

## Cementvariationer i silo



**Författare:**

Thomas Johansson och Joakim Larsson

(Skanska)

Peter Billberg, Carsten Vogt och Leif Fjällberg

(CBI)

Stockholm, juni 2011

# FÖRORD

I detta projekt har kvalitetsproblem vid produktion av fabriksbetong studerats och hypotesen att påfyllning metoden av cementsilos kan skapa skikt, som påverkar betongens färska egenskaper.

Problemen visar sig vid produktion av såväl normal betong som mer avancerade betongtyper och kanske mest accentuerat vid produktion av självkompakterande betong (SKB) som är erkänt känslig för variationer hos delmaterialen. SKB är en tekniskt avancerad betongmassa och vid proportioneringen och tillverkning arbetar man ofta med flera olika delmaterial. Variationer i delmaterialen påverkar i synnerhet betongens färska egenskaper och detta medför svårigheter att leverera konsistent betong utan behov av återkommande konsistensjusteringar på fabrik och arbetsplats under gjutningen eller i värsta fall kassering av hela lass.

Arbetet har i huvudsak utförts av medarbetare vid Skanska Teknik och Skanska Betong samt CBI.

Projektets referensgrupp har varit sammansatt av:

Tekn Dr. Hans Hedlund, Skanska Sverige AB

Civ.Ing. Sven-Erik Johansson, Cementa AB

Tekn Dr. Tomas Kutti, AB Färdig betong

Tekn Dr. Patrik Groth, Skanska Sverige AB (BTC).

Projektet har finansierats SBUF, Skanska, CBI, Cementa AB och AB Färdig Betong.

Ett stort tack till projektets finansiärer samt referensgruppens medlemmar.

Göteborg, juni 2011.

Thomas Johansson (projektledare) Skanska Sverige AB, Betongtekniskt Centrum.

# SAMMANFATTNING

För fabriksstillverkad betong inträffar emellanåt oförklarliga variationer i betongens konsistens och sammanhållning under en leveransdag.

Ett typiskt scenario som beskriver problemet ser ut på följande sätt:

När gjutningarna för dagen startas så ”trimmas” betongen in på de första lassen, dvs delmaterialen justeras så att de färskas egenskaperna möter i förväg specificerad konsistens och eventuella övriga krav.

Efter ett antal väl fungerande lass levereras plötsligt betongmassa som har karaktären av dålig stabilitet, t.ex. en ”grymig” konsistens.

Efterföljande lass tappar sedan konsistensen ( sättmåtsförlust) påtagligt och efter dialog med betongfabriken justeras konsistensen med flytmedel eller vatten. Detta åtgärdar problemen tillfälligt, men snart uppstår istället problem med separationstendenser och nu måste flytmedel/vatten justeras på nytt.

I många fall där de relaterade problemen uppstått har det kunnat påvisas att cementpåfyllning har skett som eventuellt skulle kunna förklara varför problemen uppstått.

Hypotesen är att metodiken vid påfyllnad av cement befaras skapa dessa problem genom separation när cementet faller ner i silon. Framförallt befaras att det i gränsskiktet mellan ”gammalt” cement och det nytillförda kan bli en zon med väldigt grovkornigt material som sedan hastigt går över i finare partiklar. Gipset i cementet som bl.a. påverkar cementets bindetid finns sannolikt i större omfattning i den finkornigare delen.

Denna separation skapar m.a.o. olika cementegenskaper i olika nivåer av silon och kan då också påverka betongen på ovan beskrivet sätt.

För att se om hypotesen håller i praktiken har detta projekt genomförts. Det har inneburit uppföljning av betongleveranser och samtidigt kontroll av cement som vägts upp i samband med betongleveranserna.

15 betonglass om vardera 5m<sup>3</sup> levererades. Vid samtliga lass uttogs ca 5 kg cement som analyserades. Betongens konsistens och lufthalt kontrollerades på fabrik och på arbetsplats.

Vid provning av betongen kunde till viss del egenskaperna som beskrivs ovan noteras. Framförallt är det konsistensförlusten som på vissa lass är tydlig.

Jämförelsen mellan cementets egenskaper och betongens uppträdande har dock inte tydligt kunnat visa på samband som kan förklara t.ex. tillstyvnadsproblematiken.

# INNEHÅLL

BAKGRUND .....	5
ORGANISATION.....	7
MÅLSÄTTNING OCH SYFTE.....	7
GENOMFÖRANDE .....	8
TILLVÄGAGÅNGSÄTT .....	8
CEMENTANALYSER .....	10
REOLOGIMÄTNINGAR PÅ CEMENTPASTA.....	10
RÖNTGENDIFFRAKTION (XRD) .....	13
KALORIMETRI .....	15
EXTRA ANALYSER UTFÖRDA PÅ UTVALDA CEMENTPROV .....	17
6. DISKUSSION, BEDÖMNING OCH SLUTSATSER.....	21

## BAKGRUND

För fabrikstillverkad betong inträffar emellanåt oförklarliga variationer i betongens konsistens och sammanhållning under en leveransdag.

I många fall där de relaterade problemen uppstått har det kunnat påvisas att cementpåfyllning har skett som eventuellt skulle kunna förklara varför problemen uppstått.

Hypotesen är att metodiken vid påfyllnad av cement befaras skapa dessa problem.

För att belysa detta bättre ska vi beskriva tillvägagångssättet vid påfyllning av cement:

Cementet transporteras från cementdepå till betongfabrik med s.k. bulkbilar.

Framme på betongfabriken ansluter bulkbilen till en rörledning (bild 1) som leder cementet upp till toppen av betongfabrikens silo. Med hjälp av tryckluft förflyttas cementet från bulkbil till cementsilo (bild 2).



*Bild 1: Stålrörsledning som leder upp till cementsilotopp*





*Bild 2: Påfyllning av cement från bulkbil*

När påfyllning sker är nivån i silon låg vilket innebär att cementet faller en relativt lång sträcka ner i silon.

Beroende på silons utformning och mängd cement som finns i silon innan påfyllning kan den sträcka som cementet faller variera.

I samband med påfyllning av cement i silo sker sannolikt en separation av partiklar, närmast liknande den som sker vid vindsiktning. Finare partiklar skiljs från grövre och t.ex. gips med mindre kornstorlek kan separera från cemenklinkerkornen.

Detta resulterar i att olika skiktningar uppstår i vertikalled i silon och medför således att cement med varierande egenskaper kan vägas upp till olika betongsatser.

