

Temperatur- och hållfasthetsutveckling hos betong med Anläggningscement FA



Figur 1: Fullskalegjutning av fundament till silo i Uddevalla hamn.

Anläggningscement har använts under lång tid vilket gör att det finns en omfattande uppföljning av hur väl simuleringarna stämmer överens med verklig temperaturutveckling. Men på senare tid så har en ny typ av cement, som har moderat värmeutveckling, accepterats i AMA Anläggning 17 och denna kan innehålla upp till 20 procent flygaska. Cementa (Heidelberg Cement) har nyligen introducerat ett sådant cement, vilket benämns Anläggningscement FA, CEM II/A-V 42,5 N – MH/LA/NSR. Då detta cement är relativt nytt så har det inte använts i så många projekt och därför saknas uppföljning och jämförelse mellan beräknad och uppmätt värmeutveckling i grova konstruktioner. Av detta skäl finns det ett behov att undersöka och dokumentera hur den nya typen av cement fungerar i praktiken och om simulering med de framtagna materialparametrarna ger god överensstämmelse med uppmätt temperaturutveckling.



Oskar Esping
C-lab, Thomas Concrete Group



Ingemar Löfgren
C-lab, Thomas Concrete Group

Vid gjutning av grova betongkonstruktioner kan temperaturhöjningen orsakad av cementets hydrationsprocess bli stor och långvarig. För stor temperaturökning kan leda till temperatursprickor (ytspäckor eller genomgående) och beständighetsproblem (till exempel försenade ett ringtutveckling). För att undvika för hög temperaturutveckling används cement som har moderat värmeutveckling

(MH), CEM I 42,5 N SR 3 MH/LA samt kylningsåtgärder om så erfordras. Förutom att begränsa värmeutvecklingen hos betong har det utvecklats branschpassade verktyg för beräkning av värmeutveckling, kylbehov och även spännings- och sprickriskanalys av betongkonstruktioner under härdning. Dessa beräkningsverktyg, till exempel ProduktionsPlanering Betong (PPB) och Hett11, behöver indata vad gäller värme och mognadsutveckling. För spännings- och sprickriskanalys krävs också indata vad gäller utveckling av materialegenskaper: tryck- och draghållfasthet; elasticitetsmodul; krympning; och krypning/relaxation. Indata för värme- och mognadsutveckling bestäms i Sverige med en metodik utvecklad vid Luleå tekniska universitet [1], [2], [3], [5], [3] som inspirerats av Löfquists [7] pionjärbete om temperatureffekter i hårdnande betong. Metodiken baseras på bland annat mätning av temperaturutveckling i en så kallad semi-adiabatisk behållare. Emellertid har det visat sig att metodiken är behäftad med vissa felkällor som beror på den kompensation som görs av värmeförluster. Detta gör att det finns en ”storlekseffekt” och den värmeutveckling som bestäms är beroende av semi-adiabatens utformning och storlek, se [3]. Detta leder till att det finns vissa osäkerheter när det kommer till jämförelse mellan beräknad och verklig värmeutveckling i väldigt grova konstruktioner.

Indata för beräkningar

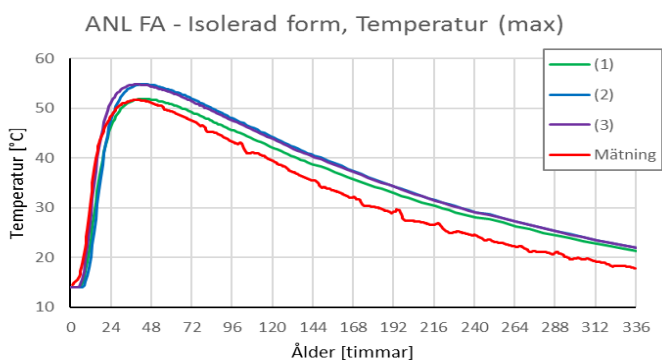
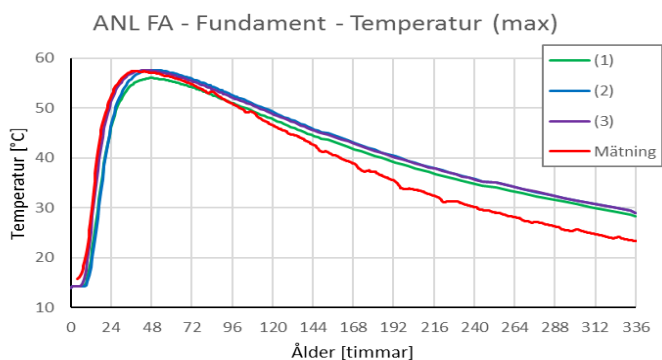
Indata vad gäller värme- och mognadsutveckling för Anläggningscement CEM I 42,5 N SR 3 MH/LA har tagits fram under flera år och använts i många projekt, vilket gör att det finns en omfattande erfarenhet. För Anläggningscement FA, CEM II/A-V 42,5 N – MH/LA/NSR har grundläggande materialparametrarna för beräkning av värmeutveckling tagits fram av Cementa i samarbete med Luleå tekniska universitet. Då detta cement är relativt nytt så har det inte använts i så många projekt och därför saknas



