

FORSKNINGSLÄGET INOM CEMENT

*Rapportering från konferens -
15th International Congress on the Chemistry of Cement*



**15TH INTERNATIONAL CONGRESS
ON THE CHEMISTRY OF CEMENT**

Prague, Czech Republic
September 16-20, 2019

Nilla OLSSON, NCC Sverige AB

2019-11-10

FÖRORD

Projektet är ett SBUF Kunskapsinhämtningsprojekt och innebär deltagande och rapportering från en stor cementkemikonferens, The International Congress on the Chemistry of Cement. Projektets syfte är att sprida kunskap från konferensen i svenska byggbranschen. Som projektledare och utförare vill jag tacka SBUF och NCC Sverige AB för finansiering.

November 2019

Nilla Olsson

SAMMANFATTNING

Krav på minskad klimatpåverkan är den starkast drivande faktorn i utvecklingen av cementbaserade material. Vi som entreprenörer behöver ökad kunskap om hur cementens och betongens ändrade sammansättning påverkar slutprodukten för att kunna välja rätt produkt till respektive applikation.

Konferensen ICCC, The International Congress on the Chemistry of Cement, har hållits sedan 1918 och är den mest välkända och väl ansedda konferensen inom området. Syftet med denna rapport är att sammanfatta huvuddragen från ICCC 2019. Rapporten ska förse den svenska byggbranschen, med fokus på entreprenörer, med kunskap om de senaste fyra årens utveckling inom cement och betong, samt att lyfta internationella trender inom området.

De huvudsakligen budskapen från konferensen:

- För att nå klimatmålen krävs det samarbete i alla led i värdekedjan. Det finns stor potential till mer effektiv materialanvändning genom optimering och minskad överanvändning.
- Andelen tillsatsmaterial av bindemedlet i betong behöver öka samtidigt som vi redan idag använder de tillsatsmaterial som finns att tillgå. En ansevärd andel av forskningsprojekten pekar på att system med kombinationer av OPC, naturliga kalcinerade puzzolaner, tex kalcinerade leror, och kalkstensfiller har störst potential.
- Kravställande för att uppnå beständiga betongkonstruktioner bör utvecklas mot funktionskrav och funktionstester. Dagens kravställningar korrelerar dåligt både med den kunskap vi har från forskning och med den erfarenhet vi har från fältexponering.

INNEHÅLL

1. CEMENTKEMI ÄR RELEVANT FÖR SBUF	4
2. ICC, THE INTERNATIONAL CONGRESS ON THE CHEMISTRY OF CEMENT	4
3. DE STORA BUDSKAPEN SOM LYFTES AV MÅNGA.....	5
4. ...OCH NÅGRA INTRESSANTA MINDRE NOTERINGAR.....	6
5. 'KEYNOTE LECTURES' OCH ANDRA TALARE.....	7
5.1. PROCESS TECHNOLOGY AND CLINKER CHEMISTRY	7
5.2. HYDRATION, STRUCTURE AND THERMODYNAMICS.....	7
5.3. SUPPLEMENTARY CEMENTITIOUS MATERIALS (SCMs).....	8
5.4. OTHER BINDERS AND THEIR APPLICATION	9
5.5. CHEMICAL ADMIXTURES AND FRESH CONCRETE.....	10
5.6. CONCRETE DURABILITY	11
5.7. TESTING METHODS.....	12
5.8. ANDRA TALARE: CEMBUREAU OCH GCCA.....	12
6. SLUTSATS.....	13

1. CEMENTKEMI ÄR RELEVANT FÖR SBUF

Betong och cement är centrala material för svenska byggbranschen. Under lång tid har vi i Sverige haft en relativt homogen marknad för cement med ett fåtal produkter från Cementa som dominerat. Globalisering och krav på minskad klimatbelastning har förändrat marknaden de senaste åren. Idag används många olika kombinationer av cement, tillsatsmaterial och tillsatsmedel. Mycket pekar mot att variationerna kommer att öka ytterligare för att möta krav på minskad klimatbelastning.

