägre mängd blandningsvatten, $W=160$ ($C=400$), blir konsistensändringen mellan betongsatserna stor även vid små variationer av tillsatsmedel. En intressant iakttagelse är att vid en hög utgångskonsistens (1,4 % 92 M), så behåller betongsatsen sin konsistens längre och en skillnad märks mot de övriga blandningarna även efter 60 minuter. Dock fanns vissa tendenser till stenseparation i denna blandning.



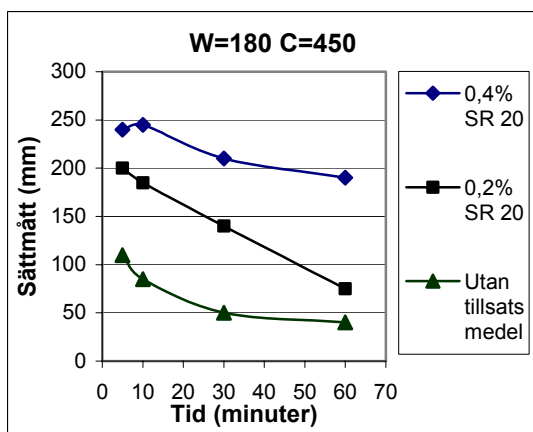
Figur 6.20 Sättmått för betongsatser med 160 liter vatten och tillsatsmedel 92 M.



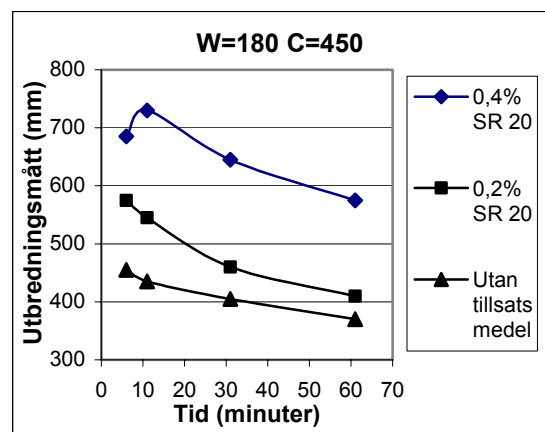
Figur 6.21 Utbredningsmått för betongsatser med 160 liter vatten och tillsatsmedel 92 M.

Betongsatser med tillsatsmedel SR 20 (polykarboxylateterbaserat)

Flyttillsatsmedel SR 20 har en mycket kraftig verkan på konsistensen och ger redan vid små doseringar en tydlig effekt på utgångskonsistensen. Vid blandningar med $W=180$ och $C=450$ får en hög dosering tillsatsmedel till följd att konsistensförlusterna är små även efter 60 minuter. Konsistensen fortsätter då att bli lösare ett tag efter blandning. En lägre dosering tillsatsmedel gör emellertid att betongsatsen uppvisar snabbare konsistensförluster.

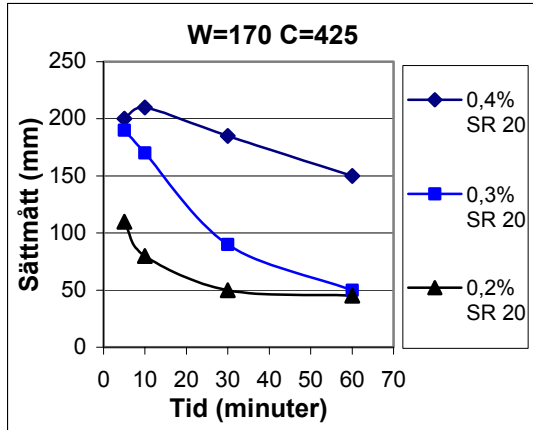


Figur 6.22 Sättmått för betongsatser med 180 liter vatten och tillsatsmedel SR 20.

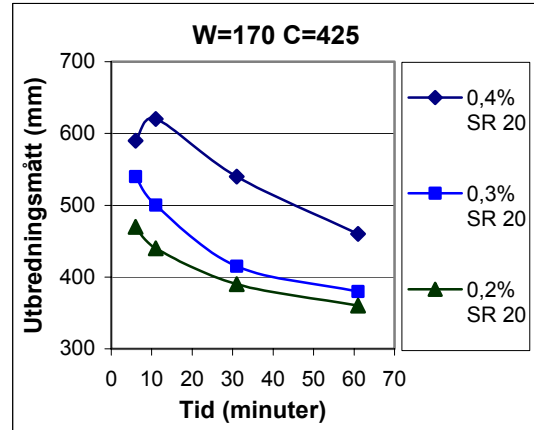


Figur 6.23 Utbredningsmått för betongsatser med 180 liter vatten och tillsatsmedel SR 20.

En minskad mängd blandningsvatten, $W=170$ ($C=425$), gör, liksom är fallet för blandningar med de övriga tillsatsmedlen, att mindre skillnader i dosering av tillsatsmedel får större utslag i konsistensen. Det verkar finnas en brytpunkt mellan då konsistensen fortsätter att bli lösare efter blandning och då den snabbt styvnar. Vid en dosering överstigande denna brytpunkt uppehålls konsistensen bra, men en lägre dosering innebär snabba konsistensförluster.

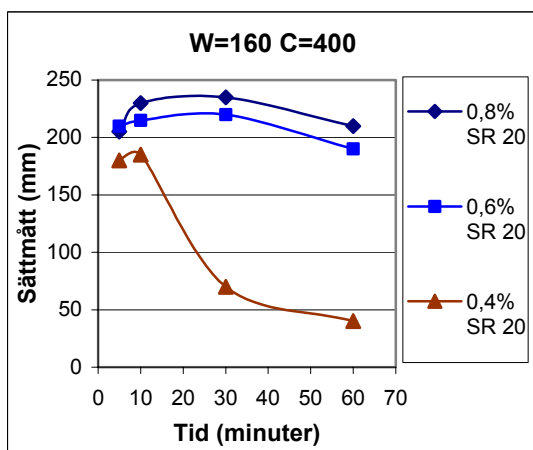


Figur 6.24 Sättningsmått för betongsatser med 170 liter vatten och tillsatsmedel SR 20.

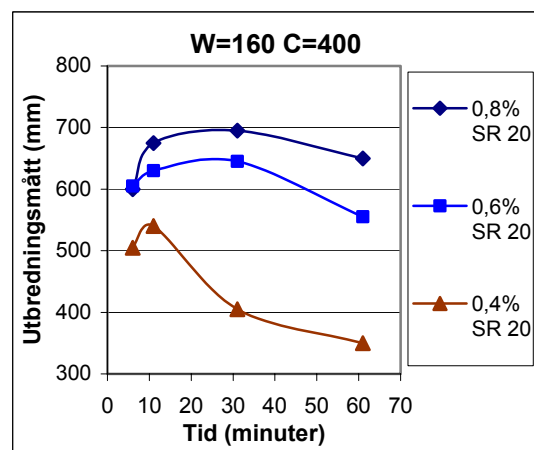


Figur 6.25 Utbredningsmått för betongsatser med 170 liter vatten och tillsatsmedel SR 20.

Vid blandningar med $W=160$ och $C=400$ fick betongsatsen med 0,8 % SR 20 en tydlig separation och även betongsatsen med 0,6 % SR 20 separerade något. Separationerna var en blandning av sten- och bruksseparation där den översta betongen var utan större partiklar samt mycket lös i konsistensen, medan det i botten av betongmassan hade anammats större partiklar. Konsistensen var där mycket styv. Dessa två blandningar redovisas inte i jämförelser senare i texten utan endast i figur 6.26 och 6.27. Blandningen med 0,4 % SR 20 får, liksom övriga betongsatser med 0,4 % SR 20, gradvis lösare konsistens under de första 10 minuterna, men denna blandning tappar därefter sättningsmått och utbredningsmått mycket fort.



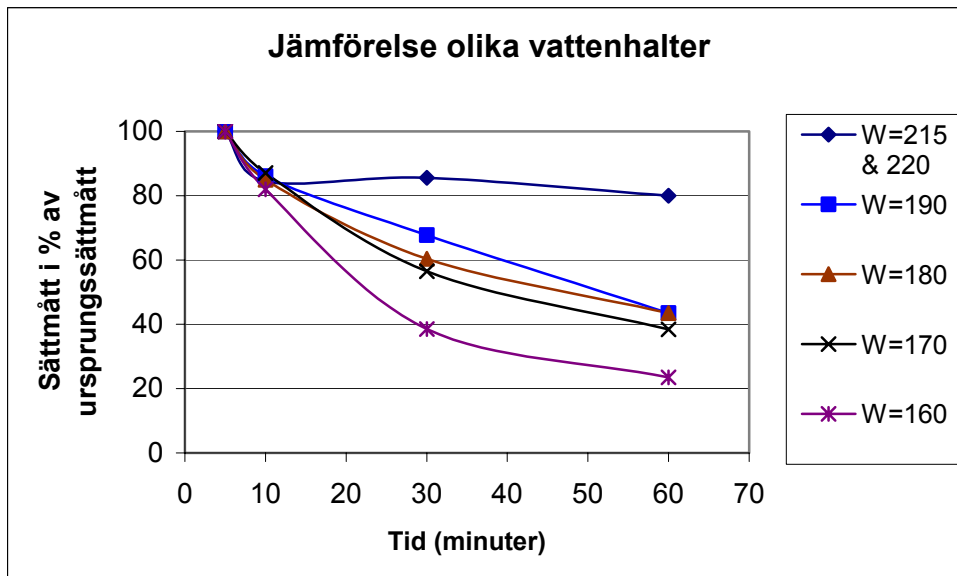
Figur 6.26 Sättningsmått för betongsatser med 160 liter vatten och tillsatsmedel SR 20



Figur 6.27 Utbredningsmått för betongsatser med 160 liter vatten och tillsatsmedel SR 20

Jämförelse mellan olika vattenhalter

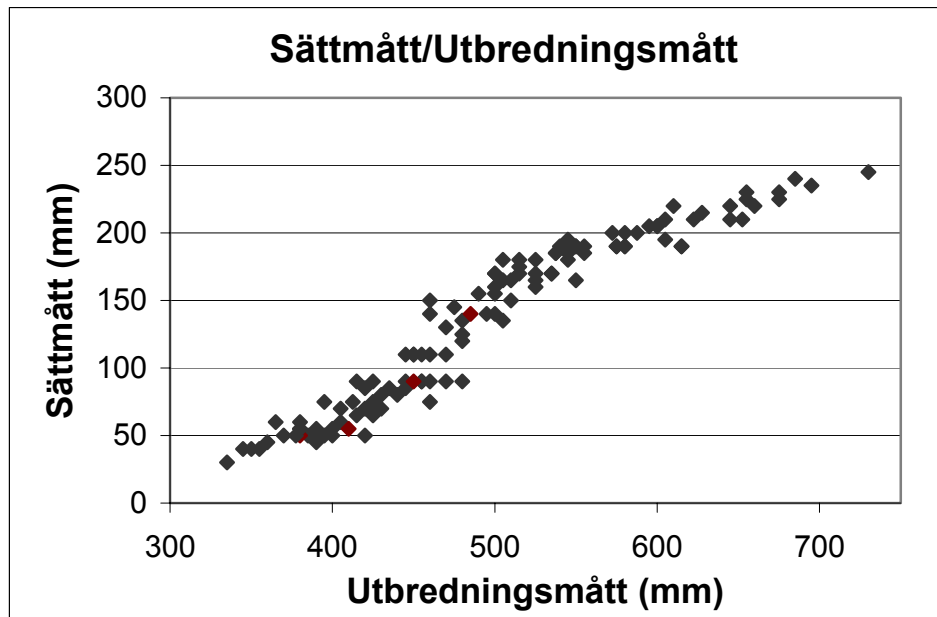
En jämförelse mellan sättmåtsförluster visas i figur 6.28. Jämförelsen visar procentuella sättmåtsförluster i förhållande till sättmått taget direkt efter blandning (5 minuter). Vid höga vattenhalter är sättmåtsförlusterna som tidigare noterats relativt små. Betongsatser med vattenhalterna $W=190$, $W=180$ och $W=170$ uppvisar betydligt större men inbördes relativt lika sättmåtsförluster. En tydlig skillnad noteras för betongsatser med $W=160$. Dessa betongsatser uppvisar större konsistensförluster än övriga betongsatser och har efter 60 minuter tappat mer än 75 % av sina ursprungliga sättmåtsvärden.



Figur 6.28 Sättmåtsutveckling mätt i % av sättmått taget direkt efter blandning. Värdena är medelvärden för samtliga sättmått tagna vid respektive vattenhalt.

Jämförelse mellan sättmått och utbredningsmått

En jämförelse mellan samtliga sättmått och utbredningsmått visas i figur 6.29. En svagt S-formad kurva kan utläsas. Det är intressant att notera att samma samband erhålls oavsett tillsatsmedel och vattenhalt. Ett relativt gott samband finns mellan konsistensmätarna. Dock skiljer det upp till 70 mm i sättmått vid ett och samma utbredningsmått. Därför kan konstateras att den ena konsistensmätaren inte kan ersätta den andra.



Figur 6.29 Jämförelse mellan samtliga sättmått och utbredningsmått.

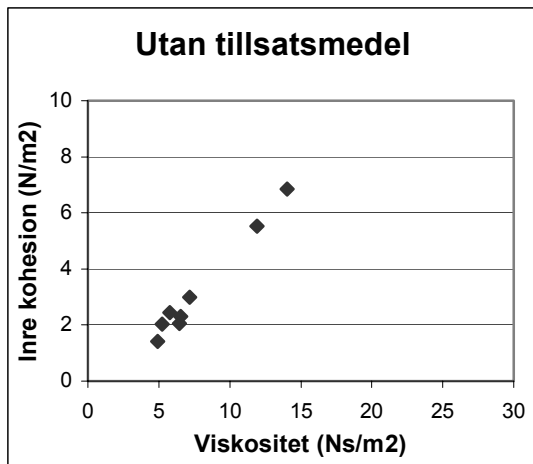
6.5.2 Reologiska egenskaper bestämda med viskosimeter

Mätning av de reologiska egenskaperna för betong med ett sättmått under 100 mm kan ge osäkra mätvärden (Piiparinen, 2002). Det finns en risk att ett pluggflöde bildas mellan viskosimeterns yttre och inre cylindrar som leder till att de uppmätta värdena blir för låga. Viskosimetern användes därför bara när betongmassan hade ett sättmått på minst 70 mm. Följaktligen är antalet viskosimetermätningar mindre än antalet sättmått och utbredningsmåttmätningar. Samtliga resultat redovisas i appendix D.

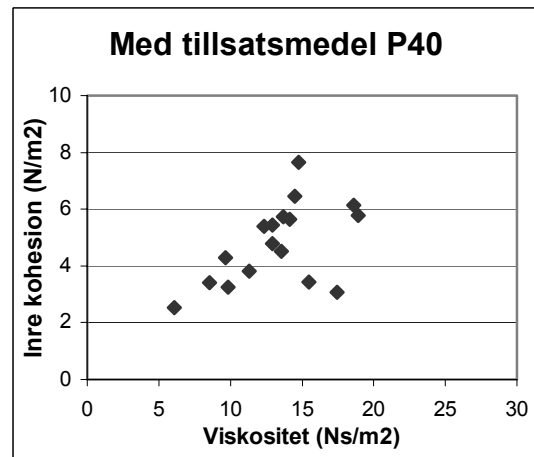
Dessutom uppvisade viskosimetern inga mätvärden vid några mättillfällen. Mätningen avbröts då och betongmassan rördes om innan viskosimetern startades om. Erhölls inga mätvärden efter omstarten avbröts testen.

Genom jämförelse av Viskosimeterns G-värde (inre kohesion) och H-värde (viskositet), se figur 4.4, kan en trend ses. Mer tillsatsmedel och mindre vatten leder till att H-värdet blir större i förhållande med G-värdet. För tillsatsmedel SR 20 är fenomenet extra tydligt. Samtliga samband mellan kohesion och viskositet visas i figur 6.30-6.33.

Ur diagrammet med blandningar utan tillsatsmedel, figur 6.30, kan ett nästan linjärt samband utläsas. Värdena för blandningar med tillsatsmedel P40, figur 6.31, visar inget entydigt samband mellan kohesion och viskositet. De fyra värden som avviker mest från ett linjärt samband har högst dosering tillsatsmedel och minst mängd vatten ($W=170$, $C=425$ med 0,9 % respektive 1,1 % P40).

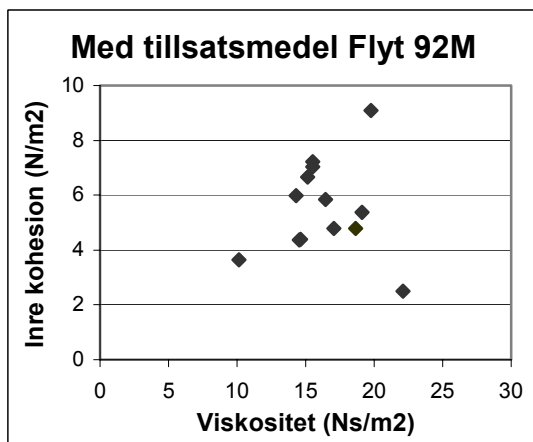


Figur 6.30 Jämförelse mellan viskositet och inre kohesion för betongsatser utan tillsatsmedel.

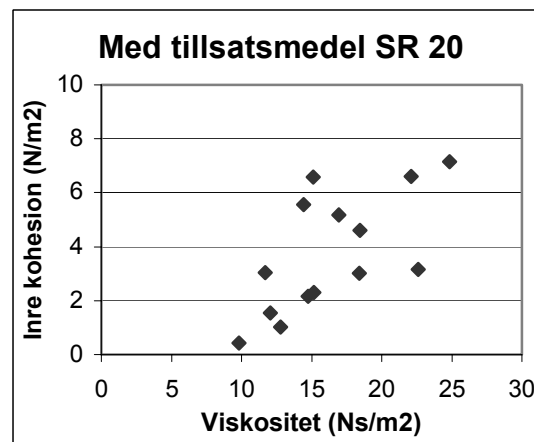


Figur 6.31 Jämförelse mellan viskositet och inre kohesion för betongsatser med tillsatsmedel P 40.