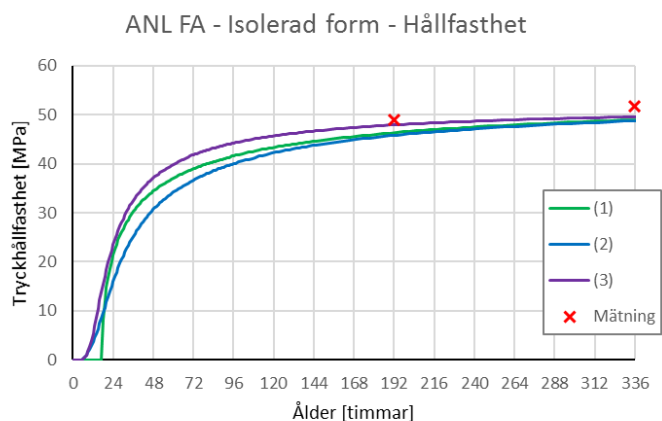
Figur 2: Välisolerade betongblock gjutna på arbetsplats, med Anläggning FA (samma betong som i fundamentet) respektive Anläggningscement.

Tabell 1: Materialparametrar för värmeutveckling, mognadsgrad och hållfasthetstillväxt, för betong med vct 0,38 och Anläggningscement FA. Data för (1) är baserade på mätningar i projektet, och (2) samt (3) är från tidigare genomförda provningar.

Grupp	Parameter (Hett/PPB)	ANL FA (1)	(2)	(3)
Värmeutv	Cementhalt [kg/m ³]	420	430	420
	Wc/Wu [J/kg]	300 000	311 000	321 286
	t1 [h]	8,90	9,07	7,76
	Kappa1 [-]	1,90	2,22	1,82
Mogn o hållf	ThetaRef_ini/set/fin [K]	3 500	5 400	4 201
	Kappa3_ini/set/fin [-]	0,20	0,90	0,58
	Fcc28d [MPa]	50	49	66
	S [-]	0,52	0,23	0,09
	tS/te_ini [h]	17,13	3,00	3,00
	nCC28d/N28d [-]	0,25	0,55	0,74
	tA/te_fin [h]	17,2	5,0	5,0
	nA/N_set [-]	4,0	3,0	3,0
	fA/Fcc_set [MPa]	5,0	0,5	0,5



Figur 3: Prognos på temperaturutveckling för fundamentet och isolerade betongblocken, med olika indata för Anläggningscement FA, samt uppmätt temperatur. Prognos (1) är baserad på mätningar i projektet, och (2) samt (3) är från tidigare.



Figur 4: Jämförelse mellan prognostiserad hållfasthet och uppmätt för det isolerade betongblocket, med olika indata för Anläggningscement FA.

uppföljning och jämförelse mellan beräknad och uppmätt värmeutveckling i grova konstruktioner. Denna typ av uppföljning är viktig för entreprenörer och materialtillverkare eftersom det ställs krav på att risken för temperatursprickor och höga temperaturer ska prognostiseras.

I ett pågående SBUF-projekt (Projekt 13327) har Anläggningscement FA undersöks huruvida de framtagna materialparametrarna ger god överensstämmelse med uppmätt temperaturutveckling i praktiken. Avsikten med projektet är att öka tryggheten hos entreprenörer som använder prognosverktygen PPB och Hett11. Projektet är begränsat till en betongsammanställning (C40/50 25 S3 frystestad, XF4, med vct 0,38) och omfattas av laboratorie- och fältförsök, samt modellering.