För att klara omställningen till mindre klimatbelastande byggproduktion, i enighet med Agenda 2030 och FN:s och Sveriges klimatmål, behöver vi minska klimatbelastningen från betong. För att klara detta behöver vi mer kunskap om hur förändringar av cementens och betongens sammansättningar påverkar slutprodukten. Just detta är syftet med denna rapport; att förse den svenska byggbranschen, med fokus på entreprenörer, med kunskap om huvuddragen ur de senaste fyra årens utveckling inom cement och betong, samt att lyfta internationella trender inom området.

2. ICCC, THE INTERNATIONAL CONGRESS ON THE CHEMISTRY OF CEMENT

Konferensen ICCC, The International Congress on the Chemistry of Cement, har hållits sedan 1918 och är den mest välkända och väl ansedda konferensen inom området. Många av världens ledande forskare deltar. Dels rapporteras de huvudsakliga trenderna och dels sammanfattas kunskapsläget inom ett antal delområden. Konferensen hålls vart fjärde år och sammanfattar utvecklingen sedan föregående konferens.

Konferensen pågick fem dagar och samlade drygt 1000 forskare från akademi och industri. Innehållet var uppdelat i sex huvudområden. Inom varje huvudområde hölls 'keynote lectures' av de ledande forskarna inom det aktuella området.

'Keynote lectures' var indelade i 7 områden:

1. Processteknik och Klinkerkemi
2. Hydratation, Struktur och Termodynamik
3. Tillsatsmaterial
4. Andra bindemedel och deras applikation
5. Tillsatsmedel och färsk betong
6. Betongs beständighet
7. Testmetoder

'Keynote'-talare skriver även en vetenskaplig artikel som publiceras i ett specialnummer av tidskriften Cement and Concrete Research.

Vidare hålls även presentationer av andra vetenskapliga artiklar, muntligen eller posters. Totalt presenterades ca 500 vetenskapliga bidrag.

3. DE STORA BUDSKAPEN SOM LYFTES AV MÅNGA

Som väntat var det stora ämnet på denna konferens klimatpåverkan från betongkonstruktioner. Fråga adresserades ur olika perspektiv av alla 'keynote'-talare och det är tydligt den starkast drivande faktorn i dagsläget.

Kopplat till detta var de dominerande och samlade budskapen:

1. Det krävs samarbete och engagemang i alla led i värdekedjan för att klara klimatmålen.
2. Det saknas en plattform för att utveckla det samarbete som krävs.
3. Materialeffektivitet: Det finns stor potential till minskad klinkeranvändning med bibehållen betonganvändning genom:
 - minskad klinkerandel i cement,
 - minskad cementhalt i betong,
 - strikt efterlevnad av standarder och normer både avseende exponeringsklass och hållfasthet/utnyttjandegrad.
4. 'Carbon Capture and Storage', CCS, kommer att behövas. Klimatmålen klaras dock inte med enbart CCS/CCR. Ökad materialeffektivitet är nödvändigt.
5. De system vi har idag (i grunden baserade på calcium-, kisel- och aluminiumoxider) kommer även i framtiden att dominera marknaden, huvudsakligen på grund av att;
 - a. dessa råmaterial dominerar i jordskorpan, dvs det är dessa grundämnen som finns att tillgå i de volymer som behövs.
 - b. dessa oxider har de kemiska förutsättningarna att fylla ut strukturen och bilda fasta faser tillsammans med vatten.Eller som Prof. Karen Scrivener sa: "There is no magic solution! We need to work with what we have and what we know".
6. Forskning och utveckling behöver baseras på dagens kunskap och fokusera på områden som har potential att ge störst påverkan, eller "Too many studies are not based on what we know from research, which is a waste of time and money" (Prof. Karen Scrivener).
7. Klinkerandelen i cement måste minska, dvs användningen av tillsatsmaterial behöver öka.

