

SINTEF Byggforsk

Betonginnovasjon i Norge

Resultater fra forskningscenteret COIN (2007–2014)



COIN – betongindustriens senter for forskningsdrevet innovasjon (2007–2014)

COConcrete INnovation centre – COIN ble etablert i 2007 som et Senter for Forskningsdrevet Innovasjon (SFI). Det er Forskningsrådets program for å styrke innovasjonsevnen i næringslivet gjennom satsing på langsiktig forskning i et nært samarbeid mellom FoU-aktive bedrifter og framstående forskningsmiljøer. Av 59 søknader ble 14 innvilget, og av disse var COIN den eneste innen material- og byggeteknikk.

COIN har omsatt for ca. NOK 250 millioner. Forskningsrådet ga NOK 76 millioner og resten ble finansiert av partnerne, det meste gjennom eget arbeid. COIN finansierte 16 Phd-er.

Partnerne var: Borregaard Industries Ltd (til 2009), Kværner Concrete Solutions AS, Mapei AS, Norcem AS, NTNU, Saint-Gobain Byggevarer AS, SINTEF Byggforsk (vert), Skanska Norge AS (fra 2008), Spenncon AS (fra 2007 til 2011), Statens Vegvesen, Unicon AS og Veidekke Entreprenør ASA. Grunnlaget for arbeidet er de industrielle og samfunnsmessige utfordringene som bransjen, representert med partnere, møter. Disse ble sortert i tre fokusområder:

- Miljøvennlighet
- Produksjon og utførelse
- Ytelse; levetid og bæreevne

Resultater

Forskningsarbeidet er dokumentert gjennom mer enn 200

publikasjoner; COIN-rapporter, internasjonale fagtidsskrift og konferansepublikasjoner, samt 16 doktoravhandlinger.

Arbeidet i COIN har ført til nye produkter, patenter, veiledninger, simuleringsverktøy og prøvingsmetoder. I tillegg til de tekniske vinningene, har senteret gitt store gevinster gjennom blant annet:

- Økt og mer aktiv forskning samt forsterket innovasjonsstrategi blant bedriftene
- Korte kommunikasjonslinjer mellom næring og kompetanse
- Nye forbindelser og utvidet nettverk
- Forsterket samarbeid mellom industri og forskerinstitutionene (SINTEF/NTNU)
- Kort vei fra industrirelevant forskning til utdanning
- Utvidet internasjonalt samarbeid

Samarbeidet fortsetter

I det hele tatt så er partnerne så fornøyde at de har bestemt seg for å fortsette med en lignende innovasjonsarena også etter at Forskningsrådets SFI-periode er over i 2014, det vil altså si uten finansiering fra Forskningsrådets SFI-ordning.

I dette heftet forteller vi om de viktigste resultatene og hva de kan bety for betongbransjen, for byggenæringen og for samfunnet.

Tor Arne Martius-Hammer, senterleder

Terje F. Rønning, styreleder

Samarbeidspartnere

KVÆRNERTM

NTNU
Det skapende universitet



Statens vegvesen

SAINT-GOBAIN

MAPEI

unicon///

NORCEM
HEIDELBERGCEMENT Group

SINTEF

SKANSKA



VEIDEKKE

Bedre tester hindrer kostbare betongskader

Mer pålitelige testmetoder vil både gjøre det tryggere å ta i bruk nye materialer og muliggjøre bedre utnyttelse av naturressursene.

Alkalireaksjoner er en vanlig skademekanisme for betongkonstruksjoner, og er årsak til store og kostbare skader, både i Norge og resten av verden. Skaden forårsakes av en kjemisk reaksjon der såkalte alkalireaktive bergarter reagerer i det høye pH-miljøet i betongen. Påfølgende utvidelse og oppsprekking av betongen kan gi alvorlige skader, spesielt på viktig infrastruktur som bruer og dammer. Den kjemiske reaksjonen og påfølgende skadeutvikling går langsomt - det kan ta tiår før en skade blir synlig i konstruksjonen. Derfor er det nødvendig å benytte akselererte metoder når man vil dokumentere betongens egenskaper. Laboratorieforsøk avslørte mangler ved flere av metodene som benyttes for å teste materialers evne til å hindre alkalireaksjoner.

Nye materialer kan hindre alkalireaksjoner

Alkalireaktive bergarter finnes i de fleste regioner i Norge, og av hensyn til miljø og økonomi er det viktig å utnytte disse lokale ressursene i betong. Ved å bruke nye, mer miljøvennlige sementtyper eller tilsetninger, kan man utnytte de alkalireaktive bergartene. For eksempel kan en betydelig andel av sementklinkeren erstattes med flygeaske (et restprodukt fra kullfyrte kraftverk), slik Norcem gjør i flere av sine sementer.

Disse nye materialenes evne til å hindre alkalireaksjoner må imidlertid dokumenteres ved akselerert laboratorieprøving («funksjonsprøving»), da egenskapene varierer. Ulike testmetoder blir brukt internasjonalt, men dessverre finnes det feilkilder i noen av metodene, og det er ikke alltid testresultatene er pålitelige.

Flere tester var upålitelige

Vi har derfor gjennomført omfattende laboratorieforsøk for å avdekke mulige feilkilder i testmetodene. Det viste seg blant annet at ved de fleste testmetodene sank alkaliinnholdet i betongen relativt mye, og dermed også pH-nivået, i løpet av testingen. En tilsvarende re-



«Alkalisilika-ormer» som sveller ut av et prøvestykke i laboratoriet: Under den kjemiske reaksjonen løses silika (SiO_2) i bergartene opp, og det dannes en alkalisilika-gel. Gelen kan trekke til seg vann og ekspandere, og betongen kan risse opp. Foto: SINTEF Byggforsk

duksjon i alkaliinnhold og pH-verdi vil ikke finne sted i konstruksjoner utenfor testlaboratoriet. Det høye pH-nivået i betongen er nettopp det som forårsaker alkalireaksjoner og påfølgende oppsprekking av betongen, og dermed blir testresultatene upålitelige. I verste fall kan testene godkjenne materialer som kan forårsake store skader i betongkonstruksjoner.

Som en direkte følge av denne oppdagelsen ble to foreslåtte internasjonale testmetoder trukket tilbake. Metoden som kom best ut i forsøkene, er den metoden vi har benyttet i Norge siden 1990-tallet.

Bedre utnyttelse av lokale ressurser

Resultatene fra forsøkene er viktige innspill til å øke påliteligheten av akselererte funksjonsprøvmingsmetoder. Arbeidet vil bidra til sikrere innføring av nye, mer miljøvennlige sementtyper og bindemidler på markedet. I tillegg vil det muliggjøre sikker utnyttelse av lokale tilslagsressurser, selv om disse er alkalireaktive. Flere land unngår i dag å bruke alkalireaktive tilslag i betong. Det er også en stor økonomisk

gevinst ved å unngå skader på grunn av alkalireaksjoner i nye betongkonstruksjoner.