Laboratorieundersökning

I laboriemiljö genomförs mätningar av temperaturutveckling i semi-adiabater och hållfasthetsutveckling vid konstanta härdningstemperaturer (10, 20, 35 och 50°C) för framtagning av indata för beräkning av värmeutveckling och mognadsgrad. Som jämförelse provas även "vanligt" Anläggningscement.

Fältförsök

I fält genomfördes mätningar på temperaturutveckling hos en grov betongkonstruktion, i detta fall ett 1,6 meter tjockt silofundament i Uddevalla Hamn, se figur 1. Temperaturmätning gjordes också parallellt i två välisolerade betongblock (enligt principen i NT BUILD 388), den ena med betongen som används i

fundamentet och den andra med motsvarande betong fast med Anläggningscement, se figur 2. Blocken var avsedda att ge likvärdig temperaturutveckling som fundamentet, men under mer kontrollerade förutsättningar som enklare kan modelleras samt som kan ge en bra jämförelse mellan cementen. Ur blocken borrades också cylindrar för bestämning av tryckhållfasthet vid olika åldrar vid en realistisk temperaturhistorik.

Modellering

Uppmätt temperatur i fundamentet, samt temperatur och hållfasthet i de isolerade blocken, används sedan för att verifiera beräkningarna med framtagna indata från laboratorieförsöken. Dessa jämförs även med data som tidigare har tagits fram. Primärt används prognosverktyget Produktions-Planering Betong (PPB) för jämförelsen.

Resultat

Projektet är pågående, avslutande data från laboratorieförsöken blir klara i slutet av september 2017. Resultaten visar på att det skiljer något mellan framtagna materialparametrar för likvärdig betongsammansättning (vct 0,38) med Anläggningscement FA, se tabell 1.

Uppmätt temperatur och prognos med PPB för fundamentet och de isolerade betongblocken kan ses i figur 3. Resultaten visar på att beräknad och verklig värmeutveckling överensstämmer bra de första dygnet, men att under den efterföljande avsvlningsfasen verkar prognosen sjunka något långsammare än vad den gjorde i verkligheten. Samma tendens kunde observeras för det isolerade betongblocket med "vanligt" Anläggningscement. Anledningen till detta kan vara randeffekter samt att modellen är 2D. Vad gäller maxtemperatur i det isolerade betongblocket så är det lite större skillnader mellan uppmätt och prognostiserad för de olika materialparametrarna. Även uppmätt hållfasthet (utborrade cylindrar) överensstämde bra med prognos, se figur 4.

Slutsatser

Resultaten från detta pågående SBUF-projekt, där värmeutveckling och mognadsutveckling hos Anläggningscement FA har undersökts i lab. och jämförts med uppmätta resultat från ett fundament, indikerar följande:

De materialparametrar som är framtagna i detta projekt samt för Produktions-

Planering Betong och Hett11 verkar ge en realistisk prognos.

Framtagna materialparametrar kan dock variera beroende på hur dessa tas fram, men de kan ändå ge en realistisk prognos. ■

Referenser

- [1] Ekefors K (1995), *Mognadsutveckling i ung betong: temperaturkänslighet, hållfasthet och värmeutveckling*, Luleå tekniska universitet.
- [2] Emborg M (1989), *Thermal stresses in concrete at early ages*, Luleå tekniska universitet.
- [3] Fjellström P (2013), *Measurement and Modeling of Young Concrete Properties*, Luleå tekniska universitet.
- [4] Fjellström P, m.fl. (2013), *Heat Loss Compensation for Semi-Adiabatic Calorimetric Tests*, Nordic Concrete Research (nr 47).
- [5] Hedlund H (2000) *Hardening concrete: Measurements and evaluation of non-elastic deformation and associated restraint stresses*, Luleå tekniska universitet.
- [6] Jonasson J-E (1994), *Modelling of Temperature, Moisture and Stresses in Young Concrete*, Luleå tekniska universitet.
- [7] Löfquist B (1946): *Temperatureffekter i hårdnande betong*. Tekniskt meddelande, Serie B, Nr 22, Kungliga vattenfallsstyrelsen/Chalmers tekniska högskola.