8. Tillgång på de tillsatsmaterial som dominerar idag, slagg och flygaska, kommer att minska vid omställning av elproduktion och järnproduktion. Av flera skäl ses kalcinerade leror som det tillsatsmaterial som har störst potential att ersätta flygaska och slagg. Motiv:
 - a. De finns att tillgå i stora volymer spridda över stora delar av världen.
 - b. Investeringsbehovet för tillverkning är lågt.
 - c. Produktionskostnaden är lägre än för klinker.
 - d. De innehåller de oxider som behövs.
 - e. De ger liknande egenskaper hos betongen.
9. Dagens standarder korrelerar dåligt med forskningsläget. Standarder behöver utvecklas mot funktionskrav och funktionstester. Vid två 'keynotes' uttrycktes tydligt att det finns inget entydigt samband mellan vct och beständighet. I många fall har val av cementtyp (inkl. tillsatsmaterial), temperaturutveckling och härdning större inverkan på beständighetsegenskaperna.

4. ...OCH NÅGRA INTRESSANTA MINDRE NOTERINGAR

Vid några tillfällen berördes **vattenanvändningen** och behovet att se vatten som en värdefull resurs. Betongproduktion använder ansenliga mängder vatten både vid tillverkning av råmaterial, tillverkning av betong och vid härdning.

Återanvändning av CO₂ i betongproduktion presenterades av **Carbon cure technologies** vid en teknisk presentation (Sean Monkman anställd vid företaget). Tekniken används i Nord Amerika (ca 2.7 miljoner ton producerad betong hittills), och innebär att CO₂ tillsätts vid tillverkning av betong. Detta möjliggör minskad cementanvändning (ca 8%), vilket varit drivkraften bakom utvecklingen. Mängden tillsatt CO₂ är liten, ca 0.2% rapporterades, så den huvudsakliga vinsten både ekonomiskt och klimatmässigt kommer från det minskade cementbehovet.

Behov av och möjligheter med **digitalisering** berördes vid flera 'keynotes' och en 'keynote' handlade bara om digitalisering av betong, av Robert Flatt 'Digital Concrete: A Review'. Vidare berördes även digitalisering i de tidigare leden i värdekedjan; utvinning av råmaterial, tillverkning av cement och optimering av sammansättning vid tillverkning av färsk betong och inom prefab-industri.

Vid en 'keynote' behandlades även arbetet med att beakta **karbonatisering** vid beräkning av klimatpåverkan från betong, 'Carbonation as a method to improve climate performance for cement based materials'. Arbeta pågår för att ta fram en metod för att beakta detta både på produkt- och samhällsnivå. Kritiken mot detta var dock tydlig; klimatpåverkan minskar inte genom att vi får en metod att

beräkna effekten av karbonatisering. Däremot skulle det vara intressant att arbeta med applikationer som ger maximal karbonatisering av tex rivningsmassor.

5. 'KEYNOTE LECTURES' OCH ANDRA TALARE

Artiklar från 'keynotes' enl. nedan finns att läsa i sin helhet i en specialutgåva av Cement and Concrete Research, CCR vol. 124F, October 2019.

5.1. Process Technology and Clinker Chemistry

The Cement Industry on the Way to a Low Carbon Industry

Mr. Martin Schneider

Att minska klimatpåverkan är utan tvekan den största utmaningen för industrin, speciellt då produktionen globalt ökar. Lösningen behöver vara en kombination av insatser inom många områden, där tex minskad klinkerandel tydligt kopplar till byggbranschen.

Alternative fuels: Effects on Clinker Process and Properties

Mr. Anjan Chatterjee

I alla delar av världen finns potential till ökad användning av alternativa bränslen vid cementtillverkning. Implementering varierar dock mycket globalt sett. Avfall är en attraktiv bränslekälla som har stor potential att öka. Det kräver dock att dess påverkan på klinkertillverkningen och därmed på slutprodukten – cementet – är känd.

