

Inorel AB

Tryckta temperaturövervakningsetiketter för betonghärdning

SBUF Projekt 12203



Förord

Vid industriellt byggande med betong är mognadstiden en kritisk parameter för att öka effektiviteten och minska byggtiden. Det är dessutom viktigt att veta att tillräcklig hållfasthet uppnåtts innan form och annan stödkonstruktion rivs. I det här projektet har intelligenta etiketter utvecklats för temperaturövervakning av betongens mognadsförlopp som ett enkelt verktyg vid gjutning. Målet har varit att etiketterna ska vara enkla, tydliga och billiga att använda.

Etiketterna, som är baserade på tryckt elektronik, har utvecklats under projektet från en generell proof-of-concept stadium till en specifik demonstrator för betongmarknaden. Här har Inorel stått för tryckt elektronik utvecklingen medan flera aktörer i byggbranschen definierat problemställningen och stöttat utvecklingen med specifikt användarperspektiv. Projektet har finansierats av SBUF tillsammans med projektdeltagarna. Dessa har delades in i arbetsgrupp och referensgrupp:

Arbetsgrupp	Företag
Karin Pettersson	Swerock
Akin Barin	Swerock
Jan Lillieblad	Abetong
Örjan Petersson	Strängbetong
Erik Åredal	Peab Bostad
Payman Tehrani	Inorel
Nathaniel Robinson	Inorel
Nima Tehrani	Inorel
Per-Olof Svensson	Inorel

Referensgrupp	Företag
Inge Andersson	Skandinaviska byggelement
Jan-Erik Jonasson	Luleå tekniska universitet
Bengt Ström	NCC
Arne Retelius	CMT International
Hans Hedlund	Skanska
Richard McCarty	CBI International

Innehåll

BAKGRUND	3
TRYCKT ELEKTRONIK	4
INORELS SATSNING PÅ BETONGMARKNADEN	5
INLEDNING	6
SYFTE	6
PUBLICITET I PRESS	6
LICENSAVTAL MED ACREO	7
AKTIVITETER	7
RESULTAT	8
KRAVSPECIFIKATION	8
MODELL FÖR BETONGHÄRDNINGENS TEMPERATURBEROENDE	9
PROCESSÖVERVAKARE	10
DEMONSTRATOR	11
SLUTSATS	13
FRAMTIDA UTVECKLING	13