Den teoretiska förklaringen till de variationer som uppstår i betongmassan skulle då kunna vara följande :

Till att börja med vägs cement upp som legat i silon innan påfyllning. När nivån där skikten mellan "gammal" cement och det nypåfyllda cementet nås så är detta ett parti med grövre korn. Betongen får alltså ett cement med lägre gipshalt och grövre partikelsystem som binder mindre mängd vatten och leder till det instabila och gryniga utseendet.

Sedan kommer lass som styvnar till och är mer viskösa till sin natur. Då har skiktet med finare partiklar och ett relativt överskott på gips uppvägts.

Reaktionen för klinkerkomponenten C<sub>3</sub>A är den som regleras med gips men är också den som attraherar flytmedel snabbast.

Mer gips ger mer reaktionsprodukter och detta kan förklara konsistensförlusten och ett ökat flytmedelsbehov.

När sedan skikt med relativt underskott på gips vägs upp, så betyder det att den uppjusterade vatten- eller flytmedelsmängden istället skapar en alltför lös konsistens.

När dessa gränsskikt passerats så normaliseras igen leveranserna, men på bekostnad av att ett eller flera lass måste "räddas" med åtgärder innan kunskap finns om att normalisering skett.

## ORGANISATION

### Projektets arbetsgrupp:

Ing. Thomas Johansson, Skanska Sverige AB (BTC). *Projektledare*

Joakim Larsson, Skanska Sverige AB (Asfalt och Betong, Solna).

Tekn Dr. Peter Billberg (CBI).

Dipl. Ing. Carsten Vogt, Fil.lic.

Dipl. Ing. Leif Fjällberg (CBI).

### Projektets referensgrupp

Tekn Dr. Hans Hedlund, Skanska Sverige AB

Civ.Ing. Sven-Erik Johansson, Cementa AB

Tekn Dr. Tomas Kutti, AB Färdig betong

Tekn Dr. Patrik Groth, Skanska Sverige AB (BTC).

## MÅLSÄTTNING OCH SYFTE

Projektet skall ses som en fördjupad förstudie för att utreda och systematiskt kartlägga de troliga och bakomliggande orsakerna till den beskrivna problematiken.

Genom att söka förklaringar och förståelse till denna problematik med cementvariationer så kan också rätta och kontrollerade åtgärder vidtas i framtiden.

Då problematiken inte bara gäller självkompakterande betong utan mer generellt all betongtillverkning så finns det med detta projekt en stor nytta för hela branschen.

# GENOMFÖRANDE

Projektet har genomförts genom provtagning på Skanskas betongfabrik i Solna och Skanskas arbetsplats N:a Länken 11, analyser har genomförts på CBI och på Cementa Research.

## Tillvägagångsätt

För att genomföra projektet krävdes att invänta en lämplig betongleverans som kunde följas upp. Det innebar också att planera så att cementmängden i avsedd silo var anpassad inför betongleveransen.

Planeringen var att ha ca 10 ton cement kvar i silo vid påfyllning. Påfyllning skedde sedan med ca 40 ton.

Innan påfyllning togs ett cementprov ut från bilen. Därefter lossades lasset i cementsilon.

Efter lossning som skedde på eftermiddagen dagen före betongleveransen firades en hink ner i silon. Hinken ställdes på cementets yta och fick sedan stå över natten. Nästa morgon firades hinken upp och innehållet lades i en plasthink och förslöts.

Betongleveransen till N:a Länken 11 innebar en leveranstid på ca 10 minuter från Solnafabriken. 15 lass med 5m<sup>3</sup> i varje lass levererades, alltså totalt 75 m<sup>3</sup>.

Betongkvalitet: C32/40 S3 16 Vct 0,45 Frystestad

**Tabell 1: Betongrecept**

Material	Kg/m <sup>3</sup>
Anläggningscement	390
Grus 0-8	975
Sten 11-16	810
Vatten	173
Flyt Dynamon B	1,6
LP Micro air	0,7

Provtagning skedde både på fabrik och på arbetsplats, resultat se tabell 7.

Cementåtgången för leveransen blir  $390 \text{ kg} \times 75 = 29,25 \text{ ton}$

Ca 10 ton fanns alltså kvar i silon vid påfyllning. Teoretiskt ska då ca 19 ton av de 40 ton som fylldes på förbrukats under leveransen.



För att få en uppfattning om cementets egenskaper för varje lass betong har cementprov uttagits. Detta har skett genom att öppna en lucka på den ledning där cementet skruvas fram till vågen (bild 3). Ca 5 kg cement har på detta sätt tagits ut vid varje uppvägning av cement till aktuell sats betong.



***Bild 3: Ventil för uttag av cement från cementskruv***

Som tidigare nämnts togs även ett cementprov ut från bilen innan lossning. Dessutom har det material som efter påfyllning hamnat i hinken som ställdes på cementytan analyserats.

Mätningar och analyser som utförts på cementproven är följande:

- Reologimätningar (plastisk viskositet och flytgränsspänning) se figur 1-3
- Temperatur se figur 4
- Röntgendiffraktion (XRD) se tabell 2-4
- Kalorimetri se figur 5-9

Kontroll av den färska betongen har skett på följande sätt:

- Kontroll av konsistens (sättnmätt) på fabrik
- Kontroll av konsistens (sättnmätt) på arbetsplats
- Kontroll av lufthalt på fabrik
- Kontroll av lufthalt på arbetsplats

Se tabell 7

På fyra utvalda cementprover utfördes ytterligare analyser, analyserna bestod av:

- Densitetsbestämning
- Specifik yta (Blaine)
- Bindetid
- SO<sub>3</sub>
- CaSO<sub>4</sub>·0,5H<sub>2</sub>O
- CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O
- Partikelstorleksdistribution (Laserdiffraktionsteknik)