5.2. Hydration, Structure and Thermodynamics

Advances in Understanding Cement Hydration Mechanisms

Mrs. Karen Scrivener

Cementbaserade material kommer att fortsätta att vara baserade huvudsakligen på kalcium-, kisel- och aluminiumoxider. Detta beror på deras grundläggande kemiska egenskaper och att dessa ämnen är vanligt förekommande i jordskorpan. Förståelsen för hydratationen har tagit tydliga steg framåt de senaste fyra åren, vilket beskrivs i detalj i artikeln i CCR. En intressant aspekt som trycktes hårt på är att vi behöver fokusera på klinkereffektivitet, dvs att då reaktionerna avstannat bör reaktionsgraden hos klinkermineralen vara hög. All kvarvarande klinker är resursslöseri. Här finns en stor utvecklingspotential, till exempel vad gäller val av vbt, tillsatsmaterial och sammansättning hos cementen.

Application of Thermodynamic Modelling to Hydrated Cements

Mrs. Barbara Lothenbach

Termodynamisk modellering är ett avgörande verktyg för förståelsen av reaktionerna i cementbaserade system. Denna typ av modellering används idag både för att modellera och förstå uppbyggnadsfasen (hydrationsreaktionerna) och reaktionerna som sker vid nedbrytning (beständighetsproblem).

Advances in Characterizing and Understanding the Microstructure of Cementitious Materials

Mr. Paulo Monteiro

Förståelsen för mikrostrukturen hos cementbaserade material har fördjupats, mycket tack vare bättre mätmetoder. Möjligheter och begränsningar med olika mätmetoder diskuteras i artikeln.

5.3. Supplementary Cementitious Materials (SCMs)

Supplementary Cementitious Materials: New Sources, Characterization, and Performance Insights

Mrs. Maria Juenger

Motiven att använda tillsatsmaterial har gått från beständighet, ekonomi och värmeutveckling till klimatpåverkan. Användningen behöver öka med minst 37% från 2015 till 2050 för att nå klimatmålen. En ersättare till flygaska och slaggbehöver finnas i stora kvantiteter och till låg kostnad. Restaskor från förbränning och kombinationer av naturliga puzzolaner och kalkstensfiller verkar mest lovande. Artikeln diskuterar vidare testmetoder och effekter olika tillsatsmaterial har på betong, tex. beständighet.

Reactivity of Supplementary Cementitious Materials (SCMs) in Cement Blends

Mr. Jørgen Skibsted

Reaktiviteten hos tillsatsmaterial varierar stort, både mellan olika grupper av tillsatsmaterial och inom grupperna. Förståelse för mekanismerna bakom och effekterna på betongen är viktig för att kunna optimera användningen i olika applikationer.

Fly ash and slag

Mr. Zbigniew Giergiczny

Slagg och flygaska har använt under lång tid och är fortfarande de dominerade tillsatsmaterialen. Den bristande tillgången har lett till försök att optimera effekten tex genom att kombinera tillsatsmaterialen med

varandra och med kalkstensfiller. Arbete pågår även med att aktivera flygaska som tidigare ansetts ha för dålig reaktivitet och därför ligger på deponi.

5.4. Other Binders and Their Application

Recent Progress in Low-Carbon Binders

Mr. Caijun Shi and Mr. John Provis

De mest lovande systemen är belit-ye'elimite-, karbonat- och alkali-aktiverade system. Dessa system anses inte kunna ersätta den breda användningen av OPC-baserade system, men kan bidra till minskad klimatpåverkan i särskilda applikationer på platser där råmaterialen finns att tillgå.

Hybrid Binders: A Journey from the Past to a Sustainable Future (Opus Caementicium Futurum)

Mr. Angel Palomo

Moderna hybrid-cement med en kombination av portlandcement-klinker, tillsatsmaterial och en aktivator jämförs med bindemedel från romarriket.