Norge i førerretet

Arbeidet videreføres nå blant annet ved å sammenlikne laboratorieresultatene med materiales virkelige oppførsel i felt, via prøvestykker av betong utplassert i Trondheim og Lisboa, samt i konstruksjoner. Gjennom disse prosjektene får Norge stor innflytelse på utarbeidelsen av felles europeiske prøvmingsmetoder for alkalireaksjoner. Forskningen vil også være fordelaktig for Norges eksport av tilslag og sement.

Kontaktperson

Jøn Lindgård, SINTEF

Samarbeidspartner

Norcem

Betong i nullutslippshus

Velger du riktig betong, kan CO₂-utslippet fra materialproduksjonen til et bygg reduseres med 20 prosent.

Betong har meget god varmekapasitet og holder på varmen når nattemperaturen synker på vinterstid og motsatt når dagtemperaturen stiger om sommeren. Denne egenskapen kan utnyttes til å redusere behovet for kjøpt energi, både til oppvarming og til kjøling. I tillegg bidrar det til mindre ventilasjonsbehov og bedre termisk komfort. Dette kan utnyttes med stor fordel i for eksempel passive hus hvor en ikke kan åpne vinduer om sommeren.

Energireduksjonen kan selvfølgelig også bidra til redusert CO₂-utslipp i byggets levetid. Denne besparelsen må imidlertid veies opp mot det CO₂-utslippet som produksjon av betong medfører (som hovedsakelig er knyttet til produksjon av sement). Vi har i COIN sett på ulike muligheter for å produsere betong med lavest mulig CO₂-utslipp, såkalt lavkarbonbetong, og i samarbeid med ZEB – The Research Centre on Zero Emission Buildings – analysert hvor stor effekt ulike typer lavkarbonbetong har på bygningers totale CO₂-utslipp fra all materialproduksjon knyttet til et



*Tunge konstruksjoner er energisparende. Her: Guyajuruinene i Kina.
Foto: pftcdayscale http://fr.wikipedia.org/wiki/Fichier:Guyaju_ruins,_Yanqing_county,_Beijing.JPG*

bygg. Resultatene fra simulering av et normalt fireetasjes kontorbygg viser at en ved å velge «riktig» betong kan redusere energibruken og

CO₂-utslippet fra produksjonsfasen til et bygg med ca. 20 prosent.

Kontaktperson

Olafur Wallevik, SINTEF

Samarbeidspartnere

SINTEF, UNICON, Norcem og ZEB – The Research Centre on Zero Emission Buildings

Raskere og billigere med fiber

Ny bruk av fiberarmert betong kan gi mer effektive og billigere byggeprosesser. Manglende retningslinjer og for lite kunnskap om fiberarmert betong har til nå begrenset bruksområdene.

Fiberarmering av betongkonstruksjoner er mindre arbeidskrevende enn tradisjonell stangarmering, men metoden er sårbar for feil ved fibertilsetningen. Når betongen er støpt, er det vanskelig å kontrollere om mengden og typen fiber er riktig. Derfor er det svært viktig å få på plass tydelige retningslinjer for bruk av fiberarmering.

Tradisjonell, stangarmert betong har høy duktilitet, det vil si at den er seig, og gir tydelige forvarsler når konstruksjonen er i ferd med å gi etter for belastninger. Fiberarmering gir en mer sprø konstruksjon som, i verste fall, kan bryte sammen uten forvarsel. Men med riktig fibersammensetning og dimensjonering kan man oppnå solide konstruksjoner med reduserte mengder stangarmering.

I COIN har vi prøvd ut ulike betongsammensetninger med fiber, og testet blandingene i forskjellige typer konstruksjoner. Resultatene åpner for bredere bruk av fiberarmering og tydeligere retningslinjer.



Støping av fiberarmert etterspent dekke i Spjelkavik. Foto: Steinar Trygstad, Thilt AS

Kurant med stålfiber

COIN har testet egenskapene til ulike betongblandinger i laboratoriet, og kommet fram til at flytende betong med 1 volumprosent stålfiber (80 kg/m³) er et kurant materiale.

Blandingene har gode fasthetsegenskaper og er seig nok til å brukes i alle typer konstruksjoner, i kombinasjon med spenn- eller stangarmering. Betongen kan blandes på blandeverk, og Unicon og Spenncon har produsert denne betongen i store volum.

Fiberarmert flatdekke kan få teknisk godkjenning

På kaia i Spjelkavik deltok vi ved et fullskala-forsøk med et spennarmert flatdekke (17 m x 13 m x 0,2 m) av selvkomprimerende betong med 0,38 volumprosent stålfiber. Konstruksjonen viste seg å ha god duktilitet og momentfordeling. Skjærkapasiteten var vanskeligere å evaluere, men var til sikker side etter tyske og norske forslag til regelverk.

Ingen har tidligere testet ut tilsvarende konstruksjoner med kun spennarmering og fiberarmering. SINTEF arbeider nå med teknisk godkjenning for dette konstruksjonskonseptet.

Basaltfiber i gulv og vegger

Enklere prosjektering, enklere bygging, bedre



Veidekkes hovedkvarter på Rudshøgda, med fiberarmerte innervegger. Foto: Veidekke

logistikk på byggeplassen og reduserte betong- og armeringsmengder var konklusjonen etter to store prosjekter hvor fiberarmert betong ble brukt i gulv og vegger. I Konfektfabrikken i Oslo (boliger) og Veidekkes regionhovedkvarter ved Hamar ble det brukt kompositt basaltfiber (Minibars) i gulv og innervegger. COIN bidro i utviklingen av fiberen, som er videreutviklet og effektivisert av Reforcetech.

På vei inn i veiledninger og standarder

Retningslinjer for bruk av fiberarmert betong er i ferd med å komme inn i nasjonale og internasjonale veiledninger og standarder, som Fib Model Codes nye utgave (2013) og nytt regelverk i Tyskland. COIN har gitt underlag og innspill til flere retningslinjer og standarder under arbeid, som Norsk Betongforenings planlagte publikasjon for fiberarmert betong i bærende konstruksjoner (NB38), og opprettelsen av komité for fiberbetong i forbindelse med revidert Eurocode 2.

Kontaktperson

Terje Kanstad, NTNU

Samarbeidspartnere

Veidekke Entreprenør AS, Reforcetech AS, Spenncon, Unicon, Thilt AS, Mapei, SINTEF og NTNU

Det beste fra to betongverdener

Ved å kombinere lettbetong og normalbetong i samme konstruksjons-element, kan man få en konstruksjon som er både lett og sterk. I tillegg isolerer den bedre enn normalbetong.

Normalbetong og lettbetong har ulike fordeler og egenskaper. Normalbetong har høy trykktøilighet, det vil si at den ikke bryter sammen med en gang den har nådd sin maksimale trykkapasitet, men den har også høy egenvekt. Lettbetong har lav egenvekt, men blir mer sprø under trykkbelastning.