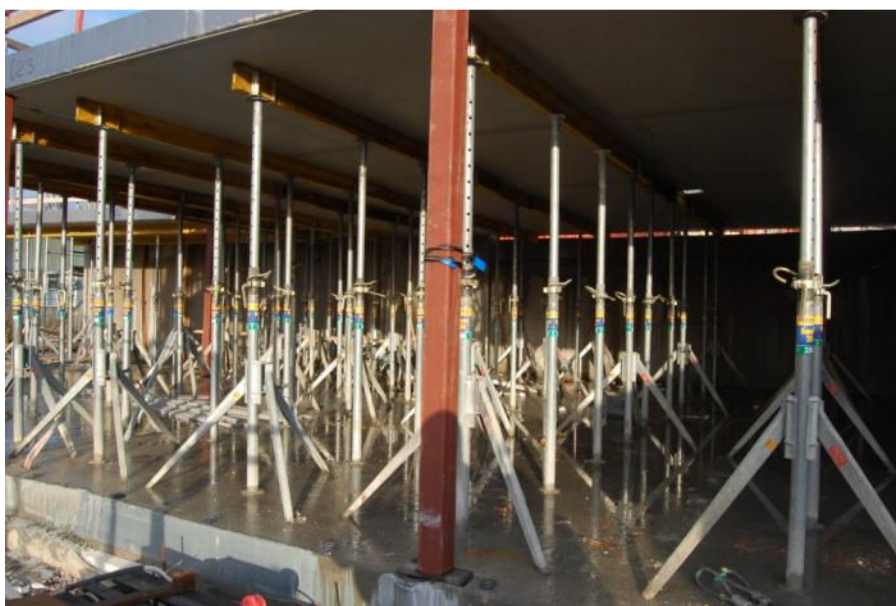
Bakgrund

Betong har använts som byggmaterial sedan det Romerska riket och är idag det mest använda materialet i världen och en viktig komponent i byggnader. Men även med denna mycket långa erfarenhet finns det utrymme att använda ny teknik för att förbättra betongens byggprocess för en mera optimerad byggnad. Betongens mognadsförlopp är väl dokumenterat med matematiska modeller som beskriver mognadsförloppet och hållfasthetstillväxten. Dessa modeller visar en starkt temperaturberoende vilket resulterar i att mognadstiden blir beroende av temperaturen. Med utgångspunkt från modellen kan mognadstiden beräknas med hjälp av temperaturhistoriken under mognadsförloppet för att man ska veta när tillräcklig hållfasthet uppnåtts. I ett industriellt byggnad med betong är det viktigt att veta att tillräcklig hållfasthet uppnåtts innan form och stödkonstruktion rivs. Detta görs enklast genom att övervaka temperaturen för att ha en inblick i härdningsförloppet och kunna minimera byggtiden och samtidigt ha en tryggare byggprocess.

I ett industriellt byggnad med betong är det viktigt att veta att tillräcklig hållfasthet uppnåtts.

Existerande hjälpmedel för temperaturövervakning upplevs oftast som dyra och krångliga att hantera. Istället förlitar sig byggarbetarna på tumregler för mognadstiden. Dessa tumregler inkluderar en extra bufferttid för att försäkra sig att tillräcklig hållfasthet verkligen uppnåtts. Denna bufferttid resulterar i längre byggtider och därigenom också dyrare byggprocess som fortfarande innehåller en risk för att tillräcklig hållfasthet inte uppnåtts. Det finns alltså ett behov av en enkel och billig metod för temperaturövervakning av betongens mognadsförlopp som kan uppmuntra till bred användning i branschen. Detta skulle ge en ökad trygghet och samtidigt minska byggkostnaderna.

Det finns ett behov av en enkel och billig metod för temperaturövervakning av betongens mognadsförlopp.



Vid platsgjutna konstruktioner är det viktigt att veta när stämparna som stöttar gjutformen kan rivas och flyttas till nästa gjutning.



Tryckmaskin där elektroniska bläck kan användas för att trycka intelligenta etiketter. Den här tryckmaskinen passar bra till tillverkning under utvecklingsarbetet.

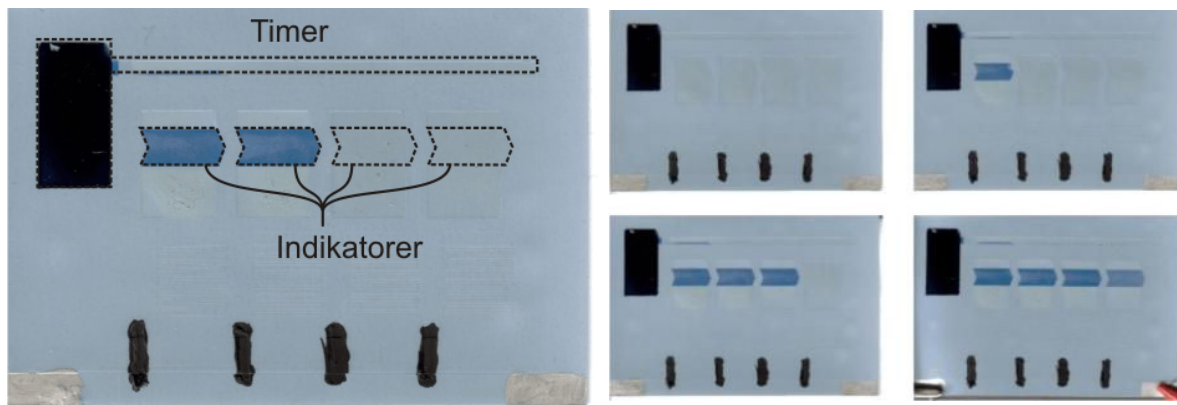
Tryckt elektronik

I detta projekt har vi tittat på intelligenta etiketter som kan övervaka betongens mognadsförlopp och informerar om tillräcklig hållfasthet uppnått. Etiketterna är baserade på en teknikplattform inom tryckt elektronik som utvecklats i ett samarbete mellan Linköpings universitet och forskningsinstitutet Acreo AB i Norrköping, där Inorels grundare varit verksamma. Inorel, som är ett nystartat företag inom företagsinkubatorn LEAD med rötter från forskningen inom tryckt elektronik, drivs med entusiasm av grundarna som förutom sin unika spjutspetskompetens även är rustade med expertis inom statistiskt försöksplanering, stor kreativitet och erfarenhet för att hantera utmaningar i

Etiketter baserad på tryckt elektronik tillverkas med hjälp av tryckmaskiner på liknande sätt som man trycker tidskrifter och tidningar.

utvecklingsprojekt och massproduktion. Etiketter baserad på tryckt elektronik tillverkas med hjälp av tryckmaskiner på liknande sätt som man trycker tidskrifter och tidningar. Men istället för bläck används här ledande polymerer och elektrolyter i tryckmaskinerna. Detta ger billiga och miljövänliga komponenter som också enkelt kan anpassas till olika behov.