Advances in Understanding Ye'elimite-rich Cements

Mr. Mohsen Ben Haha

Förståelsen för strukturuppbyggnad och hydratation hos dessa material har tagit tydliga steg framåt de senaste åren, vilket beskrivs vidare i detalj i artikeln i tidskriften *Cement and Concrete Research*. En anledning till dessa är att dessa cement ger ca 35% lägre CO₂-utsläpp. Det beror både på ett lägre kalciuminnehåll och en lägre temperatur vid tillverkning. Ytterligare en fördel är att existerande teknik kan användas för tillverkning.

Mohsen Ben Haha jobbar för Heidelberg Technology Center (HTC). Det kan noteras att systemen som behandlas i denna keynote beskrivs som allt mer mogna och inte långt från applikation. Dessa system har en sammansättning liknande Ternocem som testproducerade av HTC i Degerhamn innan nedläggningen.

5.5. Chemical admixtures and Fresh Concrete

Recent Advance of Chemical Admixtures in Concrete

Mr. Liu Jiaping

Termodynamisk modellering och modellering på atomnivå har ökat förståelsen för mekanismer bakom tillsatsmedel inom flera områden, tex reologi, superabsorberande polymerer och nanopartiklar.

Rheological Properties of Ultra-High-Performance Concrete – An Overview

Mr. Kamal Khayat

Här ges en sammanfattning av hur olika delmaterial påverkar reologin hos ultra högpresterande betong. Artikeln ger även förslag på kravställning för reologi för olika applikationer.

Digital Concrete: A Review

Mr. Robert Flatt

Området har tagit stora steg framåt och flera typer av demoprojekt finns. Dessa ger helt nya möjligheter till materialoptimering, design för funktion, samt minskade kostnader och klimatpåverkan. Digital betong inkluderar flera områden:

- Digitalt tillverkade formar; stickade, kabelspända, plastbaserade etc.
- Armering av fri form med robotar.
- Gjutning av fria former med robotar som använder extrudering.
- Gjutning av fria former med robotar som använder glidformsgjutning.

Properties of Early-age Concrete Relevant to Cracking in Massive Concrete

Mr. Ippei Maruyama

Här ges en sammanfattning av metoder för att värdera sprickrisker utifrån hydratationsförloppet, volymförändringar och tillväxt av hållfasthet och styvhet.

Recent Advances on Yield Stress and Elasticity of Fresh Cement-based Materials

Mr. Nicolas Roussel

Kunskapen om utvecklingen av E-modul och deformation hos ung betong har ökat. En anledning till detta är att det är avgörande egenskaper vid 3D-gjutning utan form.

5.6. Concrete Durability

Concrete Durability: Recent Advances and Next Steps

Mr. Mike Thomas

Kopplingen mellan beständighet och hållfasthet är väldigt svag. Kravställande avseende beständighet behöver utvecklas och inkludera både design, materialtester och krav som adresserar utförande. Det finns elektriska mätmetoder som beaktar porlösningens sammansättning som kan ge relevant information.

Durability, Service Life Prediction, and Modelling for Reinforced Concrete Structures – Review and Critique

Mr. Mark Alexander

Dagens föreskrivande standarder för beständighet står långt ifrån kunskapen från forskningen. Design utifrån beständighetsmodellering och beständighetkrav är möjligt. Standarderna behöver utvecklas.

Crack-altered Durability Properties and Performance of Structural Concretes

Mr. Kefei Li

Artikeln diskuterar sprickors påverkan på beständighet och hur påverkan kan mätas och modelleras.

Carbonation as a Method to Improve Climate Performance for Cement Based Material

Mr. Ronny Andersson

Möjliga sätt att beräkna CO₂-upptag genom karbonatisering hos befintliga betongkonstruktioner diskuteras. Vidare sammanfattas också arbetet med att implementera denna del i rapporter till FN:s klimatkonvention, i EU ETS och i EPD:er. Metoden behöver vara väl avvägd för att inte riskera kritik för så kallad 'green-washing'.