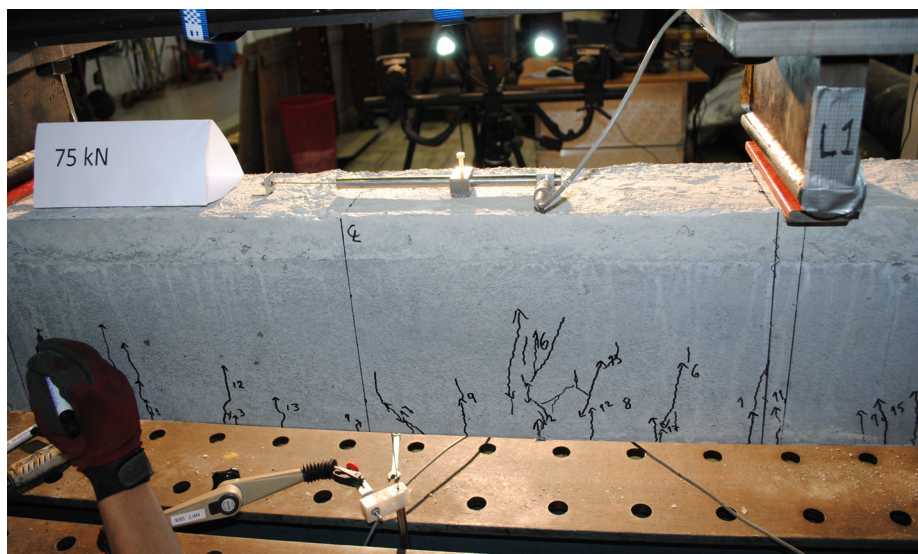
Ved å lage et sammensatt betongdekke, en hybrid, mellom lettbetong og normalbetong, fikk vi utnyttet materialenes ulike egenskaper på en bedre måte.

Reduserte vekten med 46 prosent

I laboratoriet støpte vi et betongdekke på 250 mm, i to ulike lag. Det nederste laget på 200 mm bestod av fiberarmert lettbetong, mens det øverste laget bestod av 50 mm normalbetong. Det nedre laget i dekket ble støpt ca. en uke før vi støpte det øvre laget. Lagene ble støpt på ulike tidspunkt for å simulere en anvendelse av det nederste laget som forskaling for det øvre betonglaget i dekket.

Deretter testet vi dekkets egenskaper i laboratoriet, og resultatene var oppløftende.

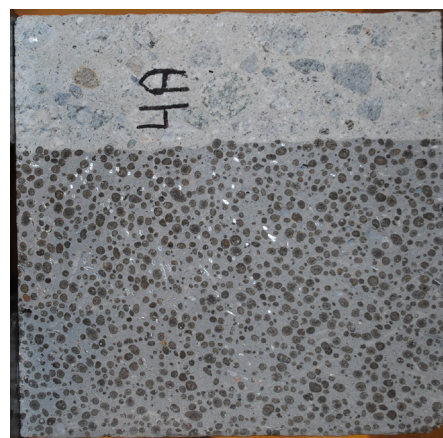
Hybridløsningen utnyttet betongmaterialenes ulike gode egenskaper. Vekten på betongdekket ble redusert med 46 % på grunn av lettbetongen. Dekkets evne til å bære last etter at konstruksjonen har begynt å deformere seg,



Registrering av riss under testing av hybrid betongbjelke. Foto: Linn Grepstad Nes

ble ivaretatt av normalbetongen i de øvre laget. Sammensatte dekker altså gir lav egenvekt kombinert med praktiske løsninger i byggefasen, og kan åpne for en mer effektiv bygging i fremtiden.

Hybriddekkene kan for eksempel være aktuelle der man ønsker å bruke det nedre laget av dekket som en forskaling for den øvre delen, i dekker i bygg og på kaikonstruksjoner. Forskalingselementene kan produseres på forhånd i fabrikk og heises på plass før man støper det øvre laget.



Tverrsnitt av hybridbjelke. Foto: Linn Grepstad Nes

Typisk skjærbrudd i hybridbjelke. Foto: Linn Grepstad Nes



Kontaktperson

Jan Arve Øverli, NTNU

Samarbeidspartner

Saint-Gobain Byggevarer AS

Isskuring mot betong i arktiske strøk

Laboratorieforsøk som simulerer isskuring på betongflater, gir godt grunnlag for å velge riktig betong i marine konstruksjoner i arktiske strøk.

I framtiden vil det bygges flere marine konstruksjoner for arktiske og subarktiske strøk. Skuring fra is kan redusere levetiden og øke vedlikeholdsbehovet konstruksjoner i disse områdene, hvis man ikke tar riktige hensyn ved materialvalg, dimensjonering og bygging.

Hvilke faktorer påvirker nedbrytningen?

Riktig valg av materiale og utforming kan øke konstruksjonenes motstand mot isskuring. Vi har derfor forsøkt å identifisere hvilke faktorer som påvirker nedbrytningen av marine betongkonstruksjoner utsatt for sjøis.

Arbeidet startet med å utvikle en testrigg for å simulere isskuring mot betongoverflater. Betongens motstandsevne ble så undersøkt ved å variere istrykk, istemperatur og betongsammensetning.

Gjenspeiler faktiske forhold

Forsøkene viste at:

- Nedbrytningen av betongen gikk raskere med økende istrykk og saktere med økende betongfasthet.
- Økt betongfasthet reduserte ruheten til betongoverflaten, noe som gir lavere friksjon og dermed reduserer islasten konstruksjonen blir utsatt for.
- Det viste seg at forsøkene i stor grad gjenspeilet faktiske forhold i arktiske strøk, og dermed gir et godt grunnlag for å beregne slitasjen på ulike betongtyper når de utsettes for sjøis.

Ved å identifisere faktorene som styrer isnedbrytningen kan man iverksette tiltak på material-, dimensjonerings- og byggesiden for å sikre en vedlikeholdsfri betongkonstruksjon gjennom plattformens levetid.



Sakhalin 2 plattformen i 2005, utsatt for isskuring, Okhotsk havet. Foto: Sakhalin Energy

Kontaktperson

Egil Møen, Multiconsult

Samarbeidspartner

Kværner Concrete Solutions AS

Maskinsand sparer miljøet

Nye knusemetoder og betongblandinger gjør det mulig å lage høykvalitetsbetong med utelukkende knust stein. Det gir bedre utnyttelse av naturressursene våre og reduserer forurensende transport.

Sand, grus og knust stein – tilslagsmaterialer – utgjør hoveddelen i betong, og er en forutsetning for de fleste byggearbeider. Tilslagsmaterialer kan kun hentes ut der naturen har plassert dem, men de må brukes der samfunnet trenger dem. Norge bruker allerede mer energi på å transportere enn på å produsere tilslagsmaterialer.

Sand til overs

I Norge bruker vi i gjennomsnitt 12 tonn tilslagsmaterialer per person per år, og vi er blant landene i Europa som har høyest andel knust fjell i tilslagsmaterialene. De naturlige sand- og grusressursene avtar, men landet vårt er fortsatt rikt på fast fjell.

Knust fjell i form av grovt tilslag (pukk) har lenge vært brukt i betong og asfalt, og produksjonsteknologien er velkjent. Utfordringen har vært å utnytte den mest finknuste delen av massen på en teknisk og økonomisk god måte.