Även för tillsatsmedel Flyt 92 M och SR 20 har de blandningar med minst mängd cementpasta och mest tillsatsmedel relativt höga H-värden i förhållande till de andra blandningarna. Blandningar med SR 20 får höga H-värden redan vid lägre doseringar tillsatsmedel och större mängd blandningsvatten.



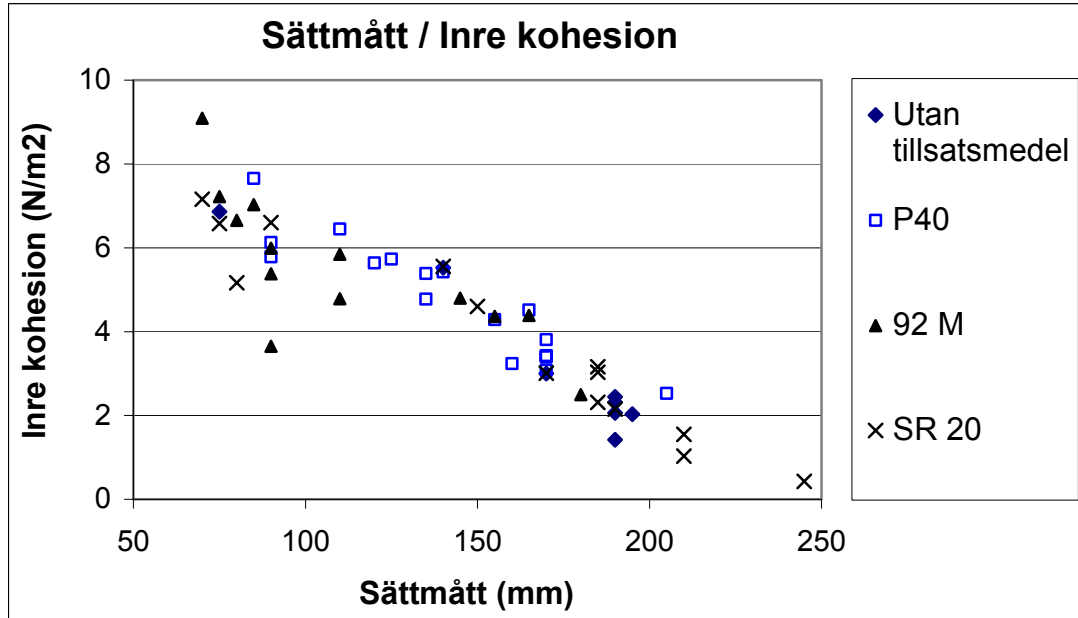
Figur 6.32 Jämförelse mellan viskositet och inre kohesion för betongsatser med tillsatsmedel 92 M.



Figur 6.33 Jämförelse mellan viskositet och inre kohesion för betongsatser med tillsatsmedel SR 20.

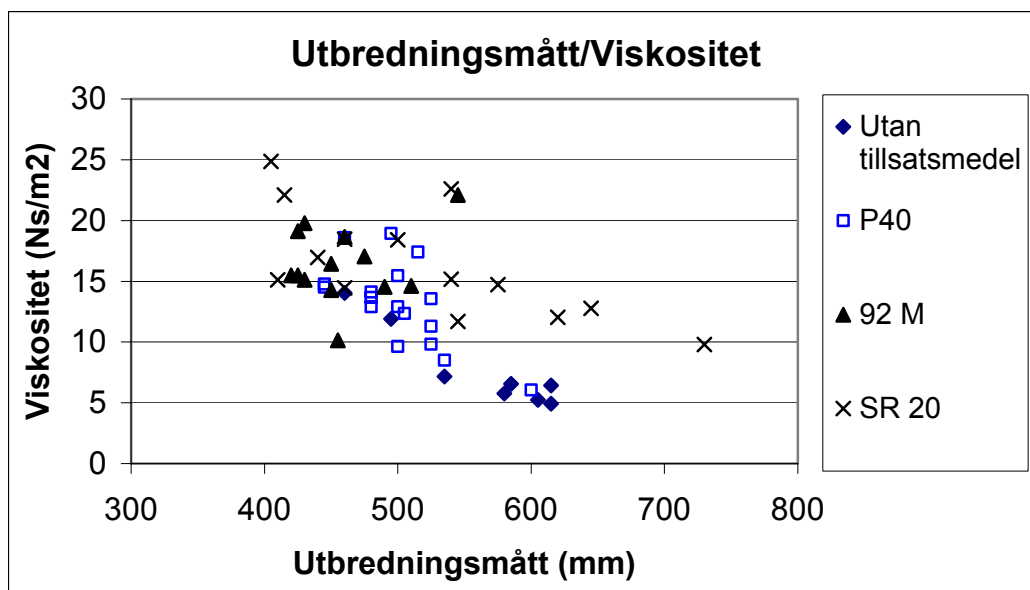
En direkt jämförelse mellan de olika blandningarnas viskositet respektive inre kohesion går inte att göra eftersom mätvärdena inte kunde erhållas vid alla mättillfällen.

I figur 6.34 jämförs samtliga mätningar av inre kohesionen (G) med sättmättet. Ett tämligen linjärt samband erhålls ned till mätningar gjorda med ett sättmått på 100 mm. För lägre sättmått är spridningen mellan värdena större. Eftersom risk för pluggflöde i viskosimetern finns för blandningar med en konsistens som motsvarar ett sättmått understigande 100 mm bör dessa värden tolkas försiktigt. Ett pluggflöde medför att uppmätta värden blir för låga. Det syns ingen skillnad mellan blandningar med olika respektive utan tillsatsmedel.



Figur 6.34 Jämförelse mellan sättmått och inre kohesion.

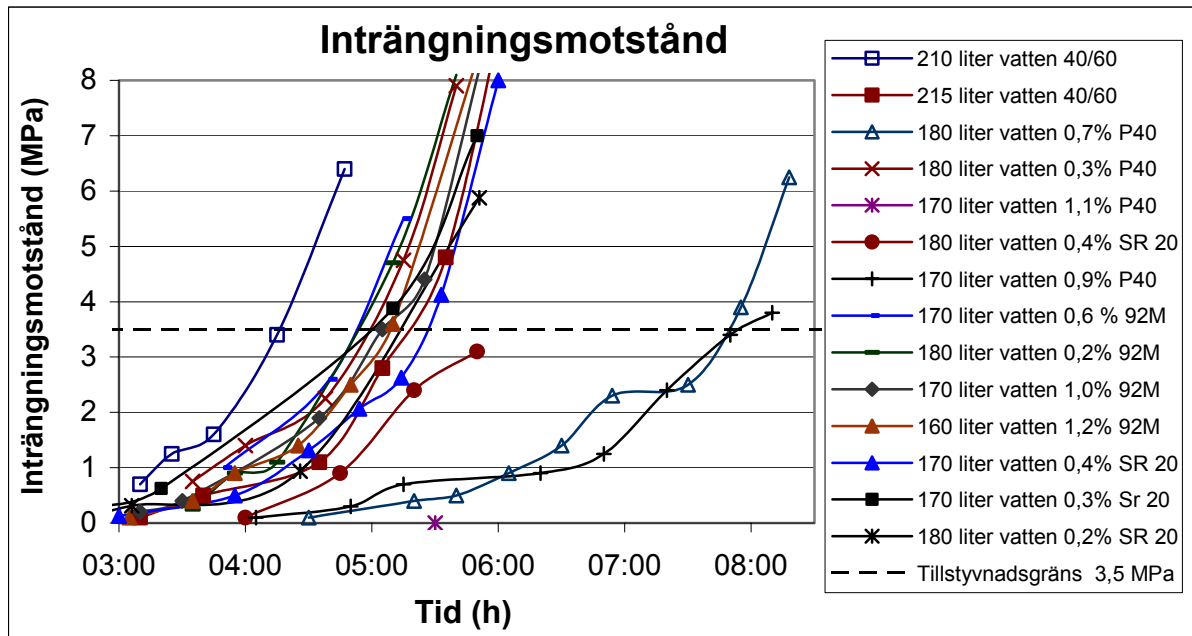
Betongens viskositet, H -värde, beskriver dess flytförmåga och jämförs därför med utbredningsmättet i figur 6.39. Några säkra samband går ej att utläsa ur denna jämförelse. Dock kan konstateras att de mätvärden som avviker mest från det linjära sambandet är blandningar med höga doseringar tillsatsmedel, framförallt med tillsatsmedel SR 20.



Figur 6.35 Jämförelse mellan viskositet (H -värde) och sättmått

6.5.3 Tillstyvnadstid

Ur mätningar av tillstyvnadstid med inträngningsmotståndsmätningar, se figur 6.36, kan utläsas att normaldoseringar av tillsatsmedel ger en obetydligt fördröjande effekt på tillstyvnadstiden. Högre doseringar av P40 får emellertid en tydligt retarderande effekt på tillstyvnaden.



Figur 6.36 Inträngningsmotstånd som funktion av tid efter blandning.

Inträngningsmotståndsmätningar gjordes även på två blandningar utan tillsatsmedel. Den ena av dem hade en ganska trög konsistens (utgångsättningsmått 110 mm) och tillstyvnade klart snabbare än övriga blandningar. Den andra blandningen var betydligt lösare i konsistensen (utgångsättningsmått 220 mm) och hade följaktligen inte ett lika snabbt tillstyvnadsförlopp, se figur 6.36. Se även tabell 6.3 för sammanställning av tillstyvnadstider.

Tabell 6.3 Tillstyvnadstider.

Blandning		Tillstyvnadstid (inträngningsmotstånd 3.5MPa)		
210 liter vatten 40/60		04:20		
170 liter vatten 0,6% 92M		04:50		
180 liter vatten 0,2% 92M		04:50		
180 liter vatten 0,3% P40		05:00		
170 liter vatten 0,3% SR 20		05:00		
170 liter vatten 1,0% 92M		05:10		
160 liter vatten 1,2% 92M		05:10		
180 liter vatten 0,2% SR 20		05:15		
215 liter vatten 40/60		05:20		
170 liter vatten 0,4% SR 20		05:30		
180 liter vatten 0,4% SR 20		06:00	Uppskattad	
180 liter vatten 0,7% P40		07:50		
170 liter vatten 0,9% P40		08:00		
Blandningen med 170 liter vatten och 1,1% P40 uppvisade efter 05:30 inget mätbart inträngningsmotstånd. Därefter fick provet p g a tidsbrist avslutas				

6.6 Osäkerhet i mätning av arbetbarhet

Några av proverna uppvisade värden som starkt avviker från de förväntade. Detta kan bero på fel vid blandningen eller fel vid uppvägning av delmaterial. Dessa fel har dock inte kunnat verifieras. Inte heller gjordes upprepade försök för att klarlägga vad avvikelserna beror på.

Sättnmättet kan variera beroende på detaljer i utförande av försöket. Sättkonen stod på fallbordet som i sin tur stod på ett vibrationsbord med belagt gummiduk. Detta gjorde att det var svårt att hålla ner sättkonen vid sättnmättstagningen. Vissa av sättnmåtten utfördes av endast en person, vilket kan ha lett till att mätvärdena blev något större.

Utbredningsmättet togs direkt efter sättnmättet. Möjligen blev värdet något beroende av hur sättnmättet genomfördes. Detta har dock inte studerats.

För vissa blandningar kunde viskosimetervärden inte erhållas. Då avbröts mätningen. En snabb manuell omrörning av betongen i behållaren gjordes innan nytt provet startades. Detta kan ha påverkat mätvärdena. Dock avviker inte karaktären av dessa resultat från de övriga.

Uppmätning av ballast och cement skedde med 50 grams noggrannhet. Vatten vägdes upp med 5 grams noggrannhet och tillsatsmedel med 0,1 grams noggrannhet.

7 Studier av värmeutveckling

7.1 Inledning

Syftet med studierna av värmeutveckling var att undersöka skillnader mellan blandningar utan tillsatsmedel och blandningar med olika doseringar och sorters tillsatsmedel före och under viloperioden. Ett vidare syfte var även att undersöka när hydratationen/hållfasthetstillväxten startar i de olika blandningarna.

Eftersom lämplig provstorlek är cirka 10 gram gjordes försöken med cementbruk. Bruket bestod av cementpasta och sand som tillsattes för att undvika separation i blandningarna. Av varje blandning utfördes som en säkerhetskontroll två prover. Temperaturen i kalorimetern var vid samtliga försök 20 °C. Uppmätt värmeutveckling är därför s.k. isoterm värmeutveckling vid 20 °C.

7.2 Försöksprogram

Totalt gjordes 16 stycken dubbelprover, 2 stycken utan tillsatsmedel, 3 stycken med tillsatsmedel P40, 5 stycken med tillsatsmedel 92M och 6 stycken med tillsatsmedel SR 20. Vid samtliga prover var vct 0,40. Samtliga prover genomfördes med anläggningcement. Recepten redovisas i appendix E.

Tabell 7.1 Provningsprogram vid kalorimeterförsök.

Prov	Vatten (gram)	Cement (gram)	Sand (gram)	Tillsatsmedel
1				
1-2	16	40	15	-
3-4	16	40	15	1,1 % P40
5-6	16	40	15	0,7 % P40
7-8	16	40	15	0,3 % P40
2				
1-2	16	40	15	1,4 % 92 M
3-4	16	40	15	1,0 % 92 M
5-6	16	40	15	0,6 % 92 M
7-8	16	40	15	0,2 % 92 M
3				
1-2	16	40	20	2,4 % 92 M
3-4	16	40	15	1,4 % SR 20
5-6	16	40	15	1,0 % SR 20
7-8	16	40	15	0,6 % SR 20
4				
1-2	16	40	15	0,2 % SR 20
3-4	16	40	20	2,4 % SR 20
5-6	16	40	25	3,2 % SR 20
7-8	16	40	-	-

7.3 Provningsförfarande

Rummet i vilket kalorimetern står är tempererat. För att alla delmaterial skulle hålla samma temperatur placerades de i god tid före försöken i kalorimeterrummet.

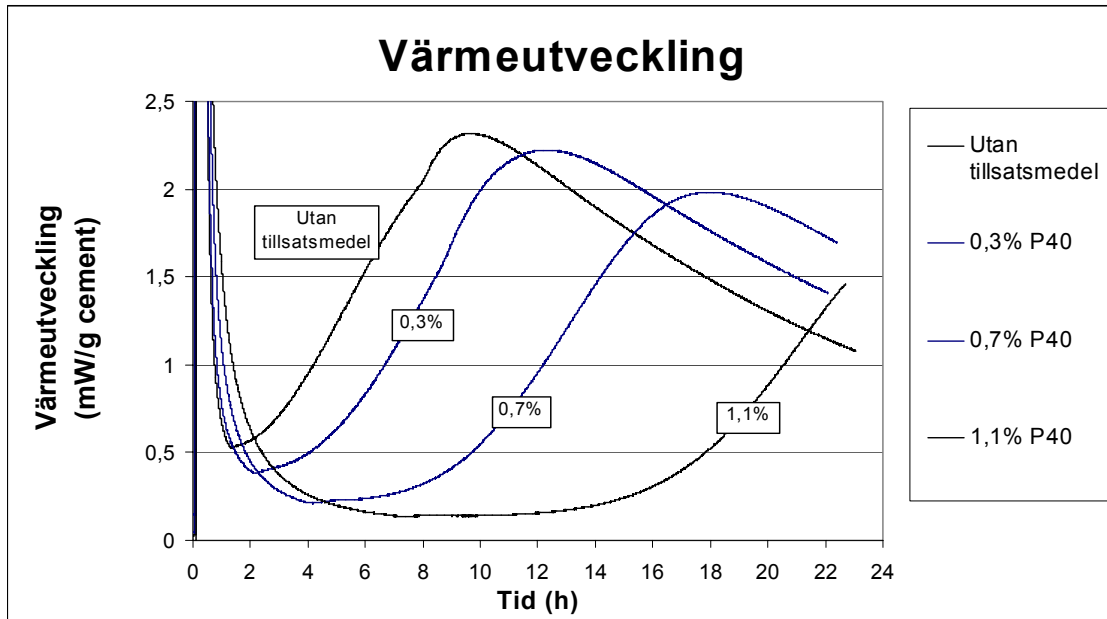
Cement och sand vägdes upp enligt recept och blandades samman i en plastmugg. Därefter tillsattes vatten och eventuellt tillsatsmedel och blandningen rördes om manuellt i cirka 25 sekunder, varpå den hölls ner i en glasampull genom en tratt. Provmassan i varje glasampull vägdes och registrerades. Glasampullens lock sattes på med en specialgjord tång så att det blev tättslutande. Slutligen sattes glasampullerna ner i kalorimetern. Tidpunkten för tillsättning av vatten noterades. Under hela proceduren användes en bomullshandske för att inte överföra värme till materialen. För utförligare beskrivning av provningsförfarandet hänvisas till (Wadsö, 2001).

7.4 Resultatsammanställning

I figur 7.1-7.3 visas resultaten från värmeutvecklingsförsöken. I varje diagram redovisas mätvärdena för ett tillsatsmedel samt för en blandning utan tillsatsmedel. Samtliga blandningar hade vct 0,40.