Toward the Prediction of Pore Volumes and Freeze-Thaw Performance of Concrete Using Thermodynamic Modelling

Mr. Jason Weiss

Beständighet är starkt kopplat till porstrukturen och sammansättningen hos hydratationsprodukterna i betongen. Denna artikel diskuterar vilka möjligheter som finns att bygga beständighetsmodeller utifrån resultat från termodynamiska modeller.

5.7. Testing methods

Future Directions for Design, Specification, Testing, and Construction of Durable Concrete Structures

Mr. Doug Hooton

De största problemen med betongkonstruktioner är kopplade till beständighet. Hur beständigheten styrs via standarder behöver utvecklas mot funktionskrav och funktionstester. Kraven i dagens standarder korrelerar dåligt med hur betongen presterar i fält. Standarder behöver även i större utsträckning inkludera kvalitetssäkring av utförande.

Rethinking Cement Standards: Opportunities for a Better Future

Mr. Vanderley John

Det behövs forskning för att påskynda utvecklingen mot funktionsbaserade standarder för cement och cementbaserade material. Metoderna ska fungera i en industrialiserad process för att möjliggöra effektiva processer och vidare design utifrån data.

5.8. Andra talare: Cembureau och GCCA

Förutom keynotes finns ett par andra bidrag värda att nämna; *Cembureau* och *Global Cement and Concrete Association, GCCA*.

Cembureau, eller European Cement association, presenterades av Koen Koppenholle (Chief Executive). Cembureau arbetar huvudsakligen mot marknaden inom EU. Strategiskt pekade han på den globala instabiliteten, digitaliseringen, den cirkulära ekonomin och de globala hållbarhetsmålen som de avgörande faktorer för industrins framgång. Även här pekades på behovet av att se hela värdekedjan; ”The 5 C approach: Clinker, Cement, Concrete, Construction and Carbonation”. En rapport med analyser av behov av styrmedel och påverkansfaktorer kommer att släppas i oktober 2019. I prognoserna räknar de med en klinkerandel på maximalt 60% i snitt år 2050 i 2DS. Snittet idag ligger inte långt från detta, dock kommer de använda tillsatsmaterialen vara helt andra än idag.

Organisationen GCCA bildades 2018 och har cement- och betongtillverkare som medlemmar. Organisationen arbetar för att främja hållbarhet, innovation och tydliggöra betongs roll för samhällsutvecklingen. GCCA har tagit över arbetet inom ’Cement sustainability incentive’; alla medlemmar i GCCA sätter mål enligt ramverket och rapporterar till GCCA.

6. SLUTSATS

Krav på minskad klimatpåverkan är den starkast drivande faktorn i utvecklingen av cementbaserade material. Vi som entreprenörer behöver ökad kunskap om hur cementens och betongens ändrade sammansättning påverkar slutprodukten för att kunna välja rätt produkt till aktuell applikation.

Vidare krävs det samarbete i alla led i värdekedjan för att nå klimatmålen. Det finns stor potential till mer effektiv materialanvändning genom optimering och minskad överanvändning.

Andelen tillsatsmaterial i betongens bindemedel behöver öka. Samtidigt använder vi redan idag allt det tillsatsmaterial som finns att tillgå. En ansevärd andel av forskningsprojekten pekar på att system med kombinationer av OPC, naturliga kalcinerade puzzolaner, tex kalcinerade leror, och kalkstensfiller har stor potential att både ersätta befintliga tillsatsmaterial och fylla ett ökande behov i framtiden.

Kravställande för att uppnå beständiga betongkonstruktioner bör utvecklas mot funktionskrav och funktionstester. Dagens föreskrivande kravställning korrelerar dåligt både med den kunskap vi har från forskning och med den erfarenhet vi har från fältexponering.