Rundt 30 prosent av materialet fra en knuseprosess er finstoff (sand) med kornstørrelse på opptil fire millimeter. Med tradisjonelle produksjonsmetoder fikk ikke denne delen av massen en kvalitet som var god nok til å brukes i betong. Verdens pukkverk er derfor fulle av lagret, finknust masse som ikke lar seg utnytte.

Spesialknusing, bedre oppskrifter og kvalitetskontroll

Gjennom forskning og teknisk utvikling i COIN har vi utviklet metoder som gjør det mulig å lage høykvalitetsbetong med tilslagsmaterialer utelukkende av knuste steinprodukter. Knust og foredlet sand – maskinsand – produseres allerede ved noen norske anlegg. Foredlingsprosessen varierer etter hva sanden skal brukes til. Ved noen anlegg har det vært tilstrekkelig med enkle justeringer i knuseprosessen, mens andre steder er hele anlegg utformet slik at man har full kontroll på tilslagspartiklenes størrelser og kornform, blant



Om sand- og grusressursene avtar, er Norge fortsatt rikt på fast fjell som kan benyttes på den samme måten ved bruk av innovativ teknologi. Foto: Rolands Cepuritis (NTNU/Norcem)

annet ved hjelp av nye metoder for knusing og vindsikting av partiklene.

Men ikke bare produksjonen av tilslag måtte endres for å kunne lage betong med 100 prosent tilslag fra knust fjell. Det er utviklet nye betongoppskrifter og løsninger for produksjon av betongblandinger med knust sand, som vanligvis inneholder høyere mengder finstoff enn naturlig sand.

I tillegg har COIN utviklet testmetoder for å hjelpe tilslagsprodusentene med kvalitetskontroll av de nye maskinsandproduktene, og for bruk ved utvikling av nye materialer av knust sand.

Teknologien som muliggjør 100 prosent tilslagsproduksjon fra knust fjell, gir helt nye muligheter for bærekraftig bruk av byggeråstoffer. Råstoffet blir kortreist, og de knuste produktene blir bedre utnyttet. Totalt bidrar den nye teknologien med flere fordeler for samfunnet:

- Redusert deponering av uegnede masser, som gir bedre ressursutnyttning og mer bærekraftig produksjon av tilslag

- Mindre slitasje på vei og mindre støy grunnet reduserte transportavstander
- Bevaring av naturlige sandressurser som viktige filter for grunnvann, og som i tillegg er rekreasjonsområder med natur og biologisk mangfold
- Utnyttelse av de best egnede bergartene, som vil gi betongkonstruksjonene lengre levetid og mindre behov for vedlikehold

Verktøykasse kommer i 2015

Resultatene fra prosjektet «Maskinsand for bruk i betong» vil bli publisert i doktoravhandlingen til Rolands Cepuritis (NTNU) i løpet av 2015. Det vil da foreligge en egen verktøykasse for produksjon av høykvalitets maskinsand, nyttige testmetoder og anbefalinger for proporsjonering av betong med 100 prosent maskinsand.



VSI knuser (Vertical Shaft Impactor eller «kubisator»)



To parallelle GI-type vindsikter



Rotor i en VSI

Teknologien for å produsere knust sand av høy kvalitet er allerede tilgjengelig.
Foto: Rolands Cepuritis



Kammer til et GI-type vindsikt

Kontaktperson

Børge Johannes Wigum, NTNU

Samarbeidspartnere

Norcem, NTNU og SINTEF

Forebygger sprekker i betongkonstruksjoner

Analyseverktøyet CrackTeST COIN gjør det mulig å forebygge riss og oppsprekking i betongkonstruksjoner.

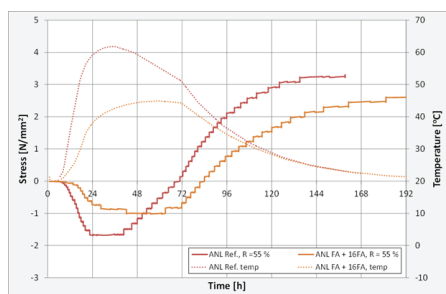
Vann som trenger inn i riss og sprekker i betongen, kan føre med seg skadelige salter inn til armeringen, og faren for armeringskorrosjon øker. Rissfrie og vanntette betongkonstruksjoner vil ha lengre levetid, bedre funksjonsevne og se bedre ut. På kort sikt unngår man også utgifter til tetting eller større reparasjoner i byggefasen.

Ny kunnskap om hvorfor og hvordan det oppstår riss i betongen, gjør det mulig å velge betongtype og støpemetode som gjør konstruksjonen mer bestandig. Erfaringer fra store prosjekter som Strindheimtunnelen i Trondheim og Operatunnelen i Oslo, viser at det er mulig å redusere eller fullstendig unngå oppsprekking, så lenge man stiller strenge nok krav til herdeteknologi og betongsammensetning.

Endrer volum under herding

Betong endrer volum i herdefasen, og volumendringen kan skape spenninger i betongen som igjen kan medføre riss, og i verste fall, større sprekke-dannelser. Grove konstruksjoner som skal motstå store miljøpåkjenninger, for eksempel i forbindelse med vei- og brubygging, er spesielt utsatt for slike skader.

Det er to hovedårsaker til at betongen endrer volum under herding. Den ene er varme-



Temperatur- og spenningsutvikling i en 0,8 m tykk vegg for to betonger med ulikt flygeaskeinnhold målt i TSTM-systemet. Illustrasjon: Anja Estensen Klausen

utvikling i betongen som følge av den kjemiske reaksjonen mellom sement og vann.

Den andre hovedårsaken til volumendringer er svinn i betongen som skyldes uttørring fordi vann forbrukes i den samme reaksjonen.

Nytt utstyr

For å kunne utføre mer nøyaktige analyser av betongmaterialers utvikling i en konstruksjonsdel, har en stor del av arbeidet i COIN vært knyttet til modernisering av prøvingsutstyret i SINTEFs og NTNUs betonglaboratorier. Vi har nå åtte rigger for måling av betongens frie deformasjon i isolerte, temperaturstyrte former, og en moderne spenningsrigg (Temperature-Stress Testing Machine, TSTM) som kan simulere riktig temperatur- spennings- og tøyningshistorie i et konstruksjons-element.

Nytt analyseverktøy – CrackTeST COIN

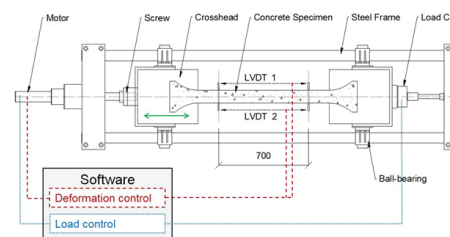
På bakgrunn av måleresultater fra betonglaboratoriet har vi utviklet analyseverktøyet CrackTeST COIN, et program som simulerer temperatur- og spenningsutvikling i en konstruksjon eller konstruksjonsdel. Ved å modellere en konstruksjon i dette programmet, kan man vurdere risikoen for opprissing i herdefasen, og effekten av ulike tiltak for å redusere/eliminere risikoen. Videre er verktøyet nyttig for å kunne velge riktig betong i en konstruksjon. Slike undersøkelser og beregninger kalles gjerne spenningsbasert herdeteknologi.