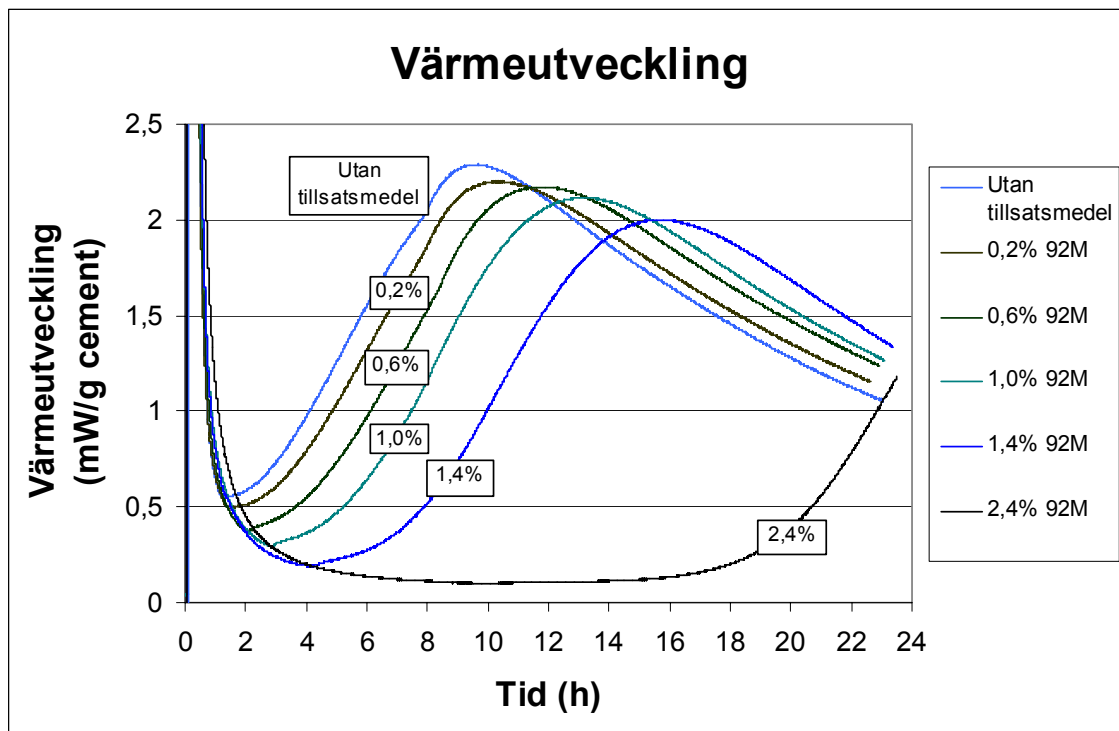
Mätresultaten finns även grafiskt presenterade i appendix E.

Tillsatsmedel P 40 har som tidigare nämnts en tydligt retarderande effekt vilket kan avläsas som en försenad och något dämpad värmeutveckling. Dessutom påverkar P40 de tidiga cementreaktionerna som sker innan värmeutvecklingen når sin viloperiod. Detta syns genom att värmeutvecklingen innan viloperioden pågår under längre tid med ökande dosering tillsatsmedel, vilket leder till att viloperioden förskjuts framåt i tiden. En liten diskontinuitet kan urskönjas då huvudreaktionen startar och värmeutvecklingen åter skjuter fart efter att ha nått sitt bottenvärde under viloperioden. Diskontinuiteten är mindre tydlig för blandningar med högre dos tillsatsmedel



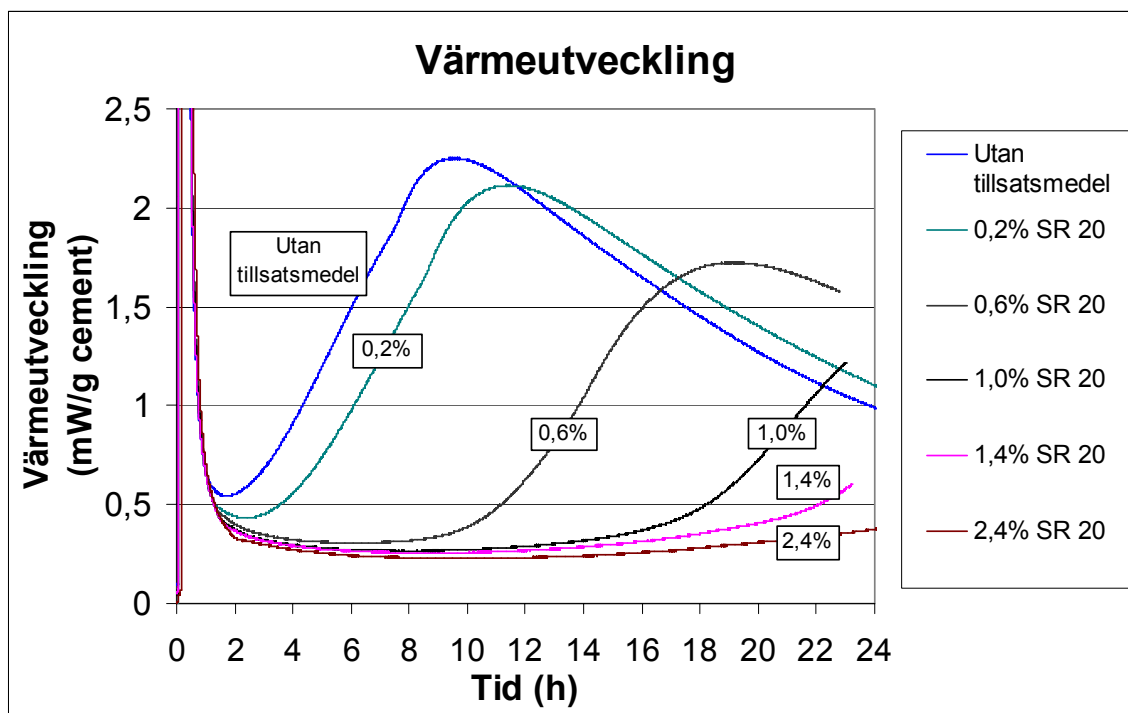
Figur 7.1 Värmeutveckling för blandningar med tillsatsmedel P 40.

Blandningar med tillsatsmedel Flyt 92 M har en betydligt måttligare retardation än de med P 40, ungefär hälften så stor vid lika dosering. Som synes blir värmeutvecklingens toppvärde också för dessa blandningar lägre med ökad dos tillsatsmedel. Även här kan en diskontinuitet ses då värmeutvecklingen åter skjuter fart i samband med att huvudreaktionen startar.



Figur 7.2 Värmeutveckling för blandningar med tillsatsmedel Flyt 92 M.

Även blandningar med SR 20 uppvisar en tydlig retarderande effekt. Dock har SR 20 en kraftigare vattenreducerande verkan än de övriga tillsatsmedlen, varför en lägre dos av detta tillsatsmedel behövs för att uppnå samma effekt som för P 40 och 92 M. Blandningar med SR 20 uppvisar en högre värmeutveckling under viloperioden och även en något mer dämpad värmetopp efter denna. Tillsatsmedel SR 20 verkar inte påverka de tidiga cementreaktionerna nämnvärt och blandningarna uppvisar en diskontinuitet när den går in i viloperioden till skillnad mot blandningar med P40 och SR 20 som uppvisar en diskontinuitet då huvudreaktionen startar.



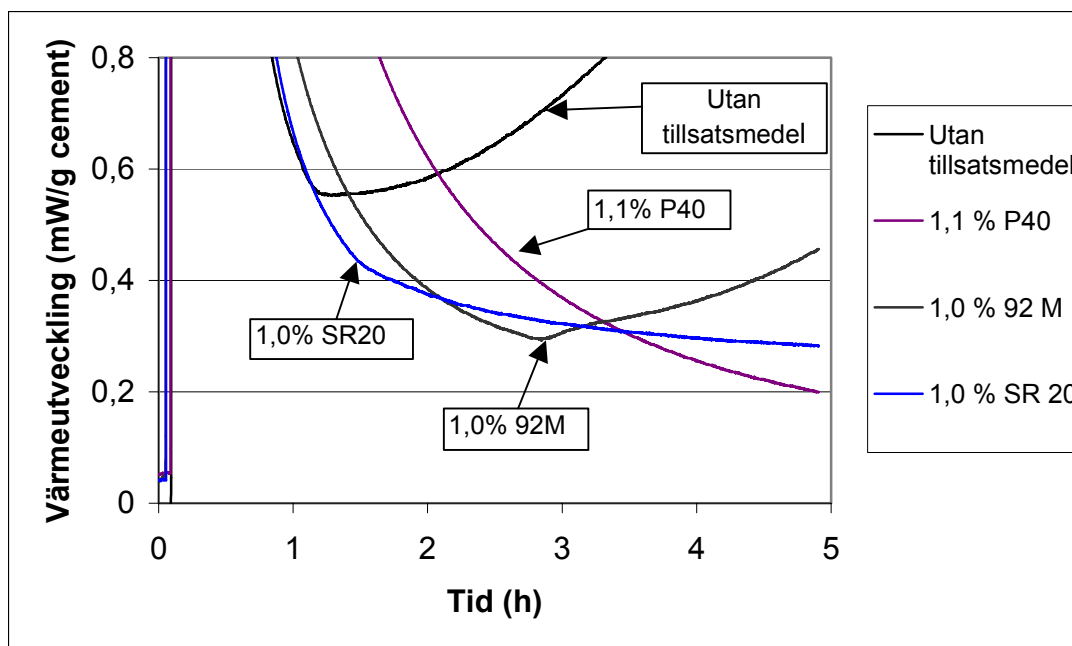
Figur 7.3 Värmeutveckling för blandningar med tillsatsmedel SR 20.

Tidig cementreaktion

De tidiga cementreaktionerna startar momentant vid tillsättande av blandningsvatten, d.v.s. innan provkroppsbehållaren har hunnit placeras i kalorimetern. Därför har inte den första värmetoppen som de momentana cementreaktionerna ger upphov till kunnat mätas i dessa försök.

I figur 7.4 visas grafisk hur de olika tillsatsmedlen påverkar de tidiga cementreaktionerna efter den första värmetoppen. I blandningar med tillsatsmedel P40 pågår de tidiga cementreaktionerna under längre tid än i blandningar utan tillsatsmedel.

Tillsatsmedel Flyt 92 M påverkar de tidiga cementreaktionerna måttligt och en tydlig diskontinuitet syns i samband med starten av huvudreaktionen. Tillsatsmedel SR 20 verkar inte påverka de tidiga cementreaktionerna. Däremot syns en diskontinuitet i samband med att viloperioden startar (efter ungefär 1,5 h).



Figur 7.4 Förstoring av värmeutveckling under de första timmarna

Viloperiod

Det går inte att utläsa någon skillnad i värmeutvecklingen under viloperioden för blandningar med måttlig mängd tillsatsmedel. Vid kraftig dosering blir tillsatsmedlens retarderande verkan stor. Detta innebär att viloperioden blir längre varvid en skillnad kan utläsas mellan de olika blandningarna. Värmeutvecklingen under viloperioden var vid höga doseringar med de olika tillsatsmedlen:

P40	0,14 mW/gram cement
Flyt 92 M	0,11 mW/gram cement
SR 20	0,24 mW/gram cement

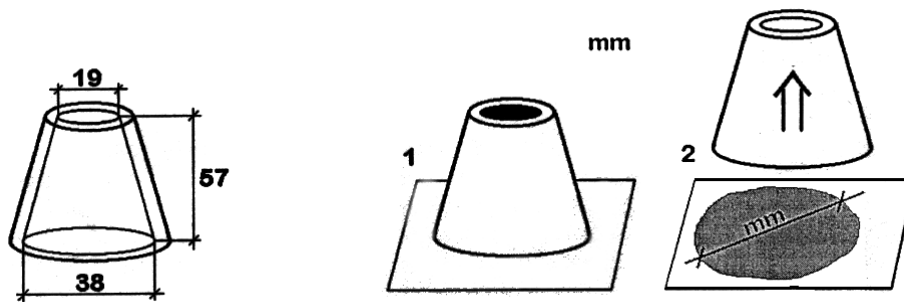
SR 20 uppvisar ett klart högre värde än de övriga två tillsatsmedlen vilket tyder på att det pågår intensivare kemisk reaktion under viloperioden i blandningar innehållande detta tillsatsmedel.

Huvudreaktion

Resultaten visar att alla i detta försök tillsatta tillsatsmedel har en retarderande effekt. Toppvärdet för värmeutvecklingen vid huvudreaktionen minskar med ökande dosering av tillsatsmedel. Då betong med anläggningscement ofta används i grova konstruktioner, där en begränsad värmeutveckling är önskvärd får värmeutvecklingens minskade toppvärden i dessa fall ses som en positiv effekt.

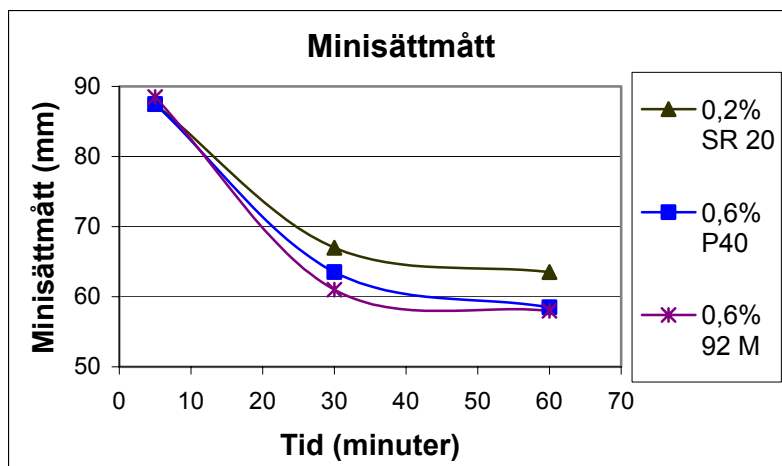
Jämförelse mellan värmeutveckling och konsistensförluster

För att kunna jämföra resultaten ur värmeutvecklingsförsöken med konsistensparametrar gjordes konsistensförsök på cementbruksblandningar med en minisättkon. Minisättkonen som användes var en sättkon i mindre skala som hade svarvats ut ur en plastcylinder (se figur 7.5).



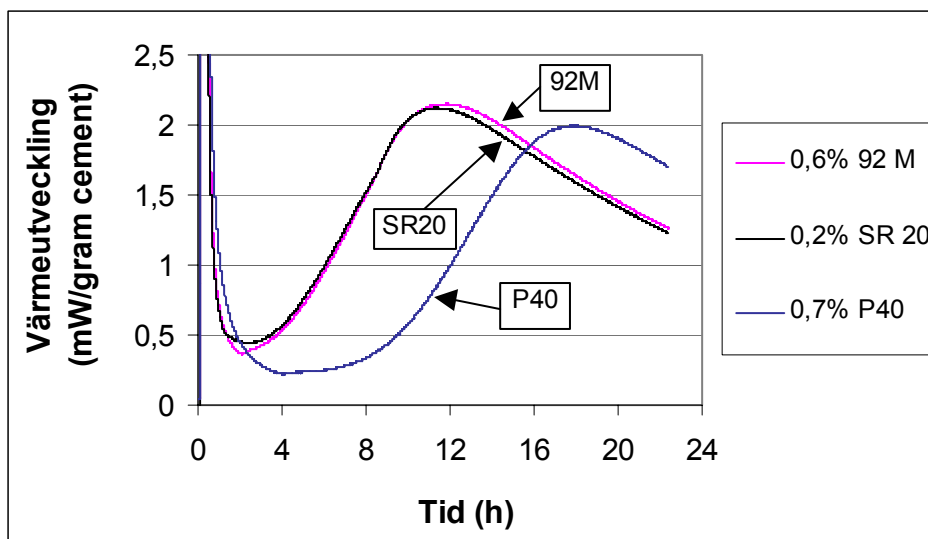
Figur 7.5 Minisättkon och beskrivning av minisättkonmetoden (Nilsson, 2001)

Tre blandningar med de olika tillsatsmedlen blandades. Målet var att utgångskonsistensen för de olika blandningarna skulle vara lika. Detta uppnåddes genom att använda 0,2 % SR 20, 0,6 % Flyt 92 M och 0,6 % P40 (se även appendix F).



Figur 7.6 Minislumpmått som funktion av tiden

Jämförelse av värmeutvecklingen mellan dessa tre blandningar (se figur 7.7) visar att blandningarna med 0,2 % SR 20 och 0,6 % 92 M har nästan exakt lika värmeutveckling medan blandningen med P40 uppvisar en betydligt större retardation. OBS, i figur 7.7 visas värmeutvecklingen för en blandning med 0,7 % P40 istället för 0,6 %. Kurvan för 0,6 % P40 hamnar något mer till vänster. Som jämförelse kan nämnas att värmeutvecklingskurvan för en blandning med 0,3 % P40 hamnar något till höger om kurvorna med 0,6 % 92 M och 0,2 % SR 20.



Figur 7.7 Värmeutveckling för samma cementbruk som visas i figur 7.6 (utom P40 som har något högre dosering).

7.5 Osäkerhetsfaktorer

Eftersom det visade sig att det tempererade rummet i vilket kalorimetern stod höll en något hög och varierande rumstemperatur mättes temperaturen inför varje försöksomgång. Den uppmätta temperaturen var i samtliga fall högre än 20°C. Detta borde inte ha påverkat resultaten då kalorimetern snabbt leder bort eventuell överskottsvärme från provkroppen.

Kalorimeterns mätosäkerhet är 30 μ W och temperaturstegringen i provkroppen till följd av cementets värmeutveckling är mindre än 0,5 °C, (Wadsö, 2002).

Vågen som användes i försöken kalibreras var 14:e dag och har en mätnoggrannhet på 0,001 gram samt en osäkerhet på 0,005 gram.