Se tabell 6 samt figur 10

## CEMENTANALYSER

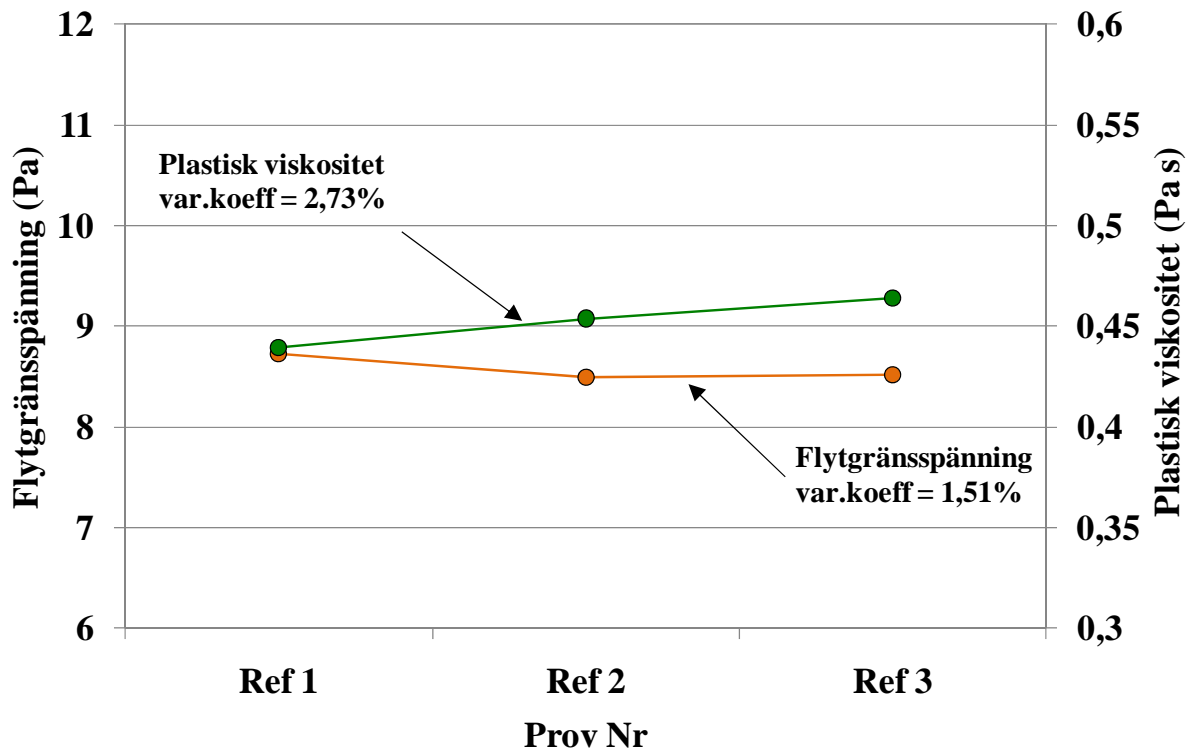
### Reologimätningar på cementpasta

De olika cementprovns inverkan på färskas egenskaper har provats med reologimätningar på cementpasta. Recept för pastan framgår av tabell 1.

**Tabell 2: Recept cementpasta**

Material	Vikt (g)
Anläggningscement	711,5
Vatten	275,6
Sika Eco 12	2,13
vct	0,387

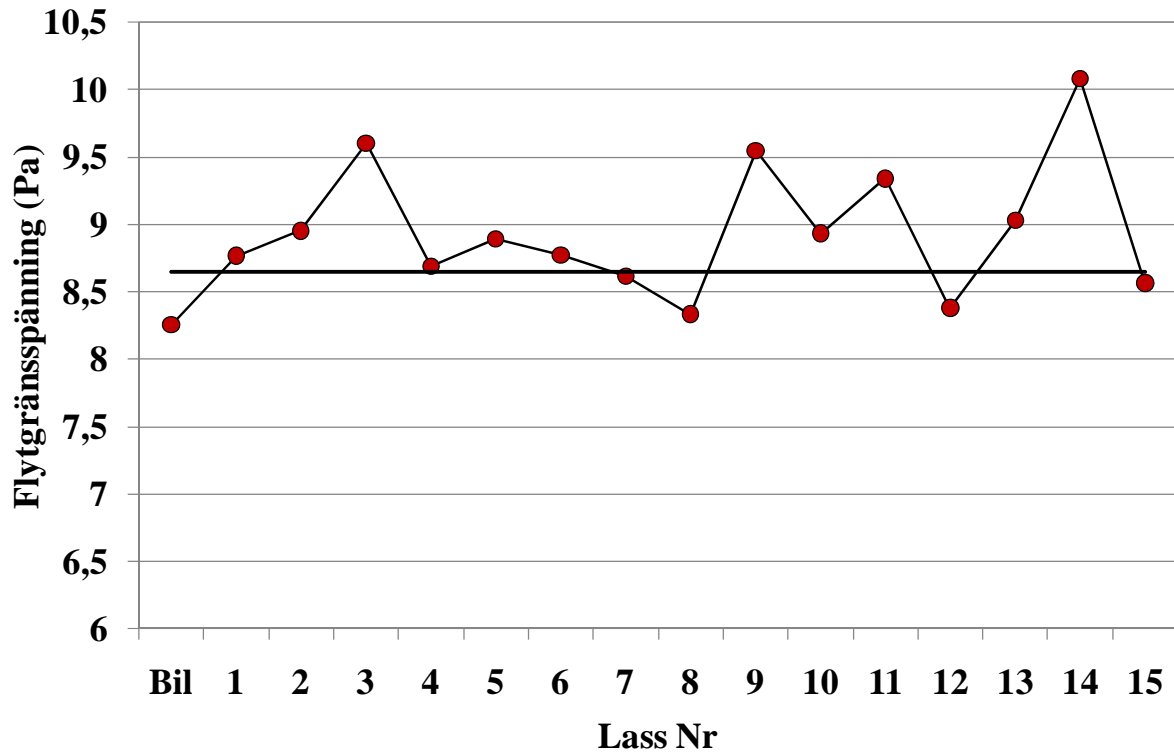
Då eventuella cementvariationer teoretiskt skulle kunna resultera i variationer också hos pastans reologi inleddes provningarna med att fastställa resultatens signifikans. Därför provades tre referenspastor med anläggningscement från CBIs lab. Cementet är säckat och daterat 10-06-23. Resultaten framgår av figur 1 där variationerna i flytgränsspänning och plastisk viskositet framgår. Repeterbarheten är mycket god i det att flytgränsspänningarna för de tre pastorna blev  $8,6 \pm 0,12$  Pa och den plastiska viskositeten  $0,45 \pm 0,01$  Pa s. Variationskoefficient för respektive parameter blev 1,51 % (flytgränsspänning) och 2,73 % (plastisk viskositet). Resultat som varierar mer än för dessa referenspastor bör alltså bero till allra största del av cementets egenskaper och inte av eventuella fel i mätningarna.



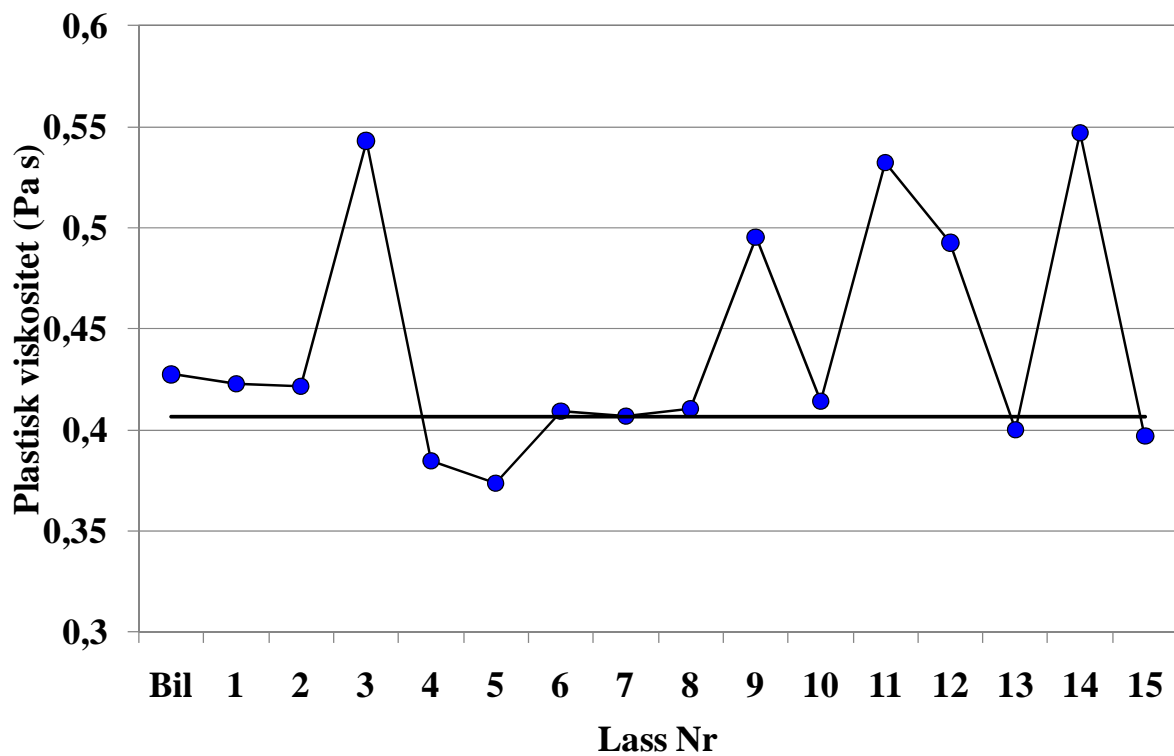
*Figur 1. Kontroll av repeterbarhet på tre referenspastor med cement från CBIs lab.*

Totalt 16 st. cementpastor provades med cement märkta "Från bil" samt "Lass 1" tom. "Lass 15". Variationer i flytgränsspänning framgår av figur 2 och variationer i plastisk viskositet av figur 3. I figur 2 har medelvärde för alla värden under 9 Pa lagts in och i figur 3 medelvärde för all värden mindre eller lika med det för pastan med cement från bil. Detta är gjort för att söka finna nivåer som kan motsvara någon typ av "normalvärden".

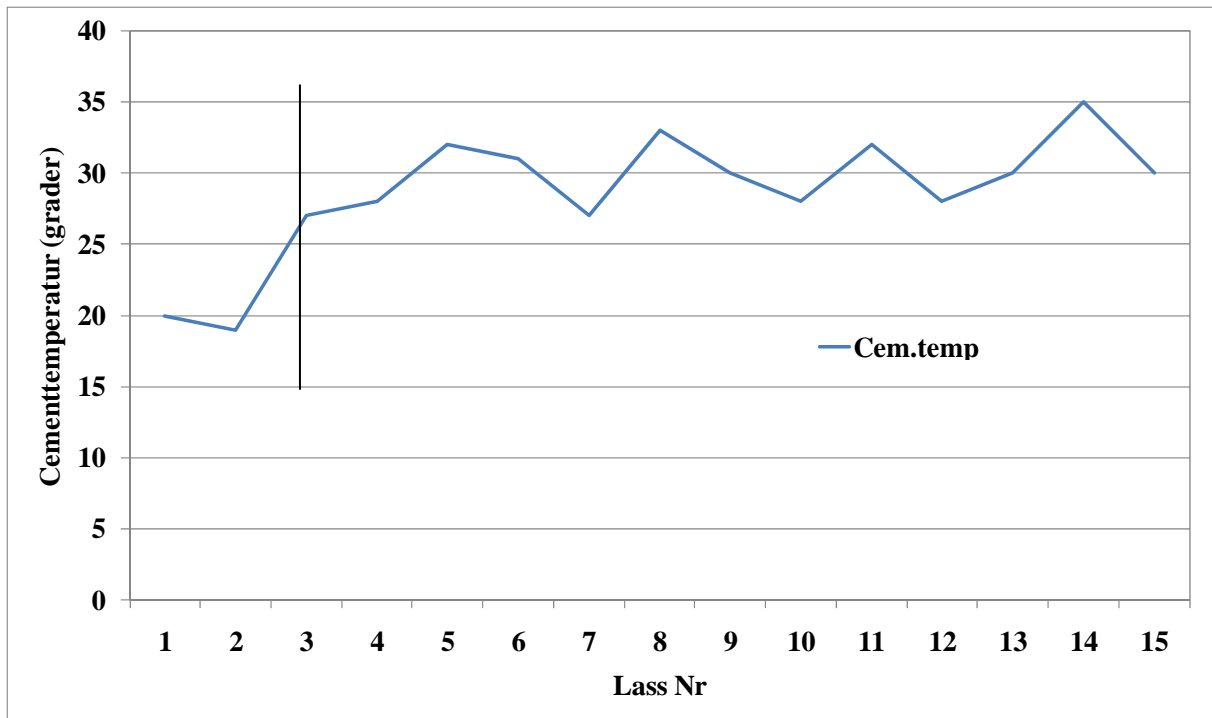
Cement från lass 3 ger pastan såväl en högre flytgränsspänning som plastisk viskositet jämfört med pastorna med cement från lass 1 och 2. I figur 4 visas de olika uttagna cementprovernans temperatur vid tillfället för uttaget. Då temperaturen på cementet i bilen uppmättes till 38,8 °C medan det gamla cementet hade temperatur närmare 20 °C så framgår det tydligt att cement från den nya leveransen kommit med i blandningen från och med lass 3. Med andra ord kan man konstatera att cementet från lass 1 och 2 fanns i silon innan leverans av nytt cement. Vidare ger cement från lass 9, 11 och 14 i princip samma respons som cementet från lass 3. Lass 11 och 14 visar också toppar avseende på temperatur. Men notera att cementtemperaturen i lass 5, 6 och 8 även är hög, utan att reologin påverkats signifikant jämfört med pastorna med cement från lass 1 och lass 2.



Figur 2. Flytgränsspänningens variation för cementpastor med cement från olika uttag.



Figur 3. Plastiska viskositetens variation för cementpastor med cement från olika uttag.



*Figur 4. Uppmätta temperaturer på cement från silo. Trolig gräns mellan gammalt och nytt cement är indikerat vid lass 3.*

## Röntgendiffraktion (XRD)

Med hjälp av röntgendiffraktion, XRD kan man identifiera kristallina föreningar, t.ex. mineral. Ur analysen får man ett så kallat diffraktogram med toppar för olika mineral. Topphöjderna eller intensiteterna för ingående komponenter är ett mått på halten av i fråga varande komponent. För cement kan man identifiera bland annat huvudklinkermineralen och gips. Gipshalten är, som nämnts tidigare, viktig för cementets bindetid och reologi.

XRD-analys har utförts på Lass 1-15 samt Anl. silo och Anl. bil. Intensiteterna för flera toppar av ingående mineral har adderats. Resultaten finns sammanställda i tabell 2 (silo samt lass 1-8) och i tabell 3 (lass 9-15 samt från bil).



**Tabell 3. Toppintensiteter för cement från silon och från lass1-8**

Komponent	Silo	Lass 1	Lass 2	Lass 3	Lass 4	Lass 5	Lass 6	Lass 7	Lass 8
gips	505	487	390	678	513	445	565	466	530
hemihydrat	110	88	85	92	159	98	88	104	144
ferrit	420	455	491	476	440	508	431	519	484
alit	789	886	1144	937	911	1179	810	1174	622
belit	487	476	700	541	511	737	533	580	491
alit+belit	2185	2490	2735	2678	2583	2664	2613	2823	2613

**Tabell 4: Toppintensiteter för cement från lass 9-15 och från bilen**

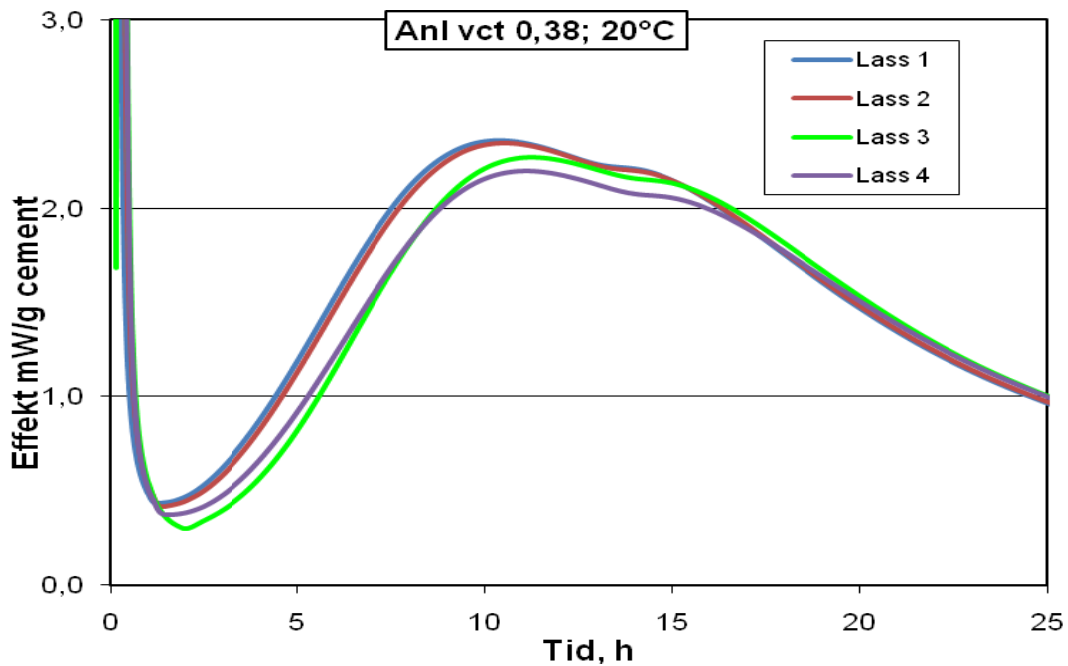
Komponent	Lass 9	Lass 10	Lass 11	Lass 12	Lass 13	Lass 14	Lass 15	Bil
gips	478	479	479	486	537	533	481	471
hemihydrat	83	83	56	128	90	74	79	102
ferrit	503	513	451	462	513	517	475	435
alit	956	1058	823	824	1075	904	900	740
belit	567	504	557	491	494	481	484	491
alit+belit	2808	2721	2305	2669	2847	2754	2549	2685

**Tabell 5: Toppintensiteter för säckat cement. (daterad 2010-06-23)**

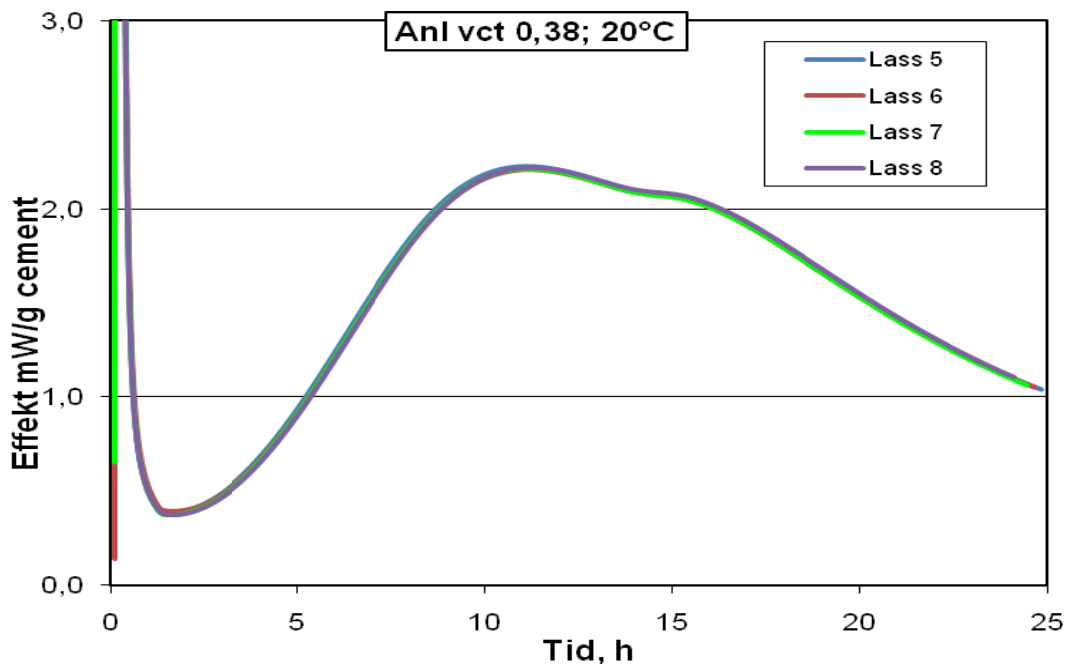
Komponent	Körn. 1	Körn. 2	Körn. 3	Medelvärde
gips	338	547	320	402
hemihydrat	77	114	139	110
ferrit	441	461	410	437
alit	706	984	850	847
belit	435	525	457	472
al+bel	2299	2640	2420	2453

## Kalorimetri

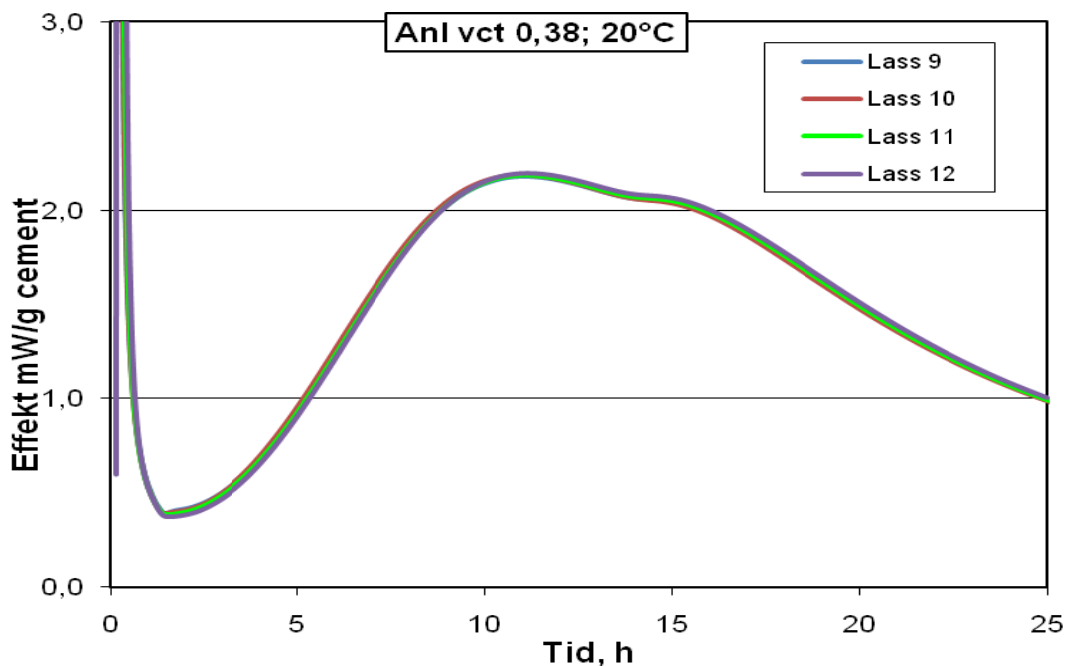
Vid cementshydratationen utvecklas värme som kan registreras med en kalorimeter. Cementpasta med vct 0,38 blandades och provades i en TAM Air isoterm kalorimeter vid 20°C. De provade cementen är de från Lass1-15 samt Anl bil. Resultaten redovisas i figur 5-9.



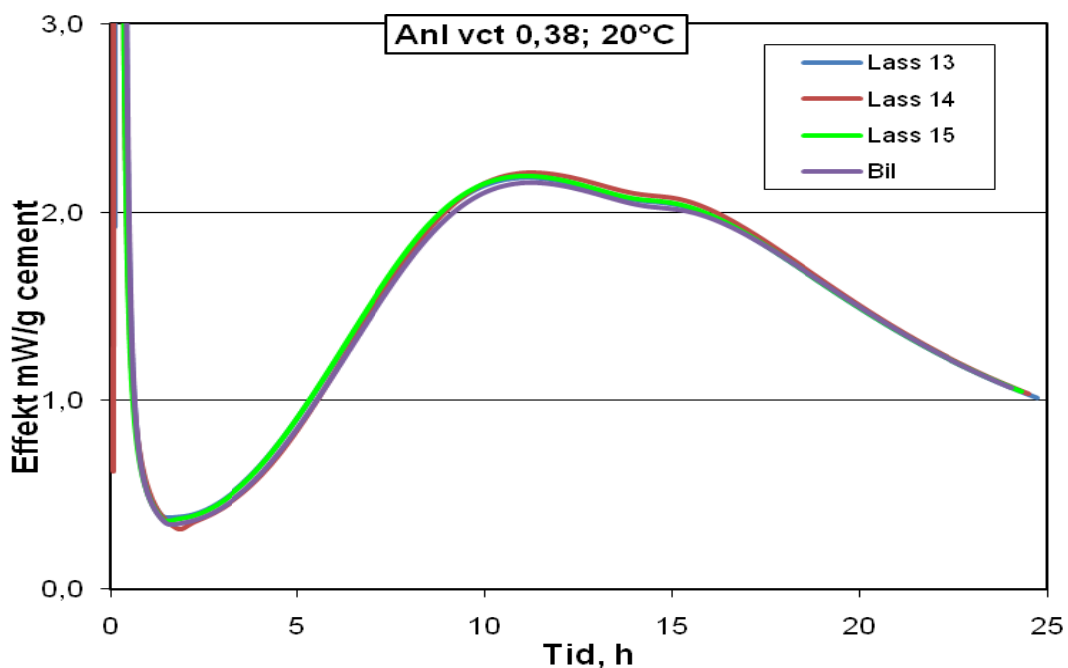
Figur 5: Värmeutvecklingen för Lass 1-4.



Figur 6: Värmeutvecklingen för Lass 5-8.

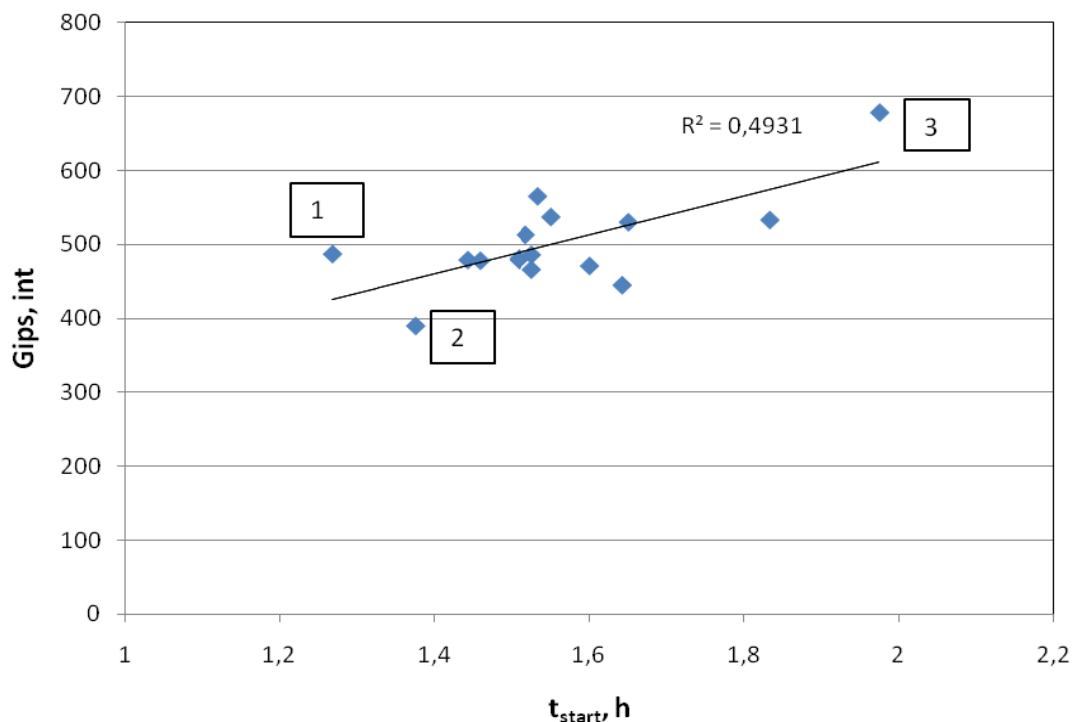


Figur 7: Värmeutvecklingen för Lass 9-12.



Figur 8. Värmeutvecklingen för Lass 13-15 och Anl Bil.

Tidpunkten  $t_{\text{start}}$  då accelerationsperioden för värmeutvecklingen startar ligger mellan ca 1,3 och 2 timmar för proverna. Lass 3 ger den största retardationen med  $t_{\text{start}}$  2,0 timmar och Lass 1 den kortaste tiden med  $t_{\text{start}}$  1,3 timmar. För de övriga proverna ligger  $t_{\text{start}}$  mellan dessa värden. Då förhöjd gipshalt ger retardation (större värde på  $t_{\text{start}}$ ), ritades intensiteten för gips (från XRD) som funktion av  $t_{\text{start}}$ , figur 5. Ett visst samband kan ses.



**Figur 9. Samband mellan gipsintensitet (från XRD) och t<sub>start</sub>. Lassnummer är angivet för några punkter.**

En viss variation förekommer med avseende på gipshalten, som påverkar t<sub>start</sub>, dvs. tidpunkten då accelerationsperioden startar. Lass 3 har den högsta gipshalten och ger också den största retardationen.

Den totala gipshalten (gips+hemihydrat) visar också högst värde för lass 3.

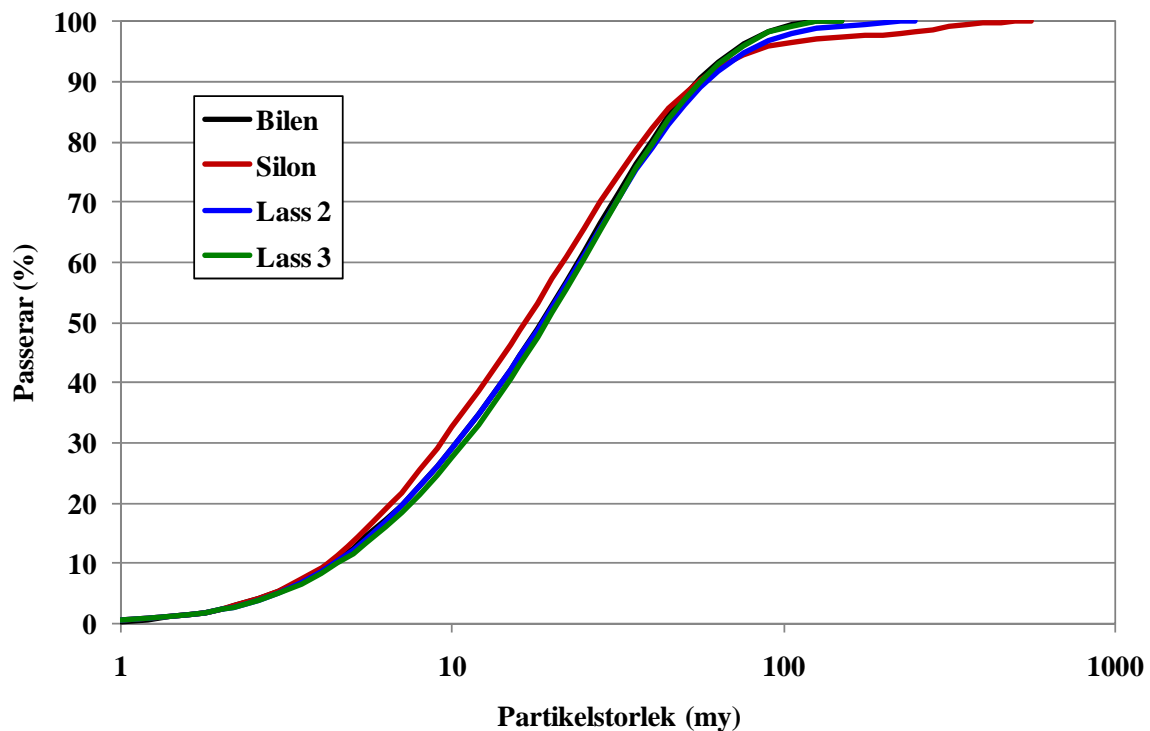
Accelerationsperioden som är starten för cementets bindning visar cementets reaktivitet med avseende på hydrataion. De första reaktionerna och reologin direkt efter tillsatsen av vattnet påverkas av olika komponenters löslighet och behöver inte ha något tydligt samband med bindetiden. Bindetiden kan dock vara ett mått på cementets totala reaktivitet och därmed även tidiga reaktioner.

### Extra analyser utförda på utvalda cementprov

Resultaten från de analyser som gjordes av de 4 utvalda cementproverna redovisas i tabell 5 samt i figur 10 (partikelstorleksfördelning). Det som mest entydigt avviker är provet från hinken. Detta prov innehåller de partiklar som sedimenterat ner under natten, från dess att cementet fyllts på. Normalt skulle alltså provet visa på en betydande partikelfinhet jämfört med de andra, men även större partiklar får toppen av silon hamnade i hinken och därför framgår inte dess finhet så tydligt (men anas ändå i figur 10). Att detta prov innehåller en avsevärd mängd gips framgår dock tydligt. Provmängden från hinken var alltför ringa för analys av vattenbehov och bindetid. De övriga tre cementen visar endast små skillnader.

*Tabell 6: Resultat från utökad cementanalys*

Prov nr	Bilen	Silo	Lass 2	Lass 3
Densitet kg/m <sup>3</sup>	3195	3101	3202	3194
Blaine m <sup>2</sup> /kg	311	379	324	313
Vattenbehov	25,6%	-	25,8%	25,8%
Bindetid (Vicat) minuter	185	-	190	225
SO <sub>3</sub>	2,21%	2,40%	2,23%	2,20%
CaSO <sub>4</sub> x0,5H <sub>2</sub> O	1,2%	1,6%	1,8%	1,6%
CaSO <sub>4</sub> x2H <sub>2</sub> O	2,3%	7,4%	2,0%	2,5%
Avvattningsgrad	33,7%	17,7%	47,7%	38,3%



*Figur 10: Partikelstorleksfördelning för cement från bilen, silon samt lass 2 och 3.*



Tabell 7: Sammanställning av samtliga mätdata

Prov	Cementanalyser						Pastareologi		Prover på betong vid leverans			
	Gips CaSO <sub>4</sub> · 2 H <sub>2</sub> O	Hemihydrat CaSO <sub>4</sub> · 0,5 H <sub>2</sub> O	Ferrit C <sub>4</sub> AF	Alit C <sub>3</sub> S	Belit C <sub>2</sub> S	Alit +Belit C <sub>3</sub> S+ C <sub>2</sub> S	Plastisk viskositet	Flytgräns- spänning	Sättmått Fabrik	Sättmått Arb.pl.	Lufthalt Fabrik	Lufthalt Arb.pl.
Anl.silo	505	110	420	789	487	2185	-	-	-	-	-	-
Lass 1	487	88	455	886	476	2490	0,43	8,80	140	150	7,1	8,0
Lass 2	390	85	491	1144	700	2735	0,43	8,95	160	160	8,5	7,0
Lass 3	678	92	476	937	541	2678	0,55	9,60	190	160	6,9	7,0
Lass 4	513	159	440	911	511	2583	0,39	8,20	220	180	6,7	6,9
Lass 5	445	98	508	1179	737	2664	0,38	8,90	180	170	6,5	7,7
Lass 6	565	88	431	810	533	2613	0,41	8,80	200	160	6,2	5,5
Lass 7	466	104	519	1174	580	2823	0,40	8,10	170	150	6,0	7,0
Lass 8	530	144	484	622	491	2613	0,41	8,40	200	130	7,1	7,5
Lass 9	478	83	503	956	567	2808	0,50	9,55	190	150	6,1	7,1
Lass 10	479	83	513	1058	504	2721	0,41	8,95	210	190	7,0	6,5
Lass 11	479	56	451	823	557	2305	0,54	9,40	230	200	6,8	6,6
Lass 12	486	128	462	824	491	2669	0,49	8,45	230	200	7,0	6,9
Lass 13	537	90	513	1075	494	2847	0,40	9,00	200	200	6,1	7,5

Lass 14	533	74	517	904	481	2754	0,55	10,05	200	190	6,8	7,4
Lass 15	481	79	475	900	484	2549	0,40	8,51	200	170	6,2	5,8
Anl. bil	471	102	435	740	491	2685	0,43	8,25				
<b>Medel</b>	<b>501</b>	<b>98</b>	<b>476</b>	<b>925</b>	<b>537</b>	<b>2631</b>	<b>0,44</b>	<b>8,87</b>	<b>195</b>	<b>171</b>	<b>6,7</b>	<b>7,0</b>
<b>Std.avv.</b>	<b>61</b>	<b>26</b>	<b>33</b>	<b>158</b>	<b>76</b>	<b>175</b>	<b>0,06</b>	<b>0,56</b>	<b>25</b>	<b>22</b>	<b>0,6</b>	<b>0,7</b>
<b>Max</b>	<b>678</b>	<b>159</b>	<b>519</b>	<b>1179</b>	<b>737</b>	<b>2847</b>	<b>0,55</b>	<b>10,05</b>	<b>230</b>	<b>200</b>	<b>8,5</b>	<b>8,0</b>
<b>Min</b>	<b>390</b>	<b>56</b>	<b>420</b>	<b>622</b>	<b>476</b>	<b>2185</b>	<b>0,38</b>	<b>8,10</b>	<b>140</b>	<b>130</b>	<b>6,0</b>	<b>5,5</b>

 Minvärde  
 Maxvärde

## 6. DISKUSSION, BEDÖMNING OCH SLUTSATSER

Projektet har visat att det är mycket svårt att fånga upp de avvikande egenskaperna i betongen som är beskriven i bakgrundsavsnittet. För att fånga upp dessa skulle sannolikt krävas en mer omfattande uppföljning under en längre period vilket inte varit möjligt i detta begränsade projekt av pilotkaraktär. Ytterligare en punkt som bör diskuteras i detta sammanhang är cementets flöde inne i cementsilon på sin väg ner i vågen. Med största sannolikhet sker inte en jämn tömning lager för lager utan en viss blandning sker där cement från olika nivåer i vertikalled sammanblandas i cementvågen. Det blir därmed svårare att bedöma eventuella variationer i cementet.

Reologiresultaten i form av flytgränsspänning och plastisk viskositet för de olika cementpastorna visar inga direkta samband med resultaten från röntgendiffraktionen eller betongprovningen. Ett visst samband mellan röntgendiffraktion och kalorimetrimätning kunde skönjas där bl.a. en hög andel gips (lass 3) gav längst retardation av cementets bindning.

Analys av de 4 cementprov som valdes ut för utökad analys gav heller inte några signifikanta svar som kunnat stödja den bakomliggande hypotesen.

I provet från hinken fanns ej tillräckligt material för att kunna utföra ett bindetidsprov. Detta prov blev också kontaminerat med material som sannolikt ramlat från ett cementfilter i toppen av cementsilon. Materialet bestod av hårdnad cement i olika kornstorlek. Detta framgår av analysen av partikelstorleksfördelningen (se figur 10) samt av cementets specifika yta som gav att den enligt Blaine är 379 m<sup>2</sup>/kg. Det är förstås rimligt att anta att detta material är mer finkornigt än övriga. Med tanke på den lilla mängd material som hamnat i hinken är det osannolikt att det separationsskikt som detta innebär kan få någon märkbar effekt på betongens egenskaper.

Vi har med andra ord inte kunnat påvisa att den hypotes som målats upp har någon överensstämmelse med verkligheten.

De analyser och övrig provning som utförts ger däremot möjligheter att jämföra resultat med prov som tas ut i framtiden.

Exempelvis kan man i samband med att problem uppstår i en betongleverans välja att ta ut cementprover för analys och då kan resultaten i denna rapport fungera som vägledning.