Tilpasset norske forhold

CrackTeST COIN er en videreutvikling av det svenske programmet ConTestPro som simulerer temperatur- og spenningsutvikling i massive betongkonstruksjoner. Videreutviklingen består i tilpassing til norske materialer og praksis. CrackTeST COIN leveres med innlagte materialdata for utvalgte betonger. I tillegg er det mulig å legge inn sine egne materialdata eller tilpassinger, basert på laboratorieforsøk med egen betong. Slik blir analysen enda bedre tilpasset den enkelte betongleverandørs materialer og betongsammensetning.

Flygeaske hindrer riss

Vi forsøker også å finne løsninger for å unngå at riss oppstår. I laboratorieforsøk undersøker



TSTM-systemet simulerer temperatur- og spenningshistorien i en konstruksjons kritiske snitt.

Illustrasjon: Anja Estensen Klausen

vi hvordan økt andel flygeaske i betongen påvirker varmeutviklingen under herdefasen i en konstruksjonsdel. Vi benytter Norcem Anleggsement og Aalborg Rapidsement med omtrent 20, 30, og 40 % tilsatt flygeaske, og forsøkene viser at en økt flyveaskeandel reduserer varmeutviklingen. Da utvides konstruksjonen mindre, spenningene som oppstår når betongen trekker seg sammen igjen, reduseres, og det gjør også risikoen for opprissing.

Inn i regelverk og bransjen

Arbeidet videreføres nå ved å implementere spenningsbasert herdeteknologi i standarder og regelverk. Vi ønsker videre at CrackTeST COIN skal tas i bruk av byggebransjen, og vi har utviklet et eget kursopplegg. Målgruppen er ansatte hos entreprenører, rådgivende ingeniører og byggherrer som har ansvar for planlegging og utførelse av massive betongkonstruksjoner der det stilles krav til rissfrie overflater, vanntetthet og lang levetid.

Kontaktpersoner

Gunrid Kjellmørk, SINTEF, Anja Estensen Klausen, NTNU/SINTEF og Terje Kanstad, NTNU

Samarbeidspartnere

Statens vegvesen, Unicon, Norcem, Møpei, Veidekke og Skanska

For påmelding til kurs, kontakt sverre.smeplass@skanska.no

Mergel blir miljøbetong

Sementindustrien står for det tredje største menneskeskapte utslippet av drivhusgassen CO₂. Utslippet kan reduseres med minst 30 prosent ved å bruke leirtypen mergel som klinker-erstatning.

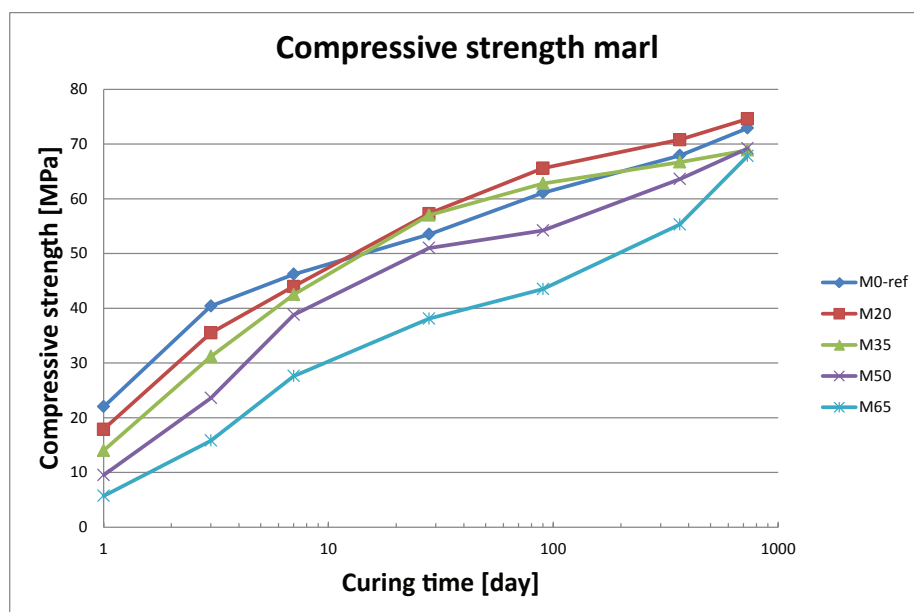
Sement i tradisjonell betongproduksjon består av kalkstein som brennes ved svært høy temperatur og blir til klinker. Klimagassutslippene fra denne prosessen har de siste årene blitt redusert ved å bruke mer miljøvennlig brensel og ved å erstatte klinkermengden med flygeaske fra kullfyrte kraftverk og masovnsagg. Tilgangen på disse erstatningene er ikke ubegrenset, og i jakten på ubrukte ressurser har leiren mergel vist seg å være et egnet alternativ.

Lavere forbrenningstemperatur – mindre energi

Mergel er en leire som ikke kan brukes i leirindustrien, fordi den inneholder for mye kalksteinspartikler. Til bruk i sement må mergelen kalsineres slik at den blir reaktiv og bidrar til fasthet. Kalsinering skjer ved brenning. Optimal temperatur for kalsinering av mergel er 700–800 °C. Til sammenligning blir kalkstein i tradisjonell sement brennt ved 1 450 °C. Den lave kalsineringstemperaturen for mergel åpner muligheten for å bruke biobrensel, som kan gi en miljøgevinst i seg selv. I tillegg krever det mye mindre energi å male mergelen til partikler enn det gjør for sement.

Mindre utslipp – bedre korrosjonsmotstand

Det ble vist i COIN at man kunne lage mørtel hvor 50 prosent av sementen var erstattet med kalsinert mergel, og samtidig oppnå nær samme 28-døgnfasthet som en mørtel med 100 prosent sement. En slik erstatning kan bidra til å redusere klimagassutslippet betydelig. Erstatning av 50 prosent av sementen med mergel gir også økt motstand mot kloridinn-trengning og svært høy elektrisk motstand, som er viktig for å motvirke korrosjon av armeringsjern. Den tidlige styrken er lavere enn for tradisjonell betong, men likevel bra nok til å kunne fjerne forskaling etter ett døgn, med 10 MPa. Lav tidligstyrke er et generelt problem med såkalte blandingssementer. Derfor utvi-

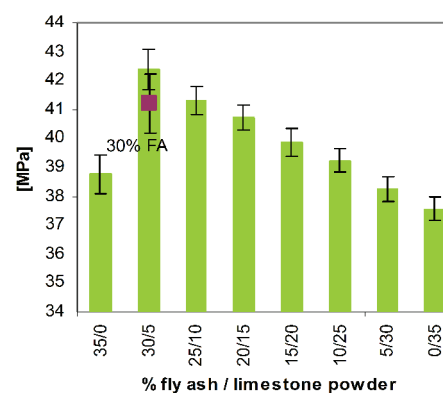


Fasthetsutvikling av mørtel hvor sement er erstattet med opptil 65 % kalsinert mergel fram til to års alder

klet vi en herdeakselerator, det vil si et tilsetningsstoff som blandes i betongen og som gjør at sement-vann reaksjonen går raskere. Mapei har patentert denne akseleratoren.