Principen bakom temperaturövervakningsetiketter utvecklades under ett EU-finansierat projekt (SustainPack). De proof-of-concept demonstrationer som gjordes under detta projekt resulterade i en logger och en enkel temperaturberoende timer och ligger till grund för etiketterna i detta projekt. Bland annat kunde en temperaturberoende timer indikera under hur lång tid som etiketterna utsattes för hög temperatur. Detta är en värdefull funktion speciellt för livsmedel som oftast har vissa gränsvärden som inte får överstigas under förvaring och transport.



Demonstratorer som togs fram under SustainPack projektet. Dessa bestod av en temperaturberoende timer kopplat till flera indikatorer som visade om etiketten utsattes för en hög temperatur under lång tid.

Inorels satsning på betongmarknaden

I början när Inorel startades som ett kommersialiseringsprojekt för tryckt elektronik var idén att utveckla temperaturövervakningsetiketter för förpackningar. Senare när vi kom i kontakt med byggbranschen dök idén med övervakningsetiketter för betongmognad upp. Jämfört med olika tillämpningar inom förpackningsindustrin visade det sig att etiketter för betongmognad har en mer konkret problemställning, tydlig kundnytta och ett högre värde på produkterna. Detta motverkades dock av de små försäljningsvolymerna som ensamt inte kan bära Inorels ekonomi. Men trots detta finns det stora fördelar att börja Inorels verksamhet i etiketter för betongmognad som ett första steg för att senare fortsätta mot andra marknader med mycket större volymer. På detta sätt eliminerades många av de tekniska utmaningarna och utvecklingen mot de mycket krävande etiketterna för förpackningar kunde ske i två delar.



Med hjälp av tryckt elektronik kan man tillverka elektronik på förpackningar till en låg kostnad. För att kunna realisera detta behövs det att alla material och tillverkningsmetoder är anpassade för tryckning i en rulle-till-rulle-process i hög hastighet.

Inledning

Syfte

Syftet med projektet är att utvärdera om intelligenta etiketter baserad på tryckt elektronik kan användas för att övervaka betongens mognadsgrad. Projektet begränsades till att utveckla en demonstrator som påvisar etikettens funktion och användning samt undersökning av mät-noggrannheten för etiketterna. Detta ska visa att tekniken fungerar och kan på ett enkelt, tydligt och tillförlitligt sätt användas för övervakning av mognaden av betong.

Syftet med projektet är att utvärdera om intelligenta etiketter baserad på tryckt elektronik kan användas för att övervaka betongens mognadsgrad.

I projektet har Inorels tekniska kompetens inom tryckt elektronik kombinerats med kunskaper från olika aktörer inom betongbranschen. Dessutom har specifik kompetens involverats i projektet för utveckling av temperaturberoendet och design av etiketterna. Detta tvärvetenskapliga samarbete i projektet har varit lyckat och på kort tid löst många svåra problemställningar.

Publicitet i press

Inorel och vår satsning har resulterat i stor uppmärksamhet i pressen och resulterat i ett antal artiklar. Bland annat har artiklar publicerats i nedanstående tidskrifter:



Inorels satsning blev uppmärksammad i olika tidskrifter och tidningar.

Licensavtal med Acreo

Etiketterna är baserade på tryckt elektronik där Inorels grundare är till stor del uppfinnare på de patent som ligger till grund för tekniken. Dessa uppfinningar har alla uppkommit under samarbetet mellan Linköpings universitet och Acreo AB i Norrköping. Under flera år har forskarna i Norrköping tillsammans tagit fram en teknikplattform för tryckt elektronik med en tillhörande patent portfölj som ägs av Acreo. Diskussioner har förts med Acreo under en längre tid om ett licensavtal som ska ge Inorel tillgång på patenten och innan projektet startade trodde vi att vi skulle vara nära, men under februari 2010 strandade förhandlingarna då Acreo inte ville ge Inorel de långsiktiga förutsättningarna som är nödvändiga för Inorels möjligheter att driva verksamheten som ett självständigt bolag. Detta innebar att Inorel inte kunde fortsätta mot en produkt baserad på tryckt elektronik och därför beslutades att lägga ner verksamheten efter att detta projekt är avslutat.