8 Slutsatser

Resultaten visar att mindre vattenmängd i betongsatserna leder till att konsistensförlusterna sker snabbare. Vid en vattenhalt av 160 l/m^3 betong återstår efter 30 minuter mindre än 40 % av det ursprungliga sättmättet, efter 60 minuter knappt 25 % (se figur 6.28). Dessutom, vid låg cementpastahalt, blir tillsatsmedlet mer avgörande och en mindre ändring i doseringen tillsatsmedel får större utslag på konsistensen. Mindre mängd cementpasta i kombination med högre dosering tillsatsmedel leder dessutom till att betongens viskositet, d.v.s. dess flytförmåga, minskar.

Även måttliga doseringar av tillsatsmedel höjer utgångskonsistensen avsevärt, men tillsatsmedlets verkan försvinner fort i normaldoserade blandningar. Större doseringar tillsatsmedel tenderar att uppehålla konsistensen bättre, men medför även större retardationer framförallt för blandningar med tillsatsmedel Cementa P40.

De flesta inom detta examensarbete utförda betongblandningar har konsistensförändringar som följer ”ej önskvärt förlopp”, se figur 2.3. Endast blandningar med hög dosering av tillsatsmedel Cementa SR 20 och en inte för låg vattenhalt, $W=180$ och $C=450$ respektive $W=170$ och $C=425$ uppvisar konsistensförändringar enligt ”önskvärt förlopp” enligt figur 2.3. Även blandningar utan tillsatsmedel med stor mängd blandningsvatten, $W=220$ och $C=550$ respektive $W=215$ och $C=537,5$ uppvisar konsistensförändringar som liknar önskvärt förlopp.

Relativt väldefinierade samband mellan sättmått, utbredningsmått och betongens inre kohesion (G-värde) kunde noteras (se figur 6.29 och 6.34). Jämförelse av sättmått och utbredningsmått med betongens viskositetsfaktor (H-värde) (se figur 6.35) visar att direkta samband är mindre väl definierade.

Värmeutvecklingsförsöken visar att tillsättning av tillsatsmedel försenar värmeutvecklingen samt dämpar dess maxvärde. För blandningar med hög dosering av tillsatsmedel kan skillnader i värmeutvecklingen under viloperioden mellan de olika tillsatsmedlen noteras. För blandningar med tillsatsmedel Cementa SR 20 är värmeutvecklingen under viloperioden vid höga doseringar $0,24 \text{ mW/gram cement}$ medan Cementa P40 och Cementa Flyt 92 M har en värmeutveckling på $0,14$ respektive $0,11 \text{ mW/gram cement}$.

Eftersom nästan alla blandningar uppvisar tidiga och snabba konsistensförluster vore det intressant att undersöka hur en senare tillsats av tillsatsmedel skulle fungera. Ett alternativ vore att vid större projekt tillverka betongen på plats för att på så sätt minska tiden mellan blandning och gjutning.

P 40 och Flyt 92 M har ungefär samma konsistenshöjande verkan medan SR 20 är cirka 3 gånger så kraftfullt som dessa båda när det gäller att ge lösare konsistens.

9 Referenser

Burström, P-G	1993	Kompendium i Byggnadsmaterial AK, del II, Avdelningen Byggnadsmaterial, LTH
Byfors, K	1994	Kapitel 5, Betonghandbok Material, utgåva 2, AB Svensk Byggtjänst
Cementa AB	1999	Våra Cement, Cementa AB
Fagerlund, G	1990	Produktionsekonomi och betongval, Cementa AB
Fagerlund, G	1994	Kapitel 10, Betonghandbok Material, utgåva 2, AB Svensk Byggtjänst
Fagerlund, G	2000	Kompendium i Byggnadsmaterial FK vol. 2, Avdelningen Byggnadsmaterial, LTH
Herzell, T	1996	Betongens yta, Byggforskningsrådet
IBRI-Wallevik	1999	Kompendium till kursen, "Rheology of Coarse Particle Suspensions, such as Cement Paste, Mortar and Concrete", The Icelandic Building Research Institute
Johansson Arne Petersons Nils	1994	Kapitel 8, betonghandboken Material, utgåva 2 AB Svensk Byggtjänst
Johansson, L	1994	Kapitel 3, Betonghandboken Material, utgåva 2, AB Svensk Byggtjänst
Johansson, S-E	1994	Kapitel 2, Betonghandboken Material, utgåva 2, AB Svensk Byggtjänst
Nilsson, S	2001	Inverkan av flyttillsatsmedel på cementets bindetid – en jämförelse av Vicat-metoden och isotherm kalorimetri, LTH Helsingborg, Avdelningen Byggnadsmaterial LTH
Piiparinen, P	2002	Personlig information, Scancem Research
Retelius, A	1998	Vinterbetong En översikt, Cementa AB

Rombén, L	1994	Kapitel 23, Betonghandboken Material, utgåva 2, AB Svensk Byggtjänst
Ryberg, K	2001	Personlig information, Cementa AB
SACA		Tillsatsmedel för betong, SACA (Swedish Association for Concrete Admixtures)
Svenska Cementföreningen	1972	Materialet Betong, Svenska Cementföreningen
Thermometric AB		TAM Air, Produktblad till TAM Air kalorimetern, Thermometric AB
Wadsö, L	2001	How to perform measurements on cement, mortar and micro-concrete with the Tam-air, Avdelningen Byggnadsmaterial, LTH
Wadsö, L	2002	Personlig information, Avdelningen Byggnadsmaterial, LTH

Appendix A

Delmaterial

A:1-A:2

Ballast

A:3-A:5

Cement

A:6-A:11

Tillsatsmedel

Standardrecept

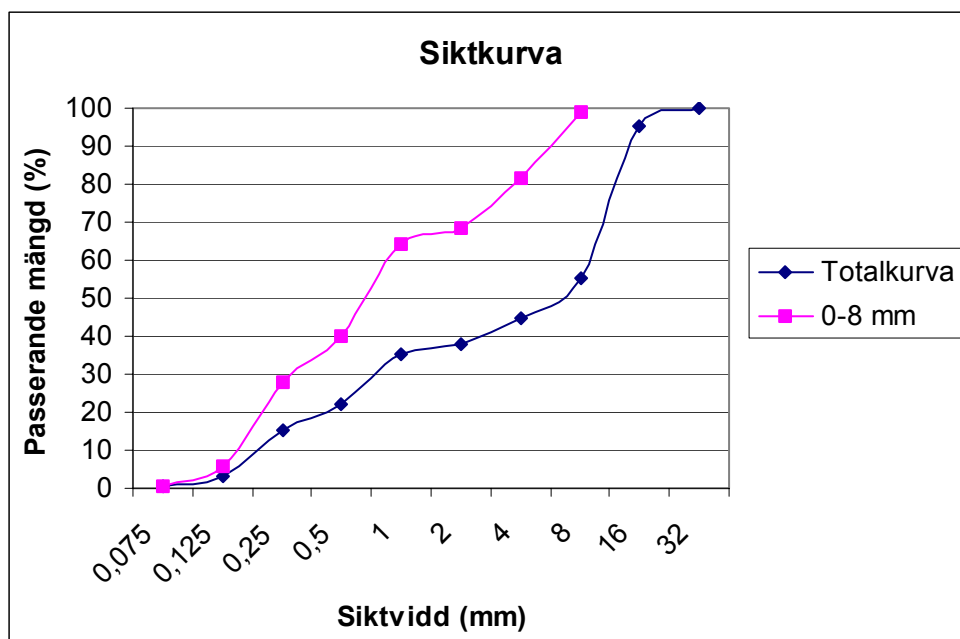
Recept 430	kg/m ³	Densitet	Volym	% av ballast	0,031m ³
Anläggningscement	430	3,2	134,38		13,33
Sand 1	303	2,65	114,34	0,174	9,39
Sand 90	349	2,65	131,7	0,201	10,82
Grus 2-4mm	186	2,65	70,19	0,107	5,77
Grus 4-8mm	117	2,65	44,15	0,067	3,63
Sten 8-16mm	782	2,65	295,09	0,45	24,24
Vatten	187	1	187		5,8
Flyt 92M	4,7	1,1	4,27		
Luft			20		0,62
Summa	2358,7		1001,12	1,00	

Ursprung Ballast

Sand 1	Fyleverken, Sjöbo
Sand 90	Silversand 90 från Ascania, fd Ahlsells Mineral
2-4	Singel från Jehanders i Stockholmstrakten
4-8	Singel från Jehanders i Stockholmstrakten
8-16	Skånska Makadam, Åstorp

Siktkurva ballast

Storlek	Totalkurva	0-8 mm
0,075	0,4	0,7
0,125	3,2	5,8
0,25	15,2	27,7
0,5	22,1	40,1
1	35,3	64,3
2	37,7	68,5
4	44,9	81,7
8	55,2	98,8
16	95,5	100
32	100	100



Provnr **107229****RAPPORT**

utfärdat av ackrediterat laboratorium

SCANCEM RESEARCH AB**Cirkulation****DELRESULTAT**

2001-11-22

620 30 SLITE

#Div/0!

Provnr	107229		
Märkning	Anl.Cement till Anders A:s Examensarbete		
Uppdrag / grupp	Examensarbete Lund Tekn.Högskola.		
Variante	Degerhamn Cement Std P Anl	Ankomstdatum	2001-10-15
Handläggare	Pentti Piiparinen	Klardatum	
Provtagningsdatum	2001-10-14		
Provtagning	Insänt av kund		
Provtagare	1		

Namn (Jerry Bingström)

* ej ackrediterad analys

Analys	Metod	Resultat	Kommentar
Röntgenspektrometer			
Mn2O3	ER 9214	0,221 %	
CaO	ER 9214	64,82 %	
SiO2	ER 9214	22,64 %	
Al2O3	ER 9214	3,39 %	
Fe2O3	ER 9214	4,10 %	
MgO	ER 9214	0,83 %	
Fotometrisk Analys (UV)			
Cr lösl, egenfärg	ER 9306	3,8 mg/kg	
* Cr red	ER 9303	7 mg/kg	
Leco Apparatur			
Gl.f 950°C	ER 9213	0,52 %	
SO3	ER 9212	2,16 %	
Titrimetrisk Analys			
Cl	ER 9302	0,016 %	
Bogue Beräkningar			
* C2S		25,3 %	
* C3S		52,6 %	
C3A	ER 9226	1,7 %	
* C4AF		13,1 %	
Vithetsmätning			
R 46	ER 9331	20,9 %	
Fysikaliska Bestämningar			

Uppgift om analysmetodens mätosäkerhet kan erhållas från handläggare.

Laboratorium ackrediteras av Styrelsen för ackreditering och teknisk kontroll (SWEDAC) enligt svensk lag. Verksamheten vid de svenska ackrediterade laboratorierna uppfyller kraven enligt SS-EN 45001 (1989), SS-EN 45002 (1989) och ISO/IEC Guide 25 (1990:E).

Denna rapport får endast återges i sin helhet, om inte SWEDAC och utfärdande laboratorium i förväg skriftligen godkänt annat.

Scancem Research AB

POSTADDRESS POSTAL ADDRESS P.O Box 104 SE-620 3 SLITE	GATUADDRESS OFFICE ADDRESS Skeppargatan 1	TELEFON TELEPHONE Nat. 0498-28 11 00 Int. +46-498-28 11 00	FAX 0498-28 13 91	POSTGIRO POSTAL ACCOUNT 640 04 66 - 6 VAT-NO.
--	--	---	-----------------------------	---



Provnr 107229

**RAPPORT**

utfärdat av ackrediterat laboratorium

1262

Densitet	ER 9228	3217 kg/m ³
Blaine, manuell	ER 9301	309 m ² /kg
Värmeutv Lös.-Hydrationsvärme		
1 dygn	ER 9323	149 kJ/kg
3 dygn	ER 9323	227 kJ/kg
7 dygn	ER 9323	271 kJ/kg
Bindetid		
Vicat	EN 196-3	145 min
Vatten	EN 196-3	25 %
Volymbeständighet		
Le chat	ER 9225	1,5 mm
Normprov Tryckhållfasthet		
1 d	EN 196-1	9,7 MPa
2 d	EN 196-1	19,5 MPa
7 d	EN 196-1	37,2 MPa
28 d	EN 196-1	55,5 MPa
Laser HR 850 1-600 µm		
1,0 µm	ER 9322	6,5 %
1,2 µm	ER 9322	8,0 %
1,4 µm	ER 9322	9,2 %
1,6 µm	ER 9322	10,4 %
1,8 µm	ER 9322	11,4 %
2,0 µm	ER 9322	12,4 %
2,2 µm	ER 9322	13,4 %
2,6 µm	ER 9322	15,3 %
3,0 µm	ER 9322	17,1 %
3,5 µm	ER 9322	19,2 %
4,0 µm	ER 9322	21,1 %
4,5 µm	ER 9322	22,9 %
5,0 µm	ER 9322	24,6 %
5,5 µm	ER 9322	26,2 %
6,3 µm	ER 9322	28,5 %
7,0 µm	ER 9322	30,5 %
8,0 µm	ER 9322	33,0 %
9,0 µm	ER 9322	35,5 %
10,0 µm	ER 9322	37,8 %
12,0 µm	ER 9322	42,3 %
15,0 µm	ER 9322	49,1 %
16,0 µm ber.	ER 9322	51,1 %
18,0 µm	ER 9322	55,1 %
20,0 µm	ER 9322	58,7 %

Uppgift om analysmetodens mätosäkerhet kan erhållas från handläggare.

Laboratorium ackrediteras av Styrelsen för ackreditering och teknisk kontroll (SWEDAC) enligt svensk lag. Verksamheten vid de svenska ackrediterade laboratorierna uppfyller kraven enligt SS-EN 45001 (1989), SS-EN 45002 (1989) och ISO/IEC Guide 25 (1990:E).

Denna rapport får endast återges i sin helhet, om inte SWEDAC och utfärdande laboratorium i förväg skriftligen godkänt annat.

Scancem Research AB

POSTADRESS POSTAL ADDRESS	GATUADRESS OFFICE ADDRESS	TELEFON TELEPHONE	FAX	POSTGIRO POSTAL ACCOUNT
P.O Box 104 SE-620 3 SLITE	Skeppargatan 1	Nat. 0498-28 11 00 Int. +46-498-28 11 00	0498-28 13 91	640 04 66 - 6 VAT-NO.

SCANCEM
RESEARCH

Provnr 107229



RAPPORT

utfärdat av ackrediterat laboratorium

1262

22,0 µm	ER 9322	62,1 %
25,0 µm	ER 9322	66,9 %
28,0 µm	ER 9322	71,7 %
32,0 µm	ER 9322	77,8 %
36,0 µm	ER 9322	83,5 %
40,0 µm	ER 9322	88,4 %
45,0 µm	ER 9322	93,2 %
50,0 µm	ER 9322	96,5 %
56,0 µm	ER 9322	98,9 %
63,0 µm	ER 9322	100,0 %
75,0 µm	ER 9322	100,0 %
90,0 µm	ER 9322	100,0 %
106,0 µm	ER 9322	100,0 %
125,0 µm	ER 9322	100,0 %
150,0 µm	ER 9322	100,0 %
175,0 µm	ER 9322	100,0 %
200,0 µm	ER 9322	100,0 %
ICP-Analys		
* K2O	ER 9207	0,61 %
* Na2O	ER 9207	0,06 %
* Na2O-ekvivalent		0,46 %

* SLUT PÅ RAPPORTEN *

Uppgift om analysmetodens mätosäkerhet kan erhållas från handläggare.

Laboratorium ackrediteras av Styrelsen för ackreditering och teknisk kontroll (SWEDAC) enligt svensk lag. Verksamheten vid de svenska ackrediterade laboratorierna uppfyller kraven enligt SS-EN 45001 (1989), SS-EN 45002 (1989) och ISO/IEC Guide 25 (1990:E).

Denna rapport får endast återges i sin helhet, om inte SWEDAC och utfärdande laboratorium i förväg skriftligen godkänt annat.

Scancem Research AB

POSTADDRESS
POSTAL ADDRESS
P. O Box 104
SE-620 3 SLITE

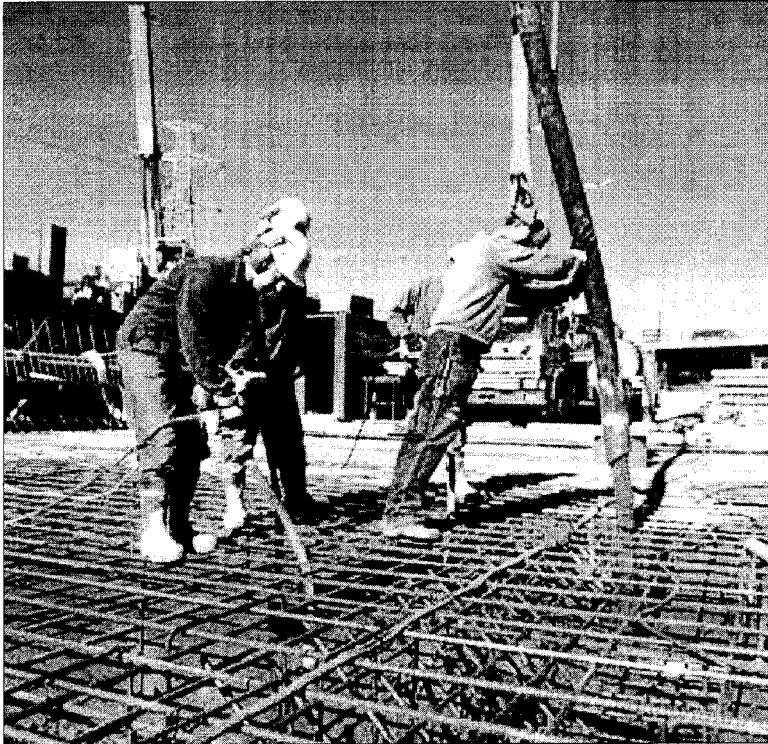
GATUADDRESS
OFFICE ADDRESS
Skeppargatan 1

TELEFON
TELEPHONE
Nat. 0498-28 11 00
Int. +46-498-28 11 00

FAX
0498-28 13 91

POSTGIRO
POSTAL ACCOUNT
640 04 66 - 6
VAT-NO.

Cementa P40



TILLSATSMEDELTYP

Cementa P40 är ett lignosulfonatbaserat vattenreducerande tillsatsmedel för betong.

NORMER

Medlet är certifierat enligt gällande normer.

HUVUDSAKLIG EFFEKT

Vattenreducerande, plasticerande.

SEKUNDÄRA EFFEKTER

Retarderande, speciellt vid höga doseringar.

BIEFFEKTER VID OLIKA TEMPERATURER

Retardationen ökar vid låga betongtemperaturer.

KOMBINATION MED ANDRA TILLSATSMEDEL

Cementa P40 kan kombineras med Cementas övriga tillsatsmedel. Förundersökningar med aktuella recept och aktuella material skall dock göras för att fastställa effekten.

Särskild uppmärksamhet skall ägnas kombination med luftporbildare för att säkerställa att rätt luftporstruktur och frostbeständighet uppnås.

DOSERING

Räknat som viktprocent av cementvikten.

Normalt 0,3–0,8 %. Vid dosering över 0,5 % kan konsistensförluster uppträda.

INVERKAN AV ÖVERDOSERING

Vid överdosering ökar tillstyvnandtiden hos betongmassan. Konsistensförluster kan uppträda.

TILLVÄGAGÅNGSSÄTT

Cementa P40 används normalt i levererad koncentration och tillsätts betongen tillsammans med blandningsvattnet. Aldrig i direktkontakt med cementet.

TEKNISKA DATA

Form	vätska
Färg	mörkbrun
Densitet	1200 kg/m ³
pH-värde	ca 7
Kloridhalt	< 0,1 %
Torrhalt	ca 40 %
Viskositet	lättflytande

LAGRING

Cementa P40 bör lagras i sluten behållare vid en temperatur över 0°C och med ca 30 minuters omrörning några

gånger per dygn. Bör förbrukas inom ett år efter leverans eller inom angivet bäst före datum.

Om produkten visar normalt utseende och lukt kan den efter kontroll av effekten även användas efter längre tids lagring. Lagertank bör rengöras en gång per år. Frusen lösning kan om nödvändigt användas efter långsam upptining och noggrann omrörning.

DISTRIBUTION

Levereras i 10 l plastdunk, 200 l fat, 1 000 l container eller löst i tankbil. Distribution sker från vårt lager i Kristinehamn.

SKYDDSANVISNINGAR

Cementa P40 är ej märkningspliktig men fullständig information och skyddsanvisningar erhålls ur vårt varuinformationsblad upprättat enligt Kemikalieinspektionens anvisningar.

ÖVRIGT

Ovanstående uppgifter är vägledande, och då bl.a. arbetsutförande ligger utanför vår kontroll, är vårt ansvar begränsat till levererad vara.

CEMENTA AB

Cementa AB	Ordermottagning:
Box 144, 182 12 Danderyd	3:e Industrig. 4, 681 00 Kristinehamn
Telefon 08-625 68 00	Telefon 0550-808 14
Telefax 08-625 68 98	Telefax 0550-810 16
E-post danderyd@cementa.scancem.com	
Hemsida www.cementa.se	

Cementa Flyt 92M



SEKUNDÄRA EFFEKTER

Cementa Flyt 92M har en liten retarderande effekt som accentueras vid höga doseringar och låg betongtemperatur. Motverkar separation.

BIEFFEKTER VID OLIKA TEMPERATURER

Konsistensförlust med tiden ökar vid höga och minskar vid låga temperaturer. Tillstyvnadstiden ökar vid låga och minskar vid höga temperaturer.

TILLSATSMEDELTYP

Cementa Flyt 92M är en flyttillsats för betong och cementbruk baserad på sulfonerad melaminpolykondensat. Cementa Flyt 92M är arbetsmiljövänlig och medför ingen risk för skadliga kemiska ämnen i betongkonstruktionerna. Cementa Flyt 92M ger betongen ett förlängt öppethållande av flyteffekten utan att ge besvärande retardation. Den ger en något ökad sammanhållning i betongen och motverkar därför separation vilket ger en bättre arbetbarhet speciellt för betonger med låg till medelmåttig finmaterialhalt.

NORMER

Cementa Flyt 92M är certifierad enligt gällande normer.

HUVUDSAKLIG EFFEKT

Plasticerande och/eller vattenreducerande.

KOMBINATION

MED ANDRA TILLSATSMEDEL

Cementa Flyt 92M kan normalt kombineras med Cementas övriga tillsatsmedel. Kombination med luftporbildare för frostbeständig betong skall föregås av normenlig förundersökning.

DOSERING

Räknat som viktprocent på cementvikten.

Normaldosering	1,1 %
Rekommenderad dosering	0,9–1,5 %
Maximal dosering	3,0 %

En förundersökning med aktuell dosering och aktuella material skall alltid göras.

INVERKAN AV ÖVERDOSERING

Överdoserings medför ökad retardation. Vidare kan en så lös konsistens erhållas att betongen separerar.

TILLVÄGAGÅNGSSÄTT

Används normalt i levererad koncentration och tillsätts betongen tillsammans med blandningsvattnet. Alternativt för att få högre effekt efter att alla övriga material blandats ca 30 sekunder.

TEKNISKA DATA

Form	vätska
Färg	svagt rödbrun
Densitet	1 220 kg/m ³
pH-värde	8
Kloridhalt	< 0,05 %
Torrhalt	35 %
Viskositet	lättflytande

LAGRING

Cementa Flyt 92M bör lagras i slutna behållare vid en temperatur över 0°C och med ca 30 minuters omrörning några gånger per dygn. Bör förbrukas inom ett år efter leverans eller inom angivet bäst före datum.

Om produkten visar normalt utseende och lukt kan den efter kontroll av effekten även användas efter längre tids lagring. Lagertank bör rengöras en gång per år. Frusen lösning kan om nödvändigt användas efter långsam upptining och noggrann omrörning.

DISTRIBUTION

Levereras i 200 l fat, 1 000 l container eller löst i tankbil. Distribution sker från vårt lager i Kristinehamn.

SKYDDSANVISNINGAR

Fullständig information och skyddsanvisningar erhålls ur vårt varuinformationsblad upprättat enligt Kemikalieinspektionens anvisningar.

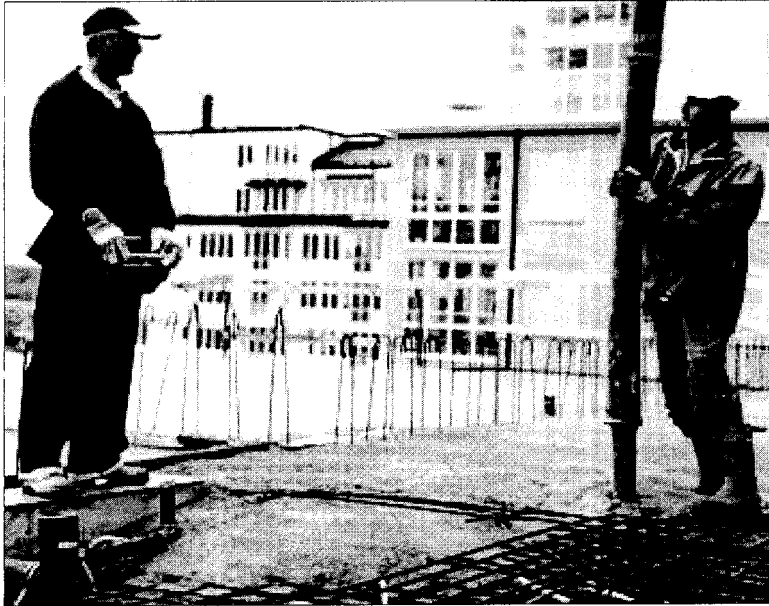
ÖVRIGT

Ovanstående uppgifter är vägledande, och då bl.a. arbetsutförande ligger utanför vår kontroll, är vårt ansvar begränsat till levererad vara.

CEMENTA AB

Cementa AB	Ordermottagning:
Box 144, 182 12 Danderyd	3:e Industrig. 4, 681 00 Kristinehamn
Telefon 08-625 68 00	Telefon 0550-808 14
Telefax 08-625 68 98	Telefax 0550-810 16
E-post danderyd@cementa.scancem.com	
Hemsida www.cementa.se	

Cementa SR 20



TILLSATSMEDELTYP

Cementa SR 20 är en supereffektiv flyttillsats för betong och cementbruk baserad på polykarboxylateter. Den är speciellt lämplig för vibreringsfri, självkompakterande betong eller när man önskar särskilt hög vattenreduktion eller flyteffekt. En framträdande fördel med Cementa SR 20 är det extremt långa öppethållandet av flyteffekten. De ingående ämnena är vid normal hantering inte farliga för vare sig hälsa eller miljö. Produkten är därför inte riskmärkt.

NORMER

Cementa SR 20 är certifierad enligt gällande normer.

HUVUDSAKLIG EFFEKT

Cementa SR 20 är plasticerande och/eller vattenreducerande och är särskilt lämplig där extra höga krav ställs på flyteffekt och vattenreduktion med extra långt öppethållande.

SEKUNDÄRA EFFEKTER

Cementa SR 20 har en retarderande effekt.

BIEFFEKTER VID OLIKA TEMPERATURER

Tillstyvnadstiden ökar vid låga och minskar vid höga temperaturer.

KOMBINATION MED ANDRA TILLSATSMEDEL

Cementa SR 20 kan inte utan vidare kombineras med andra tillsatsmedel. Förundersökning måste göras som visar att aktuell kombination får den förväntade effekten. Kombination med luftporbildare skall ägnas särskild uppmärksamhet så att rätt lufthalt och rätt luftporstruktur erhålles. Dosering av luftporbildaren blir vanligtvis mycket lägre, ofta endast en tiondel av normaldosering.

DOSERING

Räknat som viktprocent på cementvikten

Rekommenderad dosering för stark effekt 0,8–2,0 %

Maximal dosering 3,5 %

En förundersökning med aktuell dosering och aktuella material skall alltid göras.

INVERKAN AV ÖVERDOSERING

Överdoserings kan medföra ökad retardation. Vidare erhålles en så lös konsistens att betongen separerar.

TILLVÄGAGÅNGSSÄTT*Utspädning*

Används normalt i levererad koncentration.

Ordningföljd

Cementa SR 20 tillsättes betongen tillsammans med blandningsvattnet. Aldrig direkt på torra material.

Blandningstid

En något förlängd blandningstid (ca 3 minuter) kan erfordras för full effekt.

TEKNISKA DATA

Form	Vätska
pH	5,5–7,5
Färg	Svagt gul
Kloridhalt	< 0,1 %
Torrhalt	Ca 20 %
Alkalihalt	0,7
Densitet	Ca 1045 kg/m ³
Viskositet	Lättflytande

LAGRING

Cementa SR 20 bör lagras i sluten behållare vid en temperatur mellan 0 och 25°C och med ca 30 minuters omrörning några gånger per dygn. Bör förbrukas inom 6 månader efter leverans eller inom angivet bäst före datum.

Om produkten visar normalt utseende och lukt kan den efter kontroll av effekten även användas efter längre tids lagring. Lagertank bör rengöras från annan produkt före första påfyllning och sedan en gång per år.

DISTRIBUTION

Levereras i 200 l fat, 1000 l container, eller löst i tankbil. Distribution sker från vårt lager i Kristinehamn.

SKYDDSANVISNINGAR

Produkten är sammansatt så att den vid normal hantering inte medför några risker för vare sig hälsa eller miljö. Skyddsanvisningar kan dock erhållas ur vårt varuinformationsblad.

ÖVRIGT

Ovanstående uppgifter är vägledande och då bl.a. arbetsutförandet ligger utanför vår kontroll är vårt ansvar begränsat till levererad vara.

CEMENTA AB

Cementa AB	Ordermottagning:
Box 144, 182 12 Danderyd	Kilshammarg. 5, 681 30 Kristinehamn
Telefon 08-625 68 00	Telefon 0550-808 14
Telefax 08-625 68 98	Telefax 0550-810 16
E-post danderyd@cementa.scancem.com	
Hemsida www.cementa.se	

Appendix B

B:1-B:2

Förförsök vid LTH

Resultat från förförsök vid LTH

				P40	92M	SR20	5 min.	15 min.	30 min.	60 min.
1	55/45	190	475				10			
2	40/60	190	475				35			
3	30/70	190	475				30			
4	40/60	200	500				60			
5	40/60	210	525				95		75	70
6	50/50	200	500	0,3			150		50	
7	50/50	190	475		0,9		220		140	60
8	50/50	180	450	0,3			60	140**		
9	50/50	180	450		0,9		160		55	
10	50/50	200	500	0,9			210		180	165
11	50/50	150	375			1,2	70			
12	50/50	160	400		1,2		40			
13	50/50	160	400			1,4	-			
14	50/50	180	450			0,7	225			

* Tillsatsmedel uppvägdes i viktsprocent av torrsvikt cement

** efter tagning av första sättmättet så tillsattes ytterligare 0,3% tillsatsmedel P40 varpå nytt sättmått togs

- Toppen av betongmassan vek sig och föll åt sidan

Framtaget provningsprogram till huvudförsök i Slite

Prov	vct	Cement	Vatten	Grus/Sten	P 40	92 M	SR 20
1	0,40	575	230	40/60			
2	0,40	550	220	40/60			
3	0,40	525	210	40/60			
4	0,40	475	190	50/50	0,3		
5	0,40	475	190	50/50	0,5		
6	0,40	475	190	50/50	0,7		
7	0,40	450	180	50/50	0,5		
8	0,40	450	180	50/50	0,7		
9	0,40	450	180	50/50	0,9		
10	0,40	425	170	50/50	0,7		
11	0,40	425	170	50/50	0,9		
12	0,40	425	170	50/50	1,1		
13	0,40	450	180	50/50		0,6	
14	0,40	450	180	50/50		0,9	
15	0,40	450	180	50/50		1,2	
16	0,40	425	170	50/50		1,0	
17	0,40	425	170	50/50		1,3	
18	0,40	425	170	50/50		1,6	
19	0,40	400	160	50/50		1,4	
20	0,40	400	160	50/50		1,7	
21	0,40	400	160	50/50		2,0	
22	0,40	450	180	50/50			0,4
23	0,40	450	180	50/50			0,5
24	0,40	450	180	50/50			0,6
25	0,40	425	170	50/50			0,8
26	0,40	425	170	50/50			1,0
27	0,40	425	170	50/50			1,2
28	0,40	400	160	50/50			1,2
29	0,40	400	160	50/50			1,4
30	0,40	400	160	50/50			1,6

Analyser

	Tid (min)			
Sättningsmått (mm)	5	10	30	60
Utbredningsmått (mm)	7	12	32	62
BML-viskosimeter (g, h)		15	35	65

Proctor (min)	> 3.5 MPa
---------------	-----------

Appendix C

Betongrecept huvudförsök, Slite

C:1-C:16

Betongrecept

Betongrecept huvudförsök, Slite

Recept: 220 liter vatten utan tillsatsmedel med ballast 40/60				
Gjutdatum: 01-10-16				
	kg/m ³	densitet	volym l/m ³	kg/30 liter
Degerhamn Anl. Std P	550	3,20	171,9	16,500
Vatten	220	1,00	220	6,600
Cementa P40		1,20	0	0
Cementa Flyt 92 M		1,22	0	0
Cementa SR 20		1,05	0	0
Luft (antagen)	2,00%	0	20	0
Sand 1	197,8	2,65	74,6	5,934
Sand 90	227,8	2,65	86,0	6,835
Grus 2-4	121,4	2,65	45,8	3,643
Grus 4-8	76,4	2,65	28,8	2,291
Sten 8-16	935,1	2,65	352,9	28,054
			1000,0	69,857

Recept: 215 liter vatten utan tillsatsmedel med ballast 40/60				
Gjutdatum: 01-10-17				
	kg/m ³	densitet	volym l/m ³	kg/30 liter
Degerhamn Anl. Std P	537,5	3,20	168,0	16,125
Vatten	215	1,00	215	6,450
Cementa P40		1,20	0	0
Cementa Flyt 92 M		1,22	0	0
Cementa SR 20		1,05	0	0
Luft (antagen)	2,00%	0	20	0
Sand 1	200,8	2,65	75,8	6,024
Sand 90	231,3	2,65	87,3	6,938
Grus 2-4	123,3	2,65	46,5	3,698
Grus 4-8	77,5	2,65	29,3	2,326
Sten 8-16	949,3	2,65	358,2	28,479
			1000,0	70,040

Receipt: 210 liter vatten utan tillsatsmedel med ballast 40/60				
Gjutdatum: 01-10-16				
	kg/m3	densitet	volym l/m3	kg/30 liter
Degerhamn Anl. Std P	525	3,20	164,1	15,750
Vatten	210	1,00	210	6,300
Cementa P40		1,20	0	0
Cementa Flyt 92 M		1,22	0	0
Cementa SR 20		1,05	0	0
Luft (antagen)	2,00%	0	20	0
Sand 1	203,8	2,65	76,9	6,114
Sand 90	234,7	2,65	88,6	7,042
Grus 2-4	125,1	2,65	47,2	3,753
Grus 4-8	78,7	2,65	29,7	2,361
Sten 8-16	963,4	2,65	363,6	28,903
			1000,0	70,222

Receipt: 190 liter vatten utan tillsatsmedel				
Gjutdatum: 01-10-25				
	kg/m3	densitet	volym l/m3	kg/30 liter
Degerhamn Anl. Std P	475	3,20	148,4	14,250
Vatten	190	1,00	190	5,700
Cementa P40		1,20	0	0
Cementa Flyt 92 M		1,22	0	0
Cementa SR 20		1,05	0	0
Luft (antagen)	2,00%	0	20	0
Sand 1	269,7	2,65	101,8	8,091
Sand 90	310,6	2,65	117,2	9,319
Grus 2-4	165,6	2,65	62,5	4,967
Grus 4-8	104,1	2,65	39,3	3,124
Sten 8-16	850,0	2,65	320,8	25,501
			1000,0	70,952

Receipt: 180 liter vatten utan tillsatsmedel				
Gjutdatum: 01-10-26				
	kg/m3	densitet	volym l/m3	kg/30 liter
Degerhamn Anl. Std P	450	3,20	140,6	13,500
Vatten	180	1,00	180	5,400
Cementa P40		1,20	0	0
Cementa Flyt 92 M		1,22	0	0
Cementa SR 20		1,05	0	0
Luft (antagen)	2,00%	0	20	0
Sand 1	277,2	2,65	104,6	8,315
Sand 90	319,3	2,65	120,5	9,578
Grus 2-4	170,2	2,65	64,2	5,105
Grus 4-8	107,0	2,65	40,4	3,211
Sten 8-16	873,6	2,65	329,7	26,209
			1000,0	71,317

Receipt: 190 liter vatten 0,3% P40				
Gjutdatum: 01-10-17				
	kg/m3	densitet	volym l/m3	kg/30 liter
Degerhamn Anl. Std P	475	3,20	148,4	14,250
Vatten	190	1,00	190	5,700
Cementa P40	0,30%	1,20	1,19	0,0428
Cementa Flyt 92 M		1,22	0	0
Cementa SR 20		1,05	0	0
Luft (antagen)	2,00%	0	20	0
Sand 1	269,2	2,65	101,6	8,076
Sand 90	310,1	2,65	117,0	9,302
Grus 2-4	165,2	2,65	62,4	4,957
Grus 4-8	103,9	2,65	39,2	3,118
Sten 8-16	848,5	2,65	320,2	25,454
			1000,0	70,899

Recept: 190 liter vatten 0,15% P40				
Gjutdatum: 01-10-22				
	kg/m3	densitet	volym l/m3	kg/30 liter
Degerhamn Anl. Std P	475	3,20	148,4	14,250
Vatten	190	1,00	190	5,700
Cementa P40	0,15%	1,20	0,59	0,0214
Cementa Flyt 92 M		1,22	0	0
Cementa SR 20		1,05	0	0
Luft (antagen)	2,00%	0	20	0
Sand 1	269,4	2,65	101,7	8,083
Sand 90	310,4	2,65	117,1	9,311
Grus 2-4	165,4	2,65	62,4	4,962
Grus 4-8	104,0	2,65	39,3	3,121
Sten 8-16	849,2	2,65	320,5	25,477
			1000,0	70,925

Recept: 190 liter vatten 0,075% P40				
Gjutdatum: 01-10-19				
	kg/m3	densitet	volym l/m3	kg/30 liter
Degerhamn Anl. Std P	475	3,20	148,4	14,250
Vatten	190	1,00	190	5,700
Cementa P40	0,075%	1,20	0,30	0,0107
Cementa Flyt 92 M		1,22	0	0
Cementa SR 20		1,05	0	0
Luft (antagen)	2,00%	0	20	0
Sand 1	269,6	2,65	101,7	8,088
Sand 90	310,5	2,65	117,2	9,315
Grus 2-4	165,5	2,65	62,5	4,965
Grus 4-8	104,1	2,65	39,3	3,123
Sten 8-16	849,6	2,65	320,6	25,488
			1000,0	70,940

Receipt: 180 liter vatten 0,7% P40				
Gjutdatum: 01-10-18				
	kg/m3	densitet	volym l/m3	kg/30 liter
Degerhamn Anl. Std P	450	3,20	140,6	13,500
Vatten	180	1,00	180	5,400
Cementa P40	0,70%	1,20	2,63	0,0945
Cementa Flyt 92 M		1,22	0	0
Cementa SR 20		1,05	0	0
Luft (antagen)	2,00%	0	20	0
Sand 1	276,1	2,65	104,2	8,283
Sand 90	318,0	2,65	120,0	9,540
Grus 2-4	169,5	2,65	64,0	5,085
Grus 4-8	106,6	2,65	40,2	3,198
Sten 8-16	870,2	2,65	328,4	26,106
			1000,0	71,207

Receipt: 180 liter vatten 0,5% P40				
Gjutdatum: 01-10-17				
	kg/m3	densitet	volym l/m3	kg/30 liter
Degerhamn Anl. Std P	450	3,20	140,6	13,500
Vatten	180	1,00	180	5,400
Cementa P40	0,50%	1,20	1,88	0,0675
Cementa Flyt 92 M		1,22	0	0
Cementa SR 20		1,05	0	0
Luft (antagen)	2,00%	0	20	0
Sand 1	276,4	2,65	104,3	8,292
Sand 90	318,4	2,65	120,2	9,552
Grus 2-4	169,7	2,65	64,0	5,091
Grus 4-8	106,7	2,65	40,3	3,201
Sten 8-16	871,2	2,65	328,8	26,136
			1000,0	71,240

Recept: 180 liter vatten 0,3% P40				
Gjutdatum: 01-10-17				
	kg/m3	densitet	volym l/m3	kg/30 liter
Degerhamn Anl. Std P	450	3,20	140,6	13,500
Vatten	180	1,00	180	5,400
Cementa P40	0,30%	1,20	1,13	0,0405
Cementa Flyt 92 M		1,22	0	0
Cementa SR 20		1,05	0	0
Luft (antagen)	2,00%	0	20	0
Sand 1	276,7	2,65	104,4	8,301
Sand 90	318,7	2,65	120,3	9,561
Grus 2-4	169,9	2,65	64,1	5,097
Grus 4-8	106,9	2,65	40,3	3,207
Sten 8-16	872,2	2,65	329,1	26,166
			1000,0	71,273

Recept: 170 liter vatten 1,1% P40				
Gjutdatum: 01-10-19				
	kg/m3	densitet	volym l/m3	kg/30 liter
Degerhamn Anl. Std P	425	3,20	132,8	12,750
Vatten	170	1,00	170	5,100
Cementa P40	1,10%	1,20	3,90	0,14025
Cementa Flyt 92 M		1,22	0	0
Cementa SR 20		1,05	0	0
Luft (antagen)	2,00%	0	20	0
Sand 1	283,1	2,65	106,8	8,492
Sand 90	326,0	2,65	123,0	9,780
Grus 2-4	173,8	2,65	65,6	5,213
Grus 4-8	109,3	2,65	41,2	3,279
Sten 8-16	892,2	2,65	336,7	26,765
			1000,0	71,519

Receipt: 170 liter vatten 0,9% P40				
Gjutdatum: 01-10-22				
	kg/m3	densitet	volym l/m3	kg/30 liter
Degerhamn Anl. Std P	425	3,20	132,8	12,750
Vatten	170	1,00	170	5,100
Cementa P40	0,90%	1,20	3,19	0,11475
Cementa Flyt 92 M		1,22	0	0
Cementa SR 20		1,05	0	0
Luft (antagen)	2,00%	0	20	0
Sand 1	283,4	2,65	106,9	8,502
Sand 90	326,4	2,65	123,2	9,792
Grus 2-4	173,9	2,65	65,6	5,217
Grus 4-8	109,4	2,65	41,3	3,282
Sten 8-16	893,1	2,65	337,0	26,793
			1000,0	71,551

Receipt: 170 liter vatten 0,7% P40				
Gjutdatum: 01-10-18				
	kg/m3	densitet	volym l/m3	kg/30 liter
Degerhamn Anl. Std P	425	3,20	132,8	12,750
Vatten	170	1,00	170	5,100
Cementa P40	0,70%	1,20	2,48	0,08925
Cementa Flyt 92 M		1,22	0	0
Cementa SR 20		1,05	0	0
Luft (antagen)	2,00%	0	20	0
Sand 1	283,7	2,65	107,1	8,511
Sand 90	326,7	2,65	123,3	9,801
Grus 2-4	174,1	2,65	65,7	5,223
Grus 4-8	109,5	2,65	41,3	3,285
Sten 8-16	894,0	2,65	337,4	26,820
			1000,0	71,579

Recept: 180 liter vatten 0,4 % 92 M				
Gjutdatum: 01-10-18				
	kg/m3	densitet	volym l/m3	kg/30 liter
Degerhamn Anl. Std P	450	3,20	140,6	13,500
Vatten	180	1,00	180	5,400
Cementa P40		1,20	0	0
Cementa Flyt 92 M	0,40%	1,22	1,48	0,0540
Cementa SR 20		1,05	0	0
Luft (antagen)	2,00%	0	20	0
Sand 1	276,6	2,65	104,4	8,298
Sand 90	318,6	2,65	120,2	9,558
Grus 2-4	169,8	2,65	64,1	5,094
Grus 4-8	106,8	2,65	40,3	3,204
Sten 8-16	871,8	2,65	329,0	26,153
			1000,0	71,261

Recept: 180 liter vatten 0,2 % 92 M				
Gjutdatum: 01-10-22				
	kg/m3	densitet	volym l/m3	kg/30 liter
Degerhamn Anl. Std P	450	3,20	140,6	13,500
Vatten	180	1,00	180	5,400
Cementa P40		1,20	0	0
Cementa Flyt 92 M	0,20%	1,22	0,74	0,0270
Cementa SR 20		1,05	0	0
Luft (antagen)	2,00%	0	20	0
Sand 1	276,9	2,65	104,5	8,307
Sand 90	318,9	2,65	120,3	9,567
Grus 2-4	170,0	2,65	64,2	5,100
Grus 4-8	106,9	2,65	40,3	3,207
Sten 8-16	872,7	2,65	329,3	26,181
			1000,0	71,289

Recept: 180 liter vatten 0,1 % 92 M				
Gjutdatum: 01-10-24				
	kg/m3	densitet	volym l/m3	kg/30 liter
Degerhamn Anl. Std P	450	3,20	140,6	13,500
Vatten	180	1,00	180	5,400
Cementa P40		1,20	0	0
Cementa Flyt 92 M	0,10%	1,22	0,37	0,0135
Cementa SR 20		1,05	0	0
Luft (antagen)	2,00%	0	20	0
Sand 1	277,1	2,65	104,5	8,312
Sand 90	319,1	2,65	120,4	9,573
Grus 2-4	170,1	2,65	64,2	5,103
Grus 4-8	107,0	2,65	40,4	3,210
Sten 8-16	873,2	2,65	329,5	26,196
			1000,0	71,307

Recept: 170 liter vatten 1,0 % 92 M				
Gjutdatum: 01-10-25				
	kg/m3	densitet	volym l/m3	kg/30 liter
Degerhamn Anl. Std P	425	3,20	132,8	12,750
Vatten	170	1,00	170	5,100
Cementa P40		1,20	0	0
Cementa Flyt 92 M	1,00%	1,22	3,48	0,1275
Cementa SR 20		1,05	0	0
Luft (antagen)	2,00%	0	20	0
Sand 1	283,2	2,65	106,9	8,496
Sand 90	326,2	2,65	123,1	9,786
Grus 2-4	173,9	2,65	65,6	5,217
Grus 4-8	109,4	2,65	41,3	3,282
Sten 8-16	892,7	2,65	336,9	26,781
			1000,0	71,540

Recept: 170 liter vatten 0,8 % 92 M				
Gjutdatum: 01-10-19				
	kg/m3	densitet	volym l/m3	kg/30 liter
Degerhamn Anl. Std P	425	3,20	132,8	12,750
Vatten	170	1,00	170	5,100
Cementa P40		1,20	0	0
Cementa Flyt 92 M	0,80%	1,22	2,79	0,1020
Cementa SR 20		1,05	0	0
Luft (antagen)	2,00%	0	20	0
Sand 1	283,5	2,65	107,0	8,505
Sand 90	326,6	2,65	123,2	9,798
Grus 2-4	174,0	2,65	65,7	5,220
Grus 4-8	109,5	2,65	41,3	3,285
Sten 8-16	893,6	2,65	337,2	26,808
			1000,0	71,568

Recept: 170 liter vatten 0,6 % 92 M				
Gjutdatum: 01-10-23				
	kg/m3	densitet	volym l/m3	kg/30 liter
Degerhamn Anl. Std P	425	3,20	132,8	12,750
Vatten	170	1,00	170	5,100
Cementa P40		1,20	0	0
Cementa Flyt 92 M	0,60%	1,22	2,09	0,0765
Cementa SR 20		1,05	0	0
Luft (antagen)	2,00%	0	20	0
Sand 1	283,8	2,65	107,1	8,514
Sand 90	326,9	2,65	123,4	9,807
Grus 2-4	174,2	2,65	65,7	5,226
Grus 4-8	109,6	2,65	41,4	3,288
Sten 8-16	894,6	2,65	337,6	26,838
			1000,0	71,600

Recept: 160 liter vatten 1,4 % 92 M				
Gjutdatum: 01-10-24				
	kg/m3	densitet	volym l/m3	kg/30 liter
Degerhamn Anl. Std P	400	3,20	125,0	12,000
Vatten	160	1,00	160	4,800
Cementa P40		1,20	0	0
Cementa Flyt 92 M	1,40%	1,22	4,59	0,1680
Cementa SR 20		1,05	0	0
Luft (antagen)	2,00%	0	20	0
Sand 1	290,25	2,65	109,5	8,708
Sand 90	334,32	2,65	126,2	10,030
Grus 2-4	178,18	2,65	67,2	5,345
Grus 4-8	112,08	2,65	42,3	3,362
Sten 8-16	914,83	2,65	345,2	27,445
			1000,0	71,858

Recept: 160 liter vatten 1,3 % 92 M				
Gjutdatum: 01-10-26				
	kg/m3	densitet	volym l/m3	kg/30 liter
Degerhamn Anl. Std P	400	3,20	125,0	12,000
Vatten	160	1,00	160	4,800
Cementa P40		1,20	0	0
Cementa Flyt 92 M	1,30%	1,22	4,26	0,1560
Cementa SR 20		1,05	0	0
Luft (antagen)	2,00%	0	20	0
Sand 1	290,38	2,65	109,6	8,711
Sand 90	334,47	2,65	126,2	10,034
Grus 2-4	178,25	2,65	67,3	5,348
Grus 4-8	112,13	2,65	42,3	3,364
Sten 8-16	915,23	2,65	345,4	27,457
			1000,0	71,870

Recept: 160 liter vatten 1,2 % 92 M				
Gjutdatum: 01-10-25				
	kg/m3	densitet	volym l/m3	kg/30 liter
Degerhamn Anl. Std P	400	3,20	125,0	12,000
Vatten	160	1,00	160	4,800
Cementa P40		1,20	0	0
Cementa Flyt 92 M	1,20%	1,22	4,43	0,1620
Cementa SR 20		1,05	0	0
Luft (antagen)	2,00%	0	20	0
Sand 1	290,3	2,65	109,5	8,709
Sand 90	334,4	2,65	126,2	10,032
Grus 2-4	178,2	2,65	67,2	5,346
Grus 4-8	112,1	2,65	42,3	3,363
Sten 8-16	915,0	2,65	345,3	27,450
			1000,0	71,862

Recept: 180 liter vatten 0,4% SR 20				
Gjutdatum: 01-10-22				
	kg/m3	densitet	volym l/m3	kg/30 liter
Degerhamn Anl. Std P	450	3,20	140,6	13,500
Vatten	180	1,00	180	5,400
Cementa P40		1,20	0	0
Cementa Flyt 92 M		1,22	0	0
Cementa SR 20	0,40%	1,05	1,71	0,0540
Luft (antagen)	2,00%	0	20	0
Sand 1	276,5	2,65	104,3	8,294
Sand 90	318,4	2,65	120,2	9,553
Grus 2-4	169,7	2,65	64,0	5,091
Grus 4-8	106,8	2,65	40,3	3,203
Sten 8-16	871,4	2,65	328,8	26,141
			1000,0	71,236

Receipt: 180 liter vatten 0,2% SR 20				
Gjutdatum: 02-01-25				
	kg/m3	densitet	volym l/m3	kg/30 liter
Degerhamn Anl. Std P	450	3,20	140,6	13,500
Vatten	180	1,00	180	5,400
Cementa P40		1,20	0	0
Cementa Flyt 92 M		1,22	0	0
Cementa SR 20	0,20%	1,05	0,86	0,0270
Luft (antagen)	2,00%	0	20	0
Sand 1	276,8	2,65	104,5	8,305
Sand 90	318,9	2,65	120,3	9,566
Grus 2-4	169,9	2,65	64,1	5,098
Grus 4-8	106,9	2,65	40,3	3,207
Sten 8-16	872,6	2,65	329,3	26,177
			1000,0	71,280

Receipt: 170 liter vatten 0,4% SR 20				
Gjutdatum: 02-01-22				
	kg/m3	densitet	volym l/m3	kg/30 liter
Degerhamn Anl. Std P	425	3,20	132,8	12,750
Vatten	170	1,00	170	5,100
Cementa P40		1,20	0	0
Cementa Flyt 92 M		1,22	0	0
Cementa SR 20	0,40%	1,05	1,62	0,0510
Luft (antagen)	2,00%	0	20	0
Sand 1	284,0	2,65	107,2	8,520
Sand 90	327,1	2,65	123,4	9,813
Grus 2-4	174,3	2,65	65,8	5,230
Grus 4-8	109,7	2,65	41,4	3,290
Sten 8-16	895,1	2,65	337,8	26,853
			1000,0	71,606

Recept: 170 liter vatten 0,3% SR 20				
Gjutdatum: 02-01-25				
	kg/m3	densitet	volym l/m3	kg/30 liter
Degerhamn Anl. Std P	425	3,20	132,8	12,750
Vatten	170	1,00	170	5,100
Cementa P40		1,20	0	0
Cementa Flyt 92 M		1,22	0	0
Cementa SR 20	0,30%	1,05	1,21	0,0383
Luft (antagen)	2,00%	0	20	0
Sand 1	284,2	2,65	107,2	8,525
Sand 90	327,3	2,65	123,5	9,819
Grus 2-4	174,4	2,65	65,8	5,233
Grus 4-8	109,7	2,65	41,4	3,292
Sten 8-16	895,6	2,65	338,0	26,869
			1000,0	71,625

Recept: 170 liter vatten 0,2% SR 20				
Gjutdatum: 02-01-22				
	kg/m3	densitet	volym l/m3	kg/30 liter
Degerhamn Anl. Std P	425	3,20	132,8	12,750
Vatten	170	1,00	170	5,100
Cementa P40		1,20	0	0
Cementa Flyt 92 M		1,22	0	0
Cementa SR 20	0,20%	1,05	0,81	0,0255
Luft (antagen)	2,00%	0	20	0
Sand 1	284,33	2,65	107,3	8,530
Sand 90	327,49	2,65	123,6	9,825
Grus 2-4	174,54	2,65	65,9	5,236
Grus 4-8	109,79	2,65	41,4	3,294
Sten 8-16	896,15	2,65	338,2	26,885
			1000,0	71,645

Recept: 160 liter vatten 0,8% SR 20				
Gjutdatum: 02-01-22				
	kg/m3	densitet	volym l/m3	kg/30 liter
Degerhamn Anl. Std P	400	3,20	125,0	12,000
Vatten	160	1,00	160	4,800
Cementa P40		1,20	0	0
Cementa Flyt 92 M		1,22	0	0
Cementa SR 20	0,80%	1,05	3,05	0,0960
Luft (antagen)	2,00%	0	20	0
Sand 1	290,9	2,65	109,8	8,727
Sand 90	335,0	2,65	126,4	10,050
Grus 2-4	178,6	2,65	67,4	5,358
Grus 4-8	112,3	2,65	42,4	3,369
Sten 8-16	916,8	2,65	346,0	27,504
			1000,0	71,904

Recept: 160 liter vatten 0,6% SR 20				
Gjutdatum: 02-01-23				
	kg/m3	densitet	volym l/m3	kg/30 liter
Degerhamn Anl. Std P	400	3,20	125,0	12,000
Vatten	160	1,00	160	4,800
Cementa P40		1,20	0	0
Cementa Flyt 92 M		1,22	0	0
Cementa SR 20	0,60%	1,05	2,29	0,0720
Luft (antagen)	2,00%	0	20	0
Sand 1	291,2	2,65	109,9	8,737
Sand 90	335,4	2,65	126,6	10,063
Grus 2-4	178,8	2,65	67,5	5,363
Grus 4-8	112,5	2,65	42,4	3,374
Sten 8-16	917,9	2,65	346,4	27,536
			1000,0	71,945

Recept: 160 liter vatten 0,4% SR 20				
Gjutdatum: 02-01-24				
	kg/m3	densitet	volym l/m3	kg/30 liter
Degerhamn Anl. Std P	400	3,20	125,0	12,000
Vatten	160	1,00	160	4,800
Cementa P40		1,20	0	0
Cementa Flyt 92 M		1,22	0	0
Cementa SR 20	0,40%	1,05	1,52	0,0480
Luft (antagen)	2,00%	0	20	0
Sand 1	291,5	2,65	110,0	8,746
Sand 90	335,8	2,65	126,7	10,073
Grus 2-4	179,0	2,65	67,5	5,369
Grus 4-8	112,6	2,65	42,5	3,377
Sten 8-16	918,8	2,65	346,7	27,564
			1000,0	71,977

Appendix D

D:1-D:6 Resultat av konsistensmätningar, Slite

Sättmått (mm)

Vatten (l/m ³)	Cement (kg/m ³)	Tillsatsmedel			Sättmått 5, 10, 30, 60 minuter			
		P 40	92 M	SR 20				
220	550				230	190	195	190
215	537,5				220	190	190	170
210	525				110	90	60	50
190	475				180	150	140	75
180	450				110	85	50	40
190	475	0,30%			190	155	110	75
190	475	0,15%			190	170	135	90
190	475	0,075%			185	165	120	85
180	450	0,70%			225	205	160	135
180	450	0,50%			190	170	140	65
180	450	0,30%			165	125	65	50
170	425	1,10%			225	205	170	90
170	425	0,90%			200	170	90	55
170	425	0,70%			10	-	-	-
180	450		0,40%		180	155	85	55
180	450		0,20%		160	110	70	45
180	450		0,10%		140	90	55	50
170	425		1,00%		195	165	75	55
170	425		0,80%		165	145	80	50
170	425		0,60%		130	90	60	50
160	400		1,40%		220	180	90	60
160	400		1,30%		175	110*	55	30
160	400		1,20%		90*	70**	40	25
180	450			0,40%	240	245	210	190
180	450			0,20%	200	185	140	75
170	425			0,40%	200	210	185	150
170	425			0,30%	190	170	90	50
170	425			0,20%	110	80	50	45
160	400			0,80%	205	230	235	210
160	400			0,60%	210	215	220	190
160	400			0,40%	180	185	170	40

* = 2 minuters försening p g a att sättmåttet föll åt sidan och provet fick göras om

** = följdförsening p g a att tidigare prov blev försenat

Utbredningsmått (mm)

Vatten (l/m ³)	Cement (kg/m ³)	Tillsatsmedel			Utbr.mått 6, 11, 31, 61 minuter			
		P 40	92 M	SR 20				
210	525				450	445	380	370
215	537,5				660	615	580	535
220	550				655	615	605	585
190	475				515	510	495	460
180	450				455	435	410	355
190	475	0,30%			550	500	445	395
190	475	0,15%			550	525	505	470
190	475	0,075%			555	525	480	445
180	450	0,70%			655	600	525	480
180	450	0,50%			575	535	500	425
180	450	0,30%			505	480	415	400
170	425	1,10%			675	595	515	495
170	425	0,90%			580	500	460	390
170	425	0,70%			-	-	-	-
180	450		0,40%		525	490	420	400
180	450		0,20%		500	450	420	390
180	450		0,10%		485	450	410	380
170	425		1,00%		545	510	425	380
170	425		0,80%		550	475	430	395
170	425		0,60%		470	455	405	385
160	400		1,40%		610	545	425	365
160	400		1,30%		515	460*	380	335
160	400		1,20%		480*	430**	345	-
180	450			0,40%	685	730	645	575
180	450			0,20%	575	545	460	410
170	425			0,40%	590	620	540	460
170	425			0,30%	540	500	415	380
170	425			0,20%	470	440	390	360
160	400			0,80%	600	675	695	650
160	400			0,60%	605	630	645	555
160	400			0,40%	505	540	405	350

* = 2 minuters försening p g a att sättmättet föll åt sidan och provet fick göras om

** = följdförsening p g a att tidigare prov blev försenat

Inre kohesion, G-värde (N/m²)

Vatten	Cement	P 40	92 M	SR 20	G-Värde 15, 35, 65 minuter		
210	525				-	-	-
215	537,5				2,06	2,44	3
220	550				1,42	2,03	2,31
190	475				INV	5,53	6,86
180	450				-	-	-
190	475	0,30%			4,29	6,45	-
190	475	0,15%			3,81	5,39	-
190	475	0,075%			4,52	5,64	7,66
180	450	0,70%			2,53	3,24	4,78
180	450	0,50%			3,4**	5,43	-
180	450	0,30%			5,73*	-	-
170	425	1,10%			INV	3,08	5,79
170	425	0,90%			3,43	6,13 α	-
170	425	0,70%			-	-	-
180	450		0,40%		4,37	7,03	-
180	450		0,20%		5,85	-	-
180	450		0,10%		5,99	-	-
170	425		1,00%		4,39*	7,22*	-
170	425		0,80%		4,8	6,66	-
170	425		0,60%		3,65	-	-
160	400		1,40%		2,5	5,38*	-
160	400		1,30%		4,79	-	-
160	400		1,20%		9,09	-	-
180	450			0,40%	0,43	1,03	2,15
180	450			0,20%	3,03**	5,56	6,58
170	425			0,40%	1,55	2,31	4,6
170	425			0,30%	3,01	6,6	
170	425			0,20%	5,17		
160	400			0,80%	sep.		
160	400			0,60%	sep.		
160	400			0,40%	3,16	7,16	

* = 2 minuter försenat

** = 3 minuter försenat

 α = 5 minuter försenat

INV = Fungerade ej trots omstart

sep. = separation

Viskositet, H-värde (Ns/m²)

Prov	Vatten	Cement	P 40	92 M	SR 20	H-Värde 15, 35, 65 minuter		
1	210	525				-	-	-
6	215	537,5				6,43	5,78	7,16
2	220	550				4,93	5,24	6,55
22	190	475				INV	11,91	14,05
24	180	450				-	-	-
3	190	475	0,30%			9,64	14,5	-
4	190	475	0,15%			11,3	12,34	-
15	190	475	0,075%			13,56	14,11	14,77
7	180	450	0,70%			6,07 ^α	9,83	12,91
5	180	450	0,50%			8,52**	12,91	-
10	180	450	0,30%			13,67	-	-
11	170	425	1,10%			INV	17,42	18,93
14	170	425	0,90%			15,46	18,59*	-
9	170	425	0,70%			-	-	-
8	180	450		0,40%		14,53	15,5	-
17	180	450		0,20%		16,44	-	-
19	180	450		0,10%		14,28	-	-
20	170	425		1,00%		14,62*	15,5*	-
12	170	425		0,80%		17,04	15,13	-
16	170	425		0,60%		10,15	-	-
18	160	400		1,40%		22,1	19,11*	-
23	160	400		1,30%		18,66	-	-
21	160	400		1,20%		19,77	-	-
13	180	450			0,40%	9,81	12,77	14,73
31	180	450			0,20%	11,7**	14,45	15,11
25	170	425			0,40%	12,05	15,18	18,47
28	170	425			0,30%	18,4	22,11	
26	170	425			0,20%	16,96		
27	160	400			0,80%	sep.		
29	160	400			0,60%	sep.		
30	160	400			0,40%	22,6	24,86	

* = 2 minuter försenat

** = 3 minuter försenat

α = 5 minuter försenat

INV = Fungerade ej trots omstart

sep. = separation

Inträngningsmotstånd (MPa)

Recept	Tid respektive inträngningsmotstånd (MPa)								
210 liter vatten	01:40	03:10	03:25	03:45	04:15	04:47			
grus/sten 40/60	0	0,7	1,25	1,6	3,4	6,4			
215 liter vatten	03:10	03:40	04:35	05:05	05:35	06:12			
grus/sten 40/60	0,1	0,5	1,1	2,8	4,8	11			
180 liter vatten	04:30	05:20	05:40	06:05	06:30	06:54	07:30	07:55	08:18
0,7% P40	0,1	0,4	0,5	0,9	1,4	2,3	2,5	3,9	6,25
180 liter vatten	03:35	4	04:38	05:15	05:40				
0,3% P40	0,75	1,4	2,25	4,75	7,9				
170 liter vatten	05:30	fredag eftermiddag, hann ej mer							
1,1% P40	0								
180 liter vatten	03:05	04:00	04:45	05:20	05:50				
0,4% SR 20	0	0,1	0,9	2,4	3,1				
170 liter vatten	04:05	04:50	05:15	06:20	06:50	07:20	07:50		
0,9% P40	0,1	0,3	0,7	0,9	1,25	2,4	3,4		
170 liter vatten	03:50	04:40	05:15						
0,6% 92 M	1	2,6	5,5						
180 liter vatten	03:35	03:55	04:15	05:10	05:40				
0,2% 92 M	0,25	0,9	1,1	4,7	8,1				
170 liter vatten	03:10	03:30	04:35	05:05	05:25	05:55			
1,0% 92 M	0,2	0,4	1,9	3,5	4,4	8,8			
160 liter vatten	03:05	03:35	03:55	04:25	04:50	05:10	05:55		
1,2% 92 M	0,1	0,4	0,9	1,4	2,5	3,6	9		
170 liter vatten	03:00	03:55	04:30	04:54	05:14	05:33	06:00		
0,4% SR 20	0,13	0,5	1,31	2,1	2,6	4,1	8		
170 liter vatten	02:20	02:54	03:20	05:10	05:50				
0,3% SR 20	0,19	0,31	0,63	3,9	7				
180 liter vatten	02:46	03:06	04:26	05:51					
0,2% SR 20	0,13	0,31	0,94	5,9					

Utförda analyser

	Tid (min)			
Sättmått (mm)	5	10	30	60
Utbredningsmått (mm)	6	11	31	61
BML-viskosimeter (g, h)		15	35	65

Inträngningsmotstånd	> 5 MPa
----------------------	---------

Temperatur

Mätningar utförda direkt efter blandning

Cement (kg/m ³)	Vatten (l/m ³)	Grus/Sten	Tillsatsmedel (%)			Temperatur (°C)
			P40	92 M	SR 20	
550	220	40/60				18,7
537,5	215	40/60				19,7
525	210	40/60				20,7
475	190	50/50				19,7
450	180	50/50				20,0
475	190	50/50	0,3			20,4
475	190	50/50	0,15			19,5
475	190	50/50	0,075			20,7
450	180	50/50	0,7			19,5
450	180	50/50	0,5			19,2
450	180	50/50	0,3			20,8
425	170	50/50	1,1			20,6
425	170	50/50	0,9			20,1
425	170	50/50	0,7			20,9
450	180	50/50		0,4		19,9
450	180	50/50		0,2		19,6
450	180	50/50		0,1		20,2
425	170	50/50		1,0		20,2
425	170	50/50		0,8		20,3
425	170	50/50		0,6		19,7
400	160	50/50		1,4		20,0
400	160	50/50		1,3		20,0
400	160	50/50		1,2		19,8
450	180	50/50			0,4	20,5
450	180	50/50			0,2	19,6
425	170	50/50			0,4	19,9
425	170	50/50			0,3	19,4
425	170	50/50			0,2	18,7
400	160	50/50			0,8	18,6
400	160	50/50			0,6	18,9
400	160	50/50			0,4	19,0

Appendix E

Mätning av värmeutveckling

E:1	Utrustning-Delmaterial
E:2-E:5	Recept
E:6-E:9	Resultat

Värmeutveckling

Instrument/verktyg/material

Kalorimeter TAM Air

Glasampuller med tättslutande lock

Våg (känslighet 1mg)

Sand, Siktad Åstorpssand med kornstorlek $<0.25\text{mm}$

Anläggningscement (CEM I 42,5 BV/SR/LA), se appendix A:3-A:5

Tillsatsmedel: Cementa P40, Cementa Flyt 92 M och Cementa SR 20, se appendix A:6-A:11

Värmeutvecklingsförsök

Datum: 2001-10-30

Tid start: 08:50

Filnamn: Prov1.prw

Temperatur: 22,5

Körtid: 23h 17 min 30 sek

	Cement	Sand	Vatten	tillsatsmedel			Vikt	vct	% tills.	tid bl.
				P40	92M	SR 20				
1	40	15	16				9,876			
2	40,001	15,000	16,004				10,834	0,4001		5
3	40	15	16	0,440			17,448			
4	40,001	15,003	16,024	0,460			15,901	0,4006	1,150	5
5	40	15	16	0,280			13,787			
6	40,004	14,999	16,001	0,312			16,56	0,4000	0,7799	4
7	40	15	16	0,120			16,431			
8	40,004	15,003	16,004	0,131			9,529	0,4001	0,3275	5,5

	Kalibreringskoefficienter (W/V)	Baslinje	Gram cement/prov
1	12,02	-0,0093	5,564
2	12,01	-0,0117	6,103
3	12,10	-0,0121	9,763
4	11,98	-0,1200	8,897
5	12,19	-0,0133	7,734
6	12,40	-0,0135	9,289
7	12,23	-0,0136	9,239
8	12,12	-0,0200	5,358

Värmeutvecklingsförsök

Datum: 2001-10-31
Temperatur: 22

Tid start: 08:50 Filnamn: Prov2.prw
Körtid: 23:37:30

	Cement	Sand	Vatten	tillsatsmedel			Vikt	vct	% tills.	tid bl.
				P40	92M	SR 20				
1	40	15	16		0,56		9,704			
2	40,003	15,005	16,009		0,561		10,912	0,4002	1,402	4,5
3	40	15	16		0,4		13,879			
4	39,998	15,008	16,009		0,403		13,153	0,4002	1,008	3,5
5	40	15	16		0,24		10,531			
6	39,997	15,002	16,007		0,236		12,909	0,4002	0,5900	4
7	40	15	16		0,08		7,73			
8	40,000	15,001	16,001		0,085		7,150	0,4000	0,2125	4

	Kalibreringkoefficienter (W/V):	Baslinje	Gram cement/prov
1	12,02	-0,0093	5,423
2	12,01	-0,0117	6,098
3	12,10	-0,0121	7,773
4	11,98	-0,1200	7,366
5	12,19	-0,0133	5,912
6	12,40	-0,0135	7,247
7	12,23	-0,0136	4,350
8	12,12	-0,0200	4,023

Värmeutvecklingsförsök

Datum: 2001-11-01
Temperatur: 23

Datum: 2001-11-01
Körtid: 23 h 36 min 05 sek

Tid start: 08:57

	Cement	Sand	Vatten	tillsatsmedel			Vikt	vct	% tills.	tid bl.
				P40	92M	SR 20				
1*	40	20	16		0,96		12,023			3,5
2*	39,999	20,002	16,008		0,978		12,596	0,400	2,445	
3	40	15	16			0,56	11,112			4
4	40,001	15,002	16,006			0,568	13,733	0,400	1,420	
5	40	15	16			0,4	13,570			3,5
6	40,001	15,002	16,016			0,411	13,764	0,400	1,027	
7	40	15	16			0,24	14,463			3,5
8	40,006	15,000	16,015			0,240	12,682	0,400	0,5999	