Kombinasjonen flygeaske – kalkstein

I COINs fokus på miljøvennlig betong ble det også undersøkt om sementerstatning i form av aluminiumholdige pozzolaner (flygeaske) og kalksteinsmel kunne gi økt fasthet. Det ble blant annet funnet at kalkstein er reaktiv, så lenge den får nok aluminiumholdige produkter å reagere med. For eksempel ga 30 prosent flygeaske og 5 prosent kalkstein høyere fasthet enn 35 prosent flygeaske alene. Norcem's nye lavkarbonsement er basert på en kombinasjon av sement, flygeaske og kalkstein. Mergel er leire som inneholder kalkstein. Leirmineralene har nært samme sammensetning som flygeaske. Sement med kalsinert mergel blir da et liknende system med den forskjell at kalsinerte leireminerale bidrar fortere til fasthet enn flygeaske.



Fasthet av mørtel etter 28 døgn hvor 35 % sement er erstattet med en kombinasjon av flygeaske og kalkstein

Kontaktperson

Hårold Justnes, SINTEF

Samarbeidspartnere

Norcem, Mapei og Saint-Gobain
Byggevarer AS

Betong som ikke skiller seg

Bedre testmetoder og kunnskap om betongens flyteegenskaper sikrer jevnere og mer effektiv støping.

Selvkomprimerende betong (SKB) flyter lettere enn vanlig betong, og fyller støpeformen uten bruk av komprimeringsutstyr. Derfor blir den ofte brukt der man ønsker en fin, jevn betongoverflate. Støper man en lang konstruksjon, for eksempel en vegg eller en lang bjelke, risikerer man imidlertid at tilslagsmaterialet i betongen (stein og grus) ikke fordeler seg jevnt, men hoper seg opp i den ene enden av konstruksjonen. Fenomenet kalles separasjon og er en utfordring – særlig når SKB må flyte over lengre avstander.

Det er fullt mulig å unngå separasjon, men det fører ofte til dyr betong. Vi har forsøkt å finne en oppskrift som sikrer stabil betong, ved å velge riktige delmaterialer og sammensetning, uten at betongen blir for dyr. Spesielt har vi undersøkt effekten av ulike stabiliserende tilsetninger i betongen. I tillegg har vi funnet en enkel og praktisk testmetode som kan forutsi stabiliteten til SKB som må flyte langt når den støpes.

Gjenspeiler faktiske forhold

På betongfabrikken Contiga i Stjørdal undersøkte vi stabiliteten til ulike betonger og sammenliknet våre resultater med resultater fra fire ulike testmetoder.

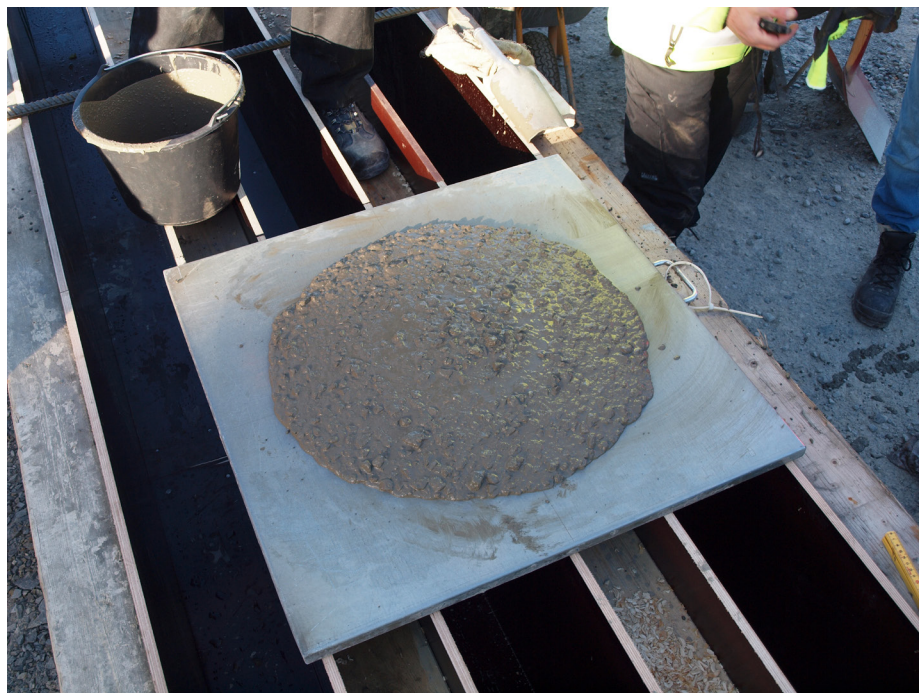
Vi lot betonger med forskjellig stabilitet flyte 10 meter i bjelkeformer, og målte så hvordan tilslaget var fordelt over hele lengden. Testen ble altså utført på en måte som gjenspeiler de faktiske forholdene på en byggeplass, og den er derfor godt egnet til å forutsi betongblandings stabilitet i en konstruksjon. Resultatene fra vår undersøkelse stemte godt overens med resultatene fra enkle testmetoder, noe som betyr at vi kan stole på disse testene for å forutsi hvilke betonger som egner seg for støping i lange former.

Kontaktpersoner

Klaartje de Weerd, SINTEF
Tor Arne Martius-Hammer, SINTEF

Samarbeidspartnere

Skanska, Unicon, NTNU og SINTEF



Testing av betong etter metoden VSI – Visual Segregation Index. Foto: Gunrid Kjellmark



Støpeformene på betongfabrikken Contiga i Stjørdal. Foto: Gunrid Kjellmark

Vil forutsi armeringskorrosjon

Økt forståelse av mekanismene som forårsaker armeringskorrosjon, gjør det mulig å forutsi levetiden og bæreevnen til betongkonstruksjoner mye mer nøyaktig samt å øke levetiden ved å velge riktige løsninger. Det vil redusere ressursbruken og gi store økonomiske besparelser

Armeringskorrosjon er den vanligste årsaken til nedbrytning av betongkonstruksjoner.

Armeringen beskyttes av betongen, men klorid kan trenge inn i betong fra sjøvann og veisalt og forårsake korrosjon i armeringsstål. Vi har undersøkt noen av mekanismene som styrer kloridinitiert armeringskorrosjon. Hovedfokuset har vært på å finne parameterne som inngår i levetidsmodellene og dermed gjøre modellene mer pålitelige.

Betongsammensetningen avgjør

Kloridinntrenging i betong påvirkes blant annet av betongens evne til å binde klorider, og bindingsevnen avhenger igjen av betongens kjemiske sammensetning. Vi har testet hvordan ulike sementtyper og bindemidler påvirker betongens evne til å binde klorider.