Bråk om rättigheter fällde Inorel

Småföretaget Inorel har fått ett tvångslicensavtal med Acreo. Detta innebär att Inorel inte får tillverka eller sälja produkter som omfattas av Acreos patent. Detta beslutades i ett domstolsfall som avslutades i februari 2010.

Enligt domstolen innebär tvångslicensen att Inorel får tillverka och sälja produkter som omfattas av Acreos patent, men endast till den mängd som krävs för att tillgodogöras den svenska marknaden. Detta innebär att Inorel inte kan konkurrera med Acreo på den svenska marknaden. Inorel har också fått betala en avgift för tvångslicensen. Detta beslutades i ett domstolsfall som avslutades i februari 2010.



Småföretag lider av komplicerade avtal

Småföretag lider av komplicerade avtal. Detta innebär att småföretag ofta får teckna dyra och svåra avtal som kan vara svåra att förstå och hantera. Detta kan vara ett stort problem för småföretag som inte har tillräckligt med resurser för att hantera dessa avtal. Detta innebär att småföretag ofta får teckna dyra och svåra avtal som kan vara svåra att förstå och hantera. Detta kan vara ett stort problem för småföretag som inte har tillräckligt med resurser för att hantera dessa avtal.

Besvikelse hos Swerock

Besvikelse hos Swerock. Detta innebär att Swerock är besviken över något som har hänt. Detta kan vara ett stort problem för Swerock som inte har tillräckligt med resurser för att hantera detta. Detta innebär att Swerock är besviken över något som har hänt. Detta kan vara ett stort problem för Swerock som inte har tillräckligt med resurser för att hantera detta.

Acreo: Inorel ville inte betala för sig

Acreo: Inorel ville inte betala för sig. Detta innebär att Acreo är besviken över att Inorel inte vill betala för sig. Detta kan vara ett stort problem för Acreo som inte har tillräckligt med resurser för att hantera detta. Detta innebär att Acreo är besviken över att Inorel inte vill betala för sig. Detta kan vara ett stort problem för Acreo som inte har tillräckligt med resurser för att hantera detta.

Lead: Vi kan inte lägga oss i

Lead: Vi kan inte lägga oss i. Detta innebär att Lead är besviken över att de inte kan lägga sig i något. Detta kan vara ett stort problem för Lead som inte har tillräckligt med resurser för att hantera detta. Detta innebär att Lead är besviken över att de inte kan lägga sig i något. Detta kan vara ett stort problem för Lead som inte har tillräckligt med resurser för att hantera detta.

Artikel i Norrköpings Tidningar (2010-06-07) om beslutet om nedläggning av Inorels verksamheten mot tryckt elektronik.

Aktiviteter

Arbetsgruppen har arbetat fokuserad på olika problemställningar och de olika delarna av projektet har träffats (möten och studiebesök) och tagit upp specifika frågor. Dessutom har hela gruppen (arbetsgrupp och referensgruppen) deltagit på projektmöten för att diskutera tankar och resultat och planera utvecklingsarbetet. Dessa möten har varit mycket givande för projektet när en stor grupp med olika bakgrund och kompetens kan mötas och diskutera problemställningar utifrån olika infallsvinklar.

Datum	Syfte	Plats
1 jun 2009	Kick-off möte	Rosersberg
13 nov 2009	Projektmöte	Norrköping
17 mar 2010	Projektmöte	Stockholm
3 jun 2010	Avslutningsmöte	Rosersberg

Resultat

Arbetet i projektet har delats i ett antal aktiviteter där olika frågeställningar adresserats. Först definierades en kravspecifikation för etiketterna samtidigt som en modell för härdningen sammanställdes från tidigare data. Utifrån resultatet från dessa aktiviteter utvecklades funktionen i process övervakaren som kontinuerligt följer temperaturen i betongen. Parallellt utvecklades en demonstrator som visar hur etiketten ska användas.

Kravspecifikation

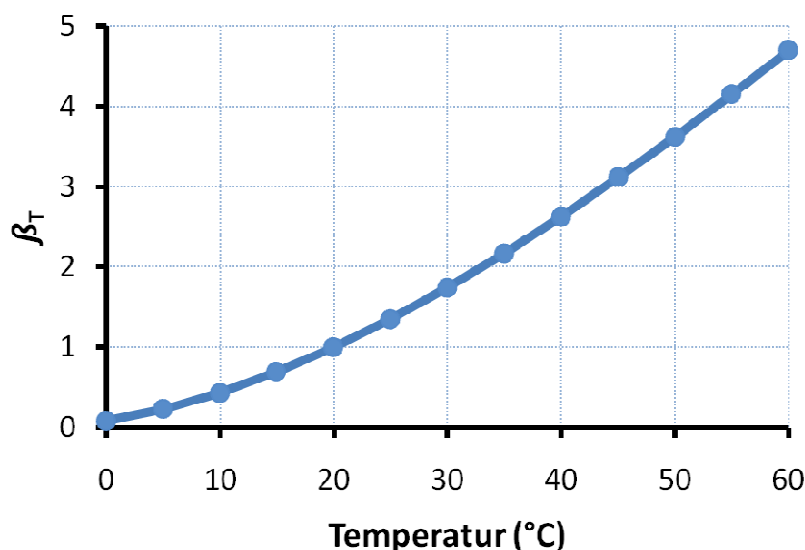
Utifrån behoven i de olika applikationerna ("prefab" och "platsgjuten") har en kravspecifikation tagits fram för respektive område. De innehåller kraven för funktion, utseende och relevanta begränsningar för de olika tillämpningsområdena. Vi valde också en specifik case där etiketterna skulle användas för att göra arbetet mera konkret. Förutom de skillnader som visas i tabellen nedan, är de generella kraven på etiketten att den ska vara enkel och tydlig att använda med flera indikatorer som hjälper användaren att kunna följa härdningsprocessen i betongen.

	Platsgjuten	Prefab
Case för projektet	Bjälklag med byggcement C28/35	Sandwichvägg med byggcement C45/55
Indikation	70 % hållfasthet + förvarning	16 MPa hållfasthet + förvarning
Utseende	Styv sensordel, ca 15 cm lång	Lång (ca 50 cm) med hål för najjning
Temp.område	0-35°C	20-60°C

För att fokusera resurserna i projektet har prefab valts som fokus för utvecklingsarbetet fram till demonstrator. Likheterna i de grundläggande problemställningarna innebär att en demonstrator för platsgjutna konstruktionen tas enkelt fram utifrån arbetet som gjorts inom prefab-delen.



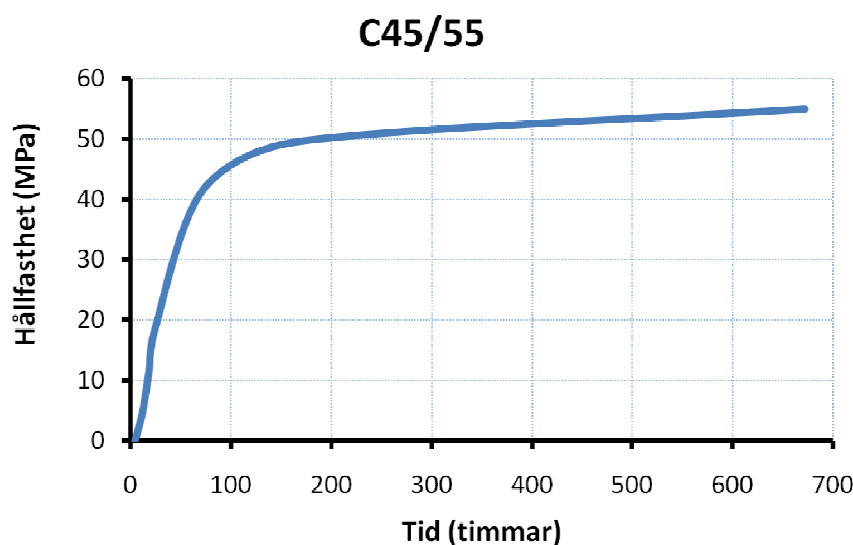
Gjutning av sandwich-väggar under studiebesök i Abetongs fabrik i Falkenberg.



β_T anger den relativa hållfasthetstillväxt som funktion av temperaturen (med $\beta_T = 1$ vid 20°C).

Modell för betonghärldningens temperaturberoende

Den gällande modellen för härdning av betong består av två delar, en del som beskriver temperaturberoendet och en annan som beskriver hållfasthetstillväxten. Temperaturberoendet, som ges av den relativa hållfasthetstillväxten (β_T), är ganska lika för olika betongblandningar och därför räcker det med en generell kurva (se den vänstra grafen i ovanstående figur). I etiketten bestäms temperaturberoendet i processövervakaren och genom att matcha dess temperaturberoende till betongen (β_T), kommer etiketten att kunna följa betongens mognadsförlopp. För att kunna koppla informationen i processövervakaren till mognadsgraden behövs en kurva för hållfasthetstillväxten (se figuren nedan). Denna kurva är olika för olika betongblandningar. För att förenkla arbetet i projektet valdes C45/55 som också används mycket i prefab industrin.

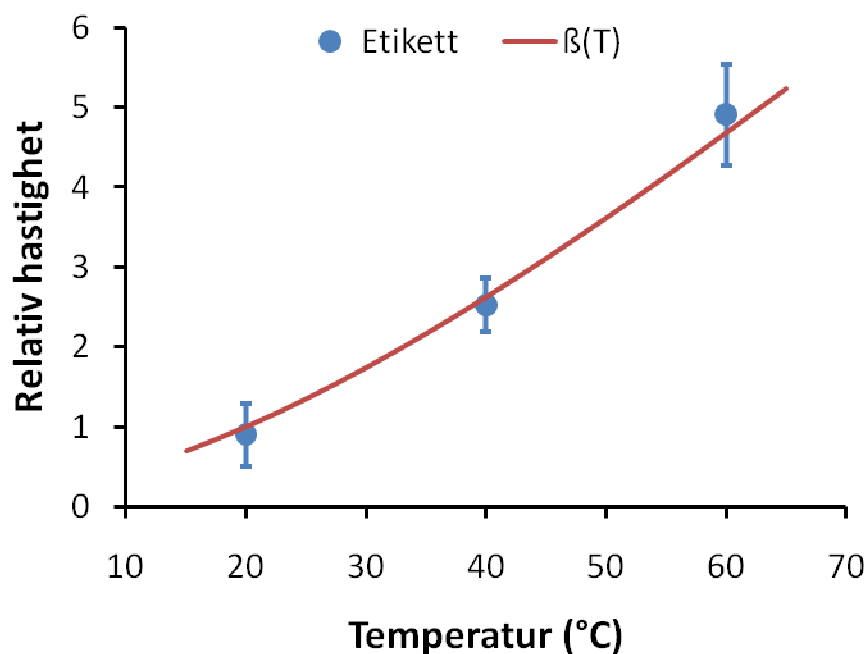


Kurvan beskriver Hållfasthetstillväxten vid 20°C för C45/55.

Processövervakare

Den centrala komponenten i etiketten kallas processövervakare som summerar tid och temperatur. Funktionen styrs av en temperaturberoende elektrolyt där jonledningsförmågan är anpassad till betongens härdningsprocess enligt temperaturmodellen som beskrivits ovan. Mätresultat på processövervakaren visar att den utvecklade elektrolytens temperaturberoende matchar ganska väl β_T -kurvan (se figuren nedan). Dessa mätningar låter oss undersöka komponenten och lära sig mer om hur den fungerar och vilka parametrar som påverkar den. Processövervakaren visade sig vara beroende av fuktigheten vid tillverkning och kvalitet på elektrolytfilmen. Dessa parametrar påverkade mätningarna ganska mycket under experimenten och därför måste de kontrolleras noggrant i tillverkningsprocessen i ett senare skede.

Temperaturberoendet i processövervakaren



Del blåa punkterna visar processövervakarens temperaturberoende, vilket följer den röda linjen väldigt bra. Felet i mätningarna kommer till största delen av att komponenterna tillverkats för hand under olika förutsättningar.

Ett flertal experiment gjordes också direkt i etiketterna. Dessa experiment verifierade att funktionen hos processövervakaren inte påverkas nämnvärt när den hamnar i ett system kopplat till indikatorer. Detta tillåter oss att separera utvecklingen av processövervakaren och resten av etiketten under den tidiga fasen i detta projekt för att senare kombinera ihop dessa delar.

Demonstrator

Etiketternas olika delar beskrivs närmare nedan:

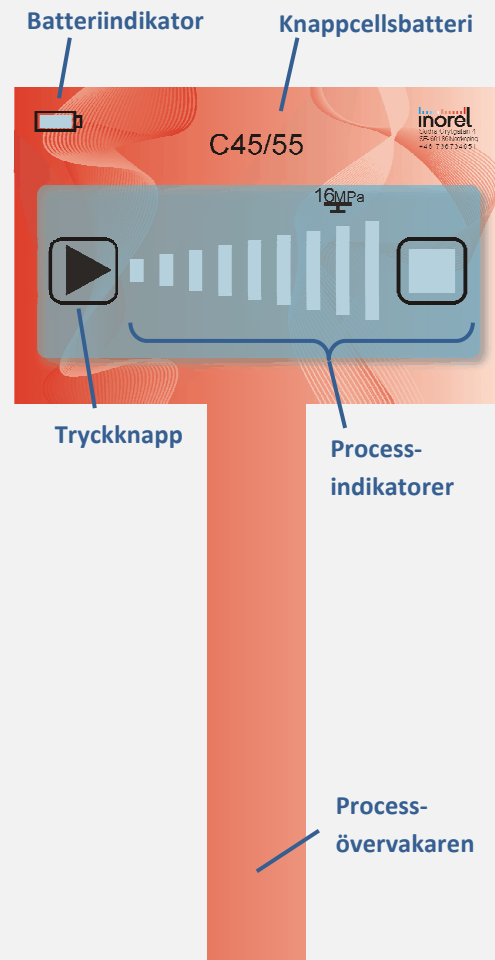
Batteri: Vanliga knappcellsbatterier har används som strömkälla i demonstratorn. Detta är dock en tillfällig lösning då tyckta batterier som är mindre, flexiblare och mera miljövänlig är ett bättre alternativ. Flera aktörer jobbar med att ha dessa nya batterier på marknaden vilket uppskattas ta ytterligare något år.

Tryckknapp: Genom att ta bort skyddspappret som separerar de två skikten i tryckknappen och sedan pressa ihop dessa, skapas kontakt i etiketten och mätningen startar.

Batteriindikator: När etiketten aktiveras med tryckknappen, kommer batteriindikatorn att ändra färg och bli mörkblå. Så länge denna indikator är mörkblå, fungerar batteriet som det ska.

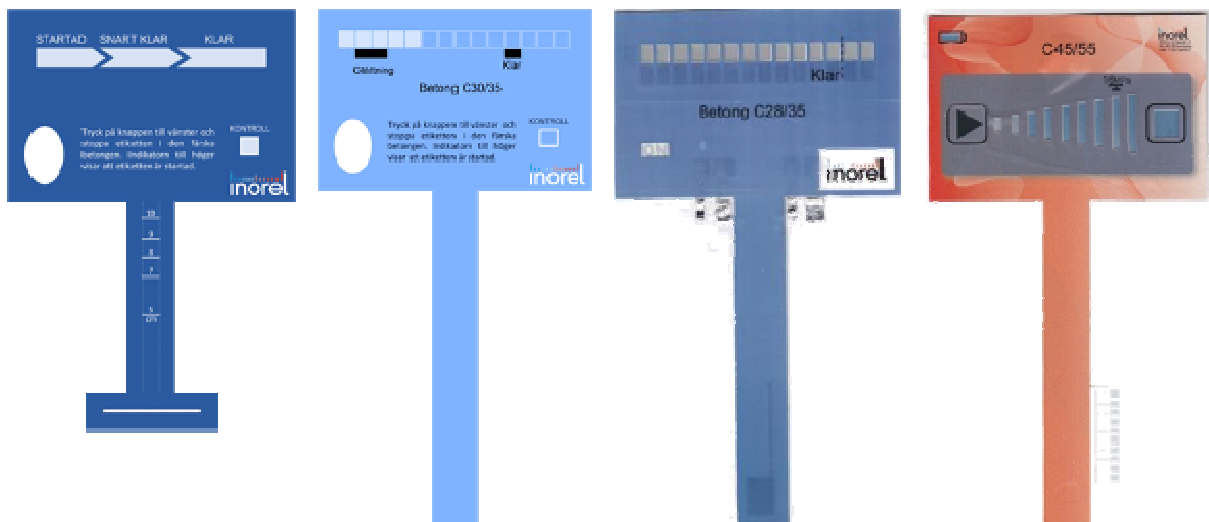
Processövervakaren: Sitter längs ner på etiketten och ska sättas in i betongen och därifrån följa temperaturen under mognadstillväxten.

Processindikatorer: När etiketten startar ändrar alla färg till mörkblå. Allt eftersom betongen mognad återgår indikatorerna till sin ljusblå färg vilket visualiserar hur processen fortskrider.



När etiketten aktiveras blir först alla indikatorer mörkblåa. Sedan kommer processindikatorerna att en efter en att ändra färg och bli ljusa. I etiketten markeras positionen för den önskade hållfastheten och användaren kan läsa av när betongen har nått dit. När alla indikatorer blivit ljusa kommer fortfarande batteriindikatorn fortfarande att vara mörk och visa att etiketten är klar (till skillnad från läget innan etiketten är startad där batteri indikatorn är ljus). Bildserien nedan visa ett exempel på hur etiketten fungerar under körning.

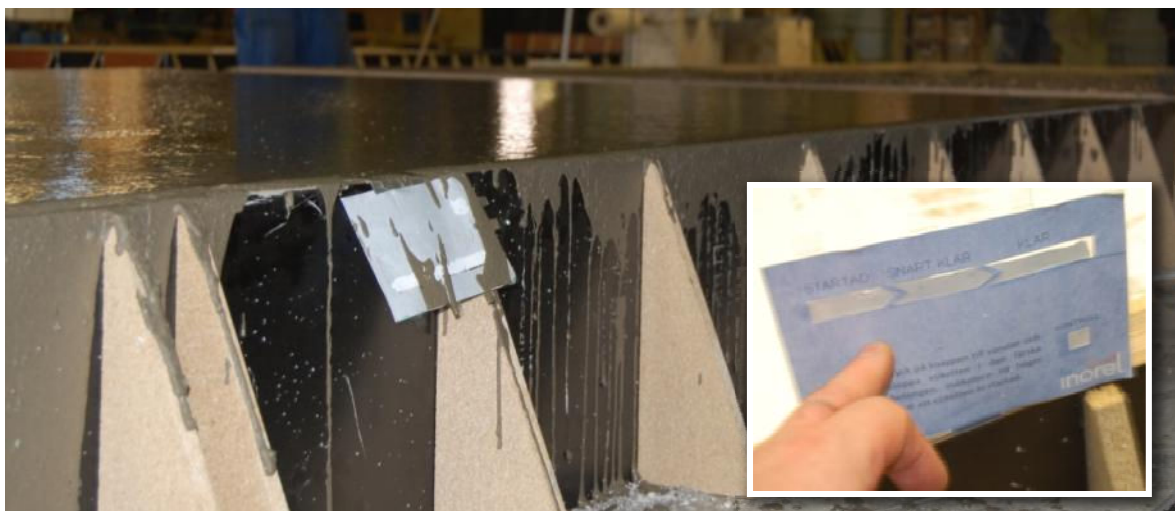




ång har

Under utvecklingen av demonstratorn har arbetet gått i etapper där design, form och användarvänlighet har utvecklats allteftersom. Olika generationer av demonstratorer har tagits fram inför projektmöten för att visualisera idéer och få feedback på lösningarna. De olika ingående komponenterna har utvecklats enligt krav från berörda projektpartner för att så långt som möjligt anpassa etiketterna till användarnas behov.

Utseende och formen av etiketterna är viktiga för användarupplevelsen och därför involverade vi en designingenjör i utvecklingsarbetet. Detta resulterade i en helt ny och bättre design som var enklare att tyda och mera intuitiv att använda.



En tidig test under studiebesöket i Falkenberg där en etikett tejpades fast vid gjutformen för en sandwich vägg innan gjutning. Etiketten placerades upp och ner för att skydda informationssidan från att betong och smuts.

Slutsats

Målet med projektet var att visa att intelligenta etiketter baserad på tryckt elektronik kan användas för att övervaka betongens mognadsförlopp. Resultaten som har presenterats i denna rapport visar att temperaturberoendet har kunnat anpassas till betongen, som vi i början av projektet trodde skulle vara den största utmaningen. Den senaste versionen på demonstratorn visar att systemet fungerar bra med alla de ingående komponenterna. En snygg och tydlig design utvecklades av en designingenjör som en del av arbetet att göra etiketterna mera intuitiva för användaren. Dessa två resultat tillsammans visar att intelligenta etiketter kan användas vid övervakning av betongmognad.



Framtida utveckling

Med hjälp av intelligenta etiketterna kommer byggprocessen med betong att ske snabbare och säkrare vid både platsgjutna konstruktioner på byggarbetsplatser och prefabricerade element i fabriker. Men för att komma fram till en produkt behöver etiketterna vidareutvecklas. I första steget behöver de två delarna byggas ihop och funktionen testas noggrant i labb samt vid betonggjutningar. Sedan ska tillverkningsprocessen utvecklas och mätnoggrannheten förbättras för etiketterna. Inorel var utrustad för att kunna klara av även denna del av kommersialiseringsarbetet av etiketterna, men på grund av att licensavtal med Acreo inte kunde slutas kan nu Inorel inte fortsätta med utvecklingen.