*=lite separation

	Kalibreringskoefficienter (W/V)	Baslinje	Gram cement/prov
1	12,02	-0,0093	6,247
2	12,01	-0,0117	6,544
3	12,10	-0,0121	6,210
4	11,98	-0,1200	7,675
5	12,19	-0,0133	7,599
6	12,40	-0,0135	7,708
7	12,23	-0,0136	8,120
8	12,12	-0,0200	7,120

Värmeutvecklingsförsök

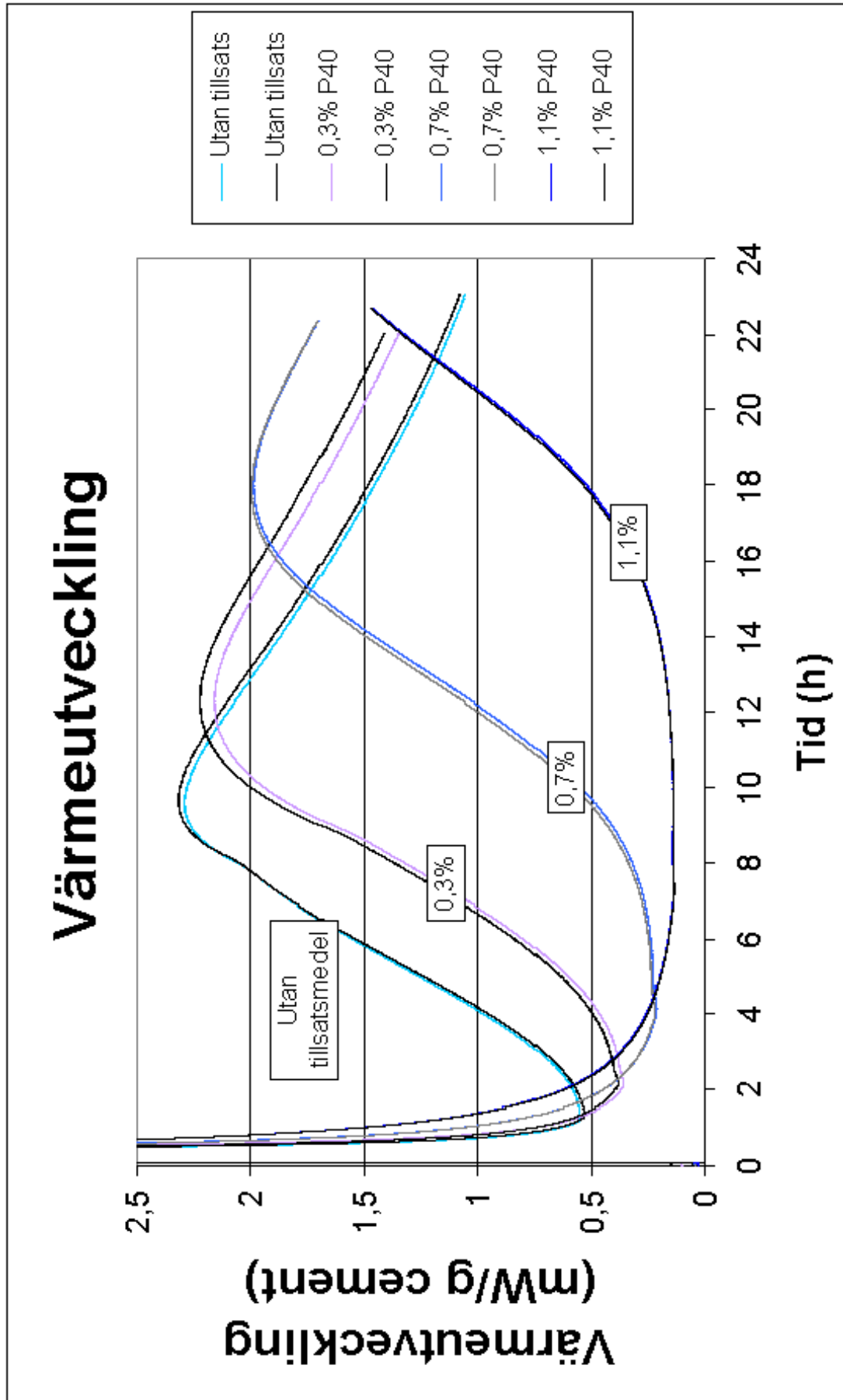
Datum: 2001-11-02
Temperatur: 22,5

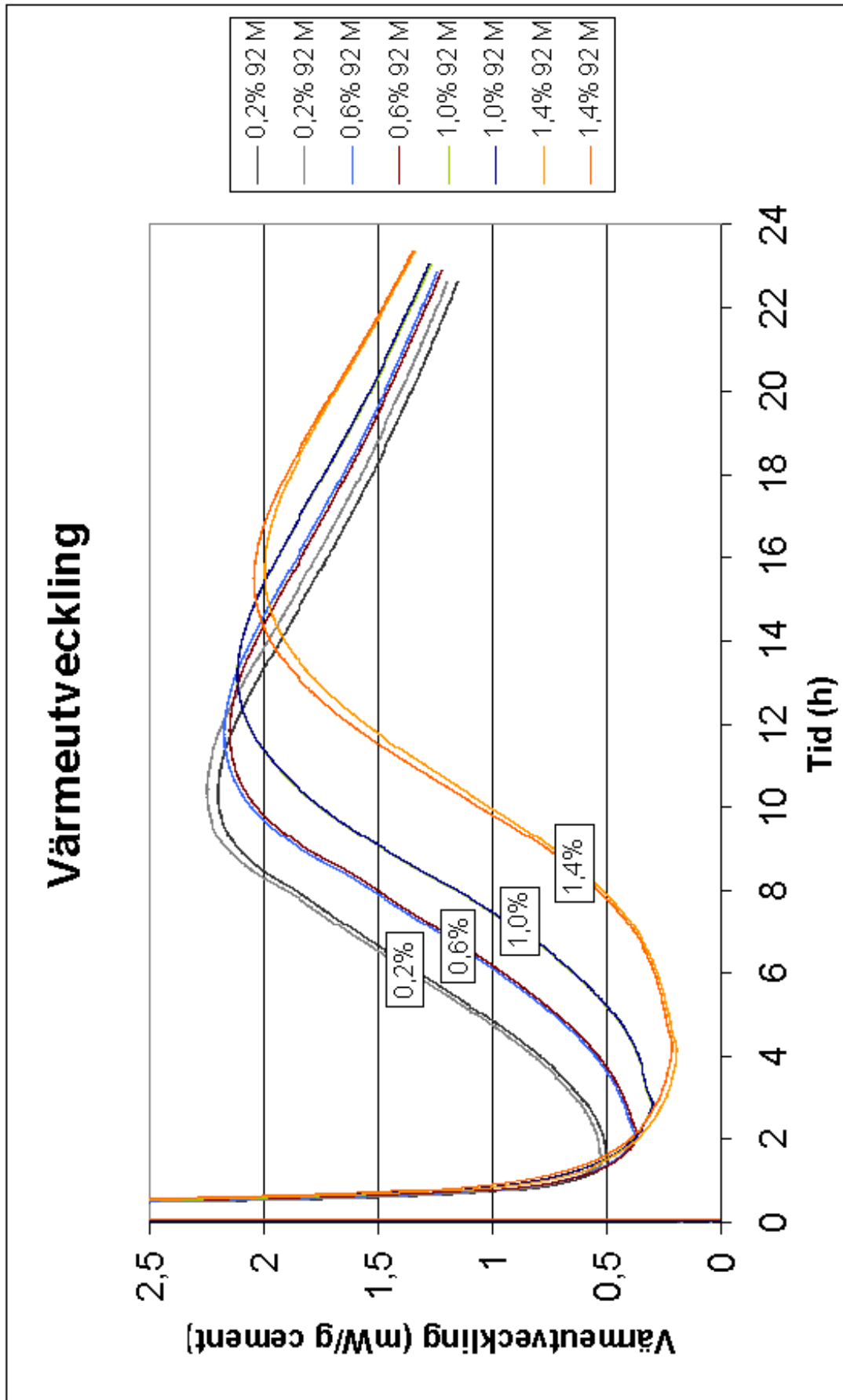
Datum: 2001-11-02
Körtid: 72h 42 min 55 sek

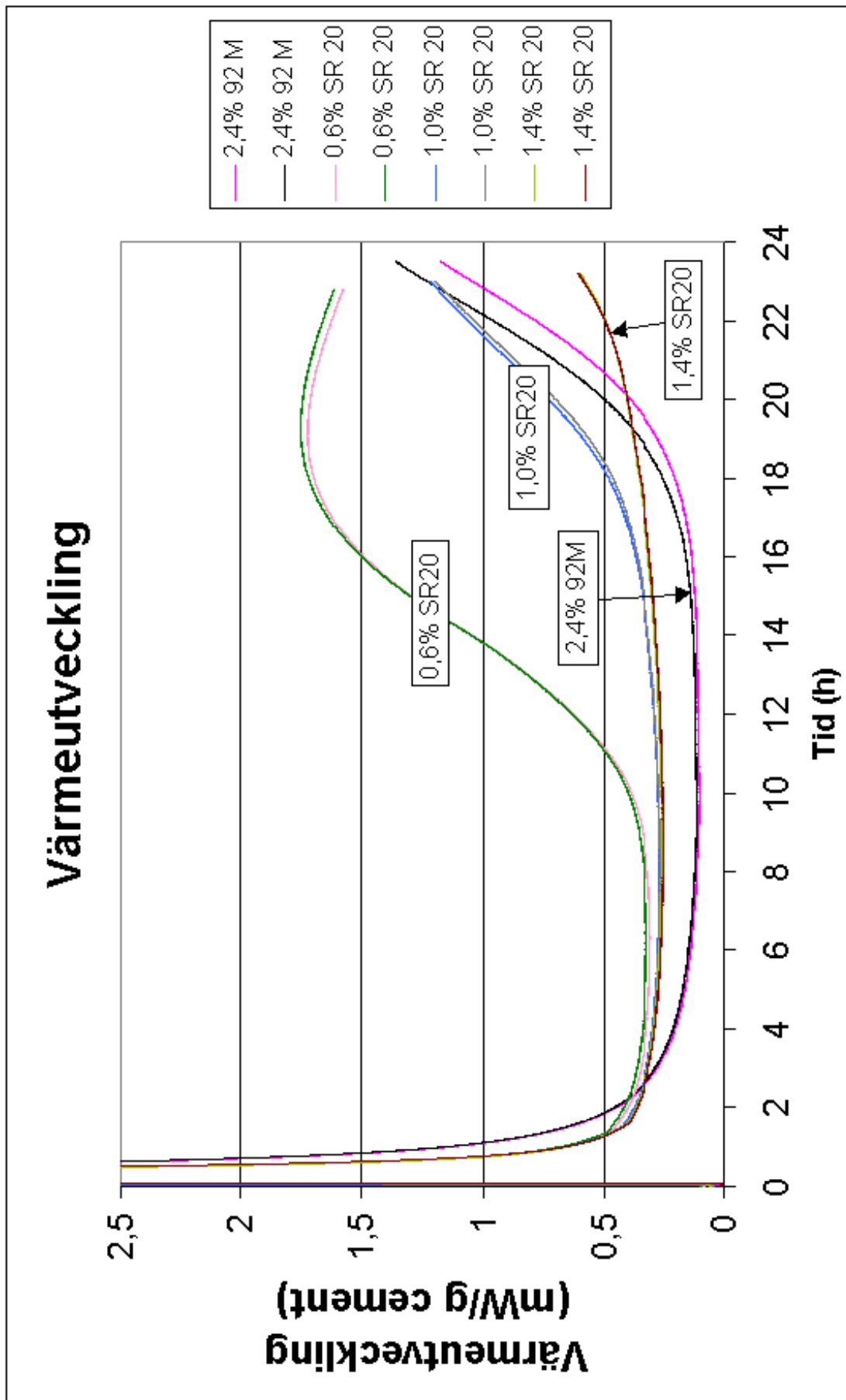
Tid start: 08:46

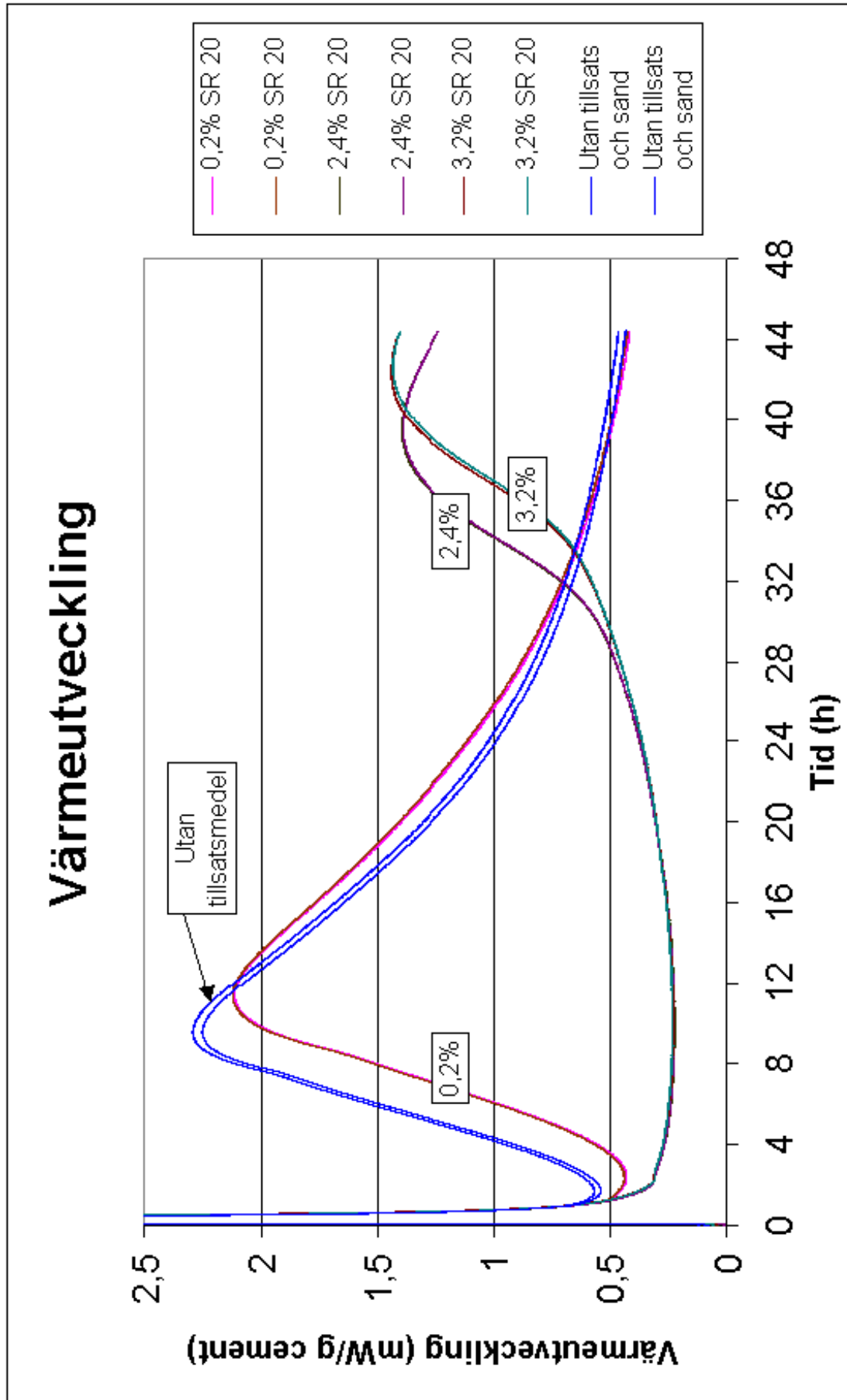
	Cement	Sand	Vatten	Tillsatsmedel			Vikt	vct	% tills.	tid bl.
				P40	92M	SR 20				
1	40	15	16			0,08	11,613			3,5
2	40,000	15,000	16,001			0,083	9,883	0,4000	0,2075	
3	40	20	16			0,96	12,668			4
4	40,002	20,002	16,029			0,967	12,336	0,4007	2,417	
5	40	25	16			1,28	14,179			4
6	40,003	25,004	16,002			1,282	13,235	0,4000	3,205	
7	40	15	16				9,652			4
8	40,001	0	16,004				7,428	0,4001	0	

	Kalibreringskoefficienter (W/V)	Baslinje	Gram cement/prov
1	12,02	-0,0093	6,535
2	12,01	-0,0117	5,561
3	12,10	-0,0121	6,581
4	11,98	-0,1200	6,409
5	12,19	-0,0133	6,893
6	12,40	-0,0135	6,434
7	12,23	-0,0136	6,894
8	12,12	-0,0200	5,305









Appendix F

F:1 Bestämning av minisättnmåt

Minisättmåttförsök

Datum: 2002-02-17

Temperatur: 23

Cement (gram)	Sand (gram)	Vatten (gram)	Tillsatsmedel (%)			vct	% tills.
			P40	92M	SR 20		
100	50	40	0,6				
99,999	49,990	40,025	0,621			0,4003	0,621
100	50	40		0,6			
99,999	50,002	39,994		0,605		0,3999	0,605
100	50	40			0,2		
100,000	49,999	39,994			0,205	0,3999	0,205

	Tid (min) resp. mått (mm)		
	5	30	60
0,6% P40	87,5	63,5	58,5
0,6% 92 M	88,5	61	58
0,2% SR 20	87,5	67	63,5