Må ta høyde for materialendringer

Gjeldende beregningsmetoder for kloridinntrenging i betong tar ikke høyde for at andre ioner i sjøvann forandrer betongens sammensetning og evne til å binde klorid. Disse forandringene kan delvis forklare at kloridtransporten i betong endres over tid og at endringen er forskjellig med ulike sementtyper og bindemidler.

Kritisk mengde klorid for start av korrosjon

Rapportert «terskelverdi», det vil si konsentrasjonen av klorider som forårsaker armeringskorrosjon, varierer kraftig mellom ulike undersøkelser. Kjennskap til korrekt terskelverdi for en gitt konstruksjonstype i et gitt miljø er av stor betydning for beregninger av konstruksjonens levetid. En lang armeringsstang har flere «svake punkter» som er sårbare for korrosjon enn en kort armeringsstang. Dermed blir terskelverdien for klorider lavere jo større



Betongkonstruksjoner som eksponeres for sjøvann, kan bli angrepet av armeringskorrosjon. Her testes en konstruksjon i tidevannssonen i Trondheimsfjorden. Foto: Klaartje De Weerd

konstruksjonsdelen er. Vi har foreslått en metode som «oversetter» laboratoriedata slik at de kan brukes til å beregne levetiden til betongkonstruksjoner som for eksempel bruer.

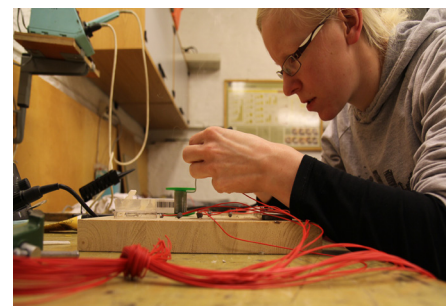
er en analytisk modell for å forutsi hvordan lokalkorrosjon på parallelle armeringsjern påvirker bæreevnen.

Elektrisk motstand påvirker korrosjonshastigheten

Korrosjonshastigheten på armeringen er knyttet til betongens elektriske motstand. Generelt gir økt elektrisk motstand redusert korrosjonshastighet; men tidligere studier av sammenhengen har gitt ulike resultater. Våre undersøkelser tyder på at de sprikende resultatene skyldes variasjoner i den elektriske motstanden i betongen tett ved korrosjonsangrepene (groptæringene). Variasjonene begrenser muligheten for å benytte data for elektrisk motstand til å vurdere korrosjonshastighet i en konstruksjon.

Howdan påvirkes bæreevnen?

Vi har utviklet en 3D-modell for å undersøke effekten av lokal korrosjon (groptæring) på bæreevnen til et konstruksjonselement. Modellen er brukt til å studere kombinerte effekter der størrelsen og plasseringen av korrosjonsangrep varierer. Resultatet av studien



Forberedelser til undersøkelse av sammenhengen mellom elektrisk motstand og korrosjonshastighet. Foto: Karla Hornbostel

Kontaktperson

Mette Rica Geiker, NTNU

Samarbeidspartnere

NTNU, Norcem, SINTEF, Skanska, Statens vegvesen og ETH, Zürich

Mindre sprø lettbetong med stålfiber

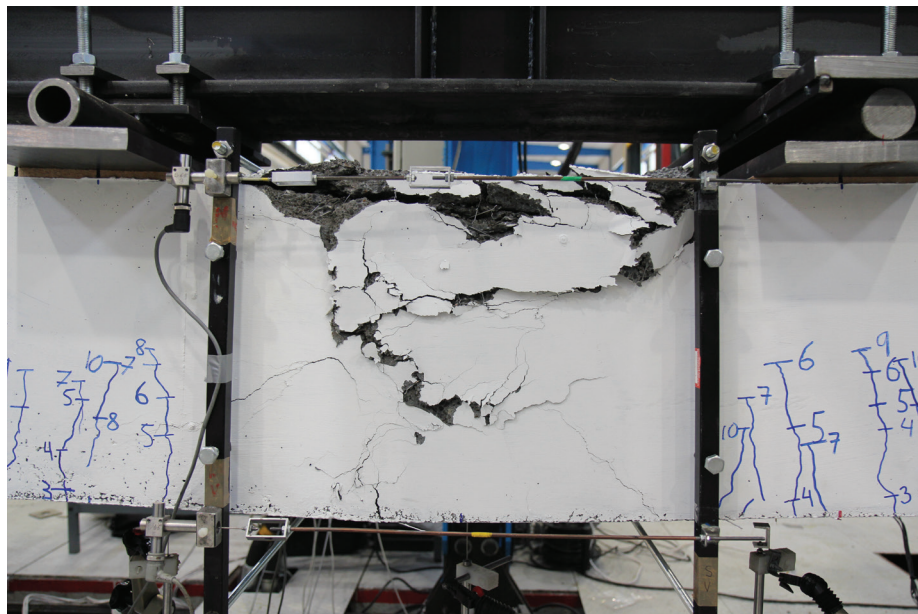
Lettbetong kan være både billigere og mer miljøvennlig å bruke enn tradisjonell betong, men den knuser lettere ved store trykkpåkjenninger. Nå er det dokumentert at fiberarmering gir lettbetongen bedre motstand mot knusing, og dermed kan gjøre den til en reell konkurrent til tradisjonell betong.

Ved å redusere vekten på betongen kan man lage konstruksjoner som er slankere, billigere og mer miljøvennlige enn dagens betongkonstruksjoner. Lettbetong finnes på markedet, men bli ofte valgt bort til fordel for tradisjonell betong. En av grunnene er at tradisjonell betong ikke knuser like raskt når den maksimale bærekapasiteten til konstruksjonen er nådd. Lettbetongen bryter sammen raskere, og kan dermed øke sannsynligheten for sammenbrudd av konstruksjonen.

Bryter sammen ved maks trykk

Det er velkjent og utnyttet kunnskap at fiberarmering kan øke betongmaterialers strekkapasitet. Fram til nå har stålfiber kun vært brukt for å øke betongens evne til å tåle strekkbelastninger.

Lettbetongens begrensning i bærende konstruksjoner er imidlertid trykktuktiliteten,



Typisk brudd i trykksone av en lettbetongbjelke med stålfiber. Foto: Tore Myrland Jensen

altså evnen til ikke å bryte sammen når konstruksjonens maksimale trykkapasitet er nådd. Vi har derfor forsøkt å finne metoder som forbedrer lettbetongens trykktuktilitet.

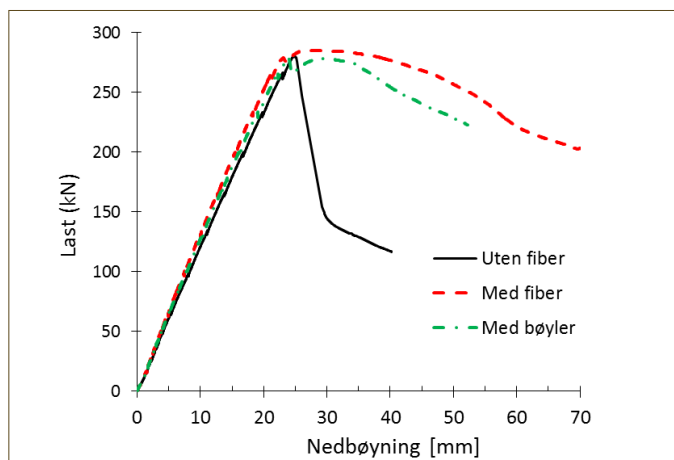
Fiberarmering øker bæreevnen

I laboratoriet testet vi bæreevnen til uarmerede, bøylearmerte og fiberarmerte bjelker av lettbetong ved kontrollert nedbøyning. Forsøkene viste at lettbetongens motstand mot

knusing økes når man tilsetter 1 volumprosent stålfiber med lengde 60 mm.

Armeringsfibrene binder betongen sammen, og man kan dermed påføre betongen større deformasjon før den knuser. Effekten av bøylearmeringen er den samme som ved å bruke fiber. Det er ikke tidligere dokumentert at fiber øker trykktuktiliteten i lettbetong, og resultatene åpner for helt ny og innovativ bruk av materialet.

Bæreevne for uarmerede, bøylearmerte og fiberarmerte bjelker av lettbetong ved kontrollert nedbøyning.



Kontaktperson

Jan Arve Øverli, NTNU

Samarbeidspartnere

Kværner Concrete Solutions AS, og Saint-Gobain Byggevarer AS

Snakker ikke nok om utseendet

Porer i betongoverflater er en kilde til strid mellom arkitekt og entreprenør i byggeprosjekter. Snært kan et nytt klassifiseringssystem for betongoverflater bidra til mindre uenigheter når flaten er ferdig støpt.

Synlige betongoverflater i bygninger gir det arkitektoniske uttrykket en materialitet og et særpreg mange liker. Uttrykket kan imidlertid bli ødelagt av porer i betongoverflata, dersom en glatt overflate var målet. Porer på en betongoverflate forekommer alltid, men størrelse og antall kan variere mye. Oppfatningen av hva som er akseptabelt varierer fra person til person, fra byggherre til arkitekt, og fra entreprenør til betongleverandør.

Ulike forventninger til overflaten

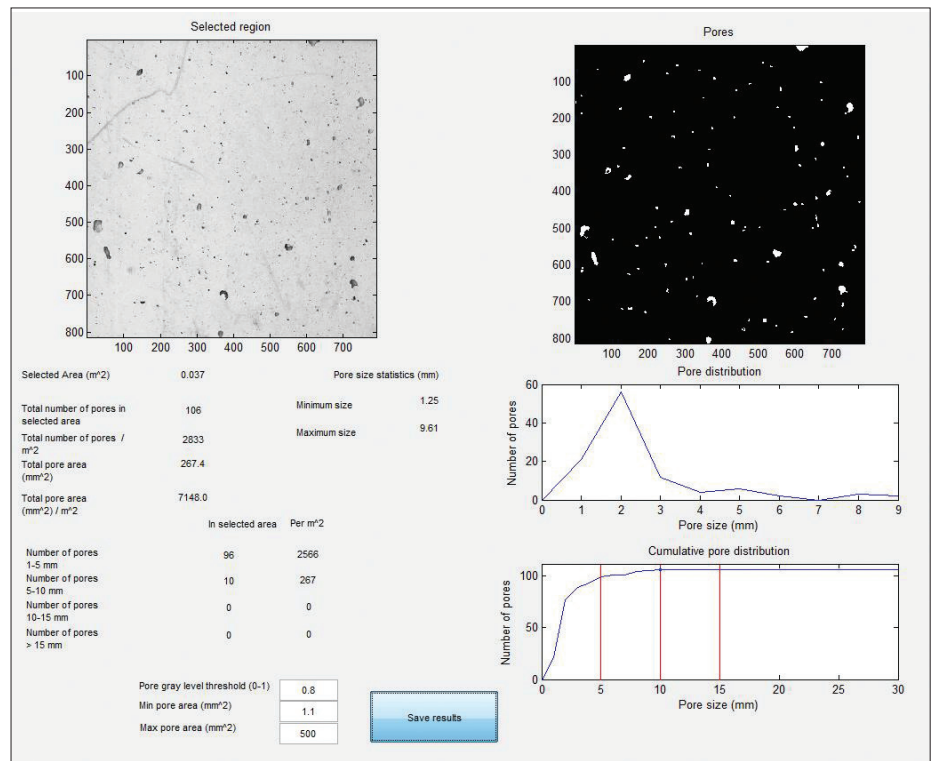
Mange faktorer påvirker utseendet til en ferdig støpt betongoverflate, men betongens utseende er ikke alltid et diskusjonstema når man prosjekterer. Dermed kan forventningene de ulike aktørene i byggeprosessen har til det endelige visuelle uttrykket, være forskjellige. Arkitekten ser ofte for seg en «ren» overflate med få porer. Det er fullt mulig å få til, men det krever god planlegging og er mer tidkrevende og dyrere å støpe enn en «vanlig» betongflate. Entreprenøren har som regel andre prioriteringer når det prosjekteres, og utseendet blir ikke alltid slik arkitekten forventet.

Nytt klassifiseringssystem

Vi har utviklet et bildeanalyseverktøy som gir



Foto av betongoverflate med porer



Analyse av betongoverflate i Betong GUI. Resultatet angis som antall porer per areal. Feltet øverst til venstre viser den faktiske betongoverflata, mens feltet øverst til høyre viser hvor programmet har registrert porer som hvite felt. I tillegg angis antall porer i forskjellige størrelsesklasser per areal.

en objektiv beskrivelse av porer i betongoverflater. Utgangspunktet for bildeanalysen er et vanlig fotografi av betongoverflaten, tatt med speilreflekskamera. Analyseverktøyet Betong-GUI gjør det mulig, ut i fra bildet, å analysere antallet og størrelsen på porene i betongoverflaten. En betaversjon av programmet er nå tilgjengelig fra SINTEF.

Bildeanalyseverktøyet kan videre gi grunnlag for et nytt klassifiseringssystem for betongoverflater. Objektive beskrivelser av betongoverflater, kombinert med bilder av de ulike overflatene, gjør det mulig å avtale hvilket utseende en overflate skal få, før man setter i gang byggearbeidet. Når forventningene til betongoverflaten er kjent, vil entreprenøren kunne få en oversikt over, og sette inn nødvendige tiltak for å klare å produsere ønsket betongkvalitet. På denne måten kan man hindre uenigheter i etterkant.

Et klassifiseringssystem for overflater vil

bidra til å øke fokuset på det visuelle resultatet, og dermed også redusere tidsforbruk og kostnader til flikking, samt bringe objektive målinger inn i diskusjonen mellom partene i en byggeprosess.

Kontaktpersoner

Kari Aarstød, SINTEF, Tone Østnor, SINTEF
Kristin Kaspersen, SINTEF og Klærtje De Weerd, SINTEF

Samarbeidspartnere

Skanska, SINTEF, Unicon, Norcem, Norbetong, Veidekke og NTNU

SINTEF Byggforsk er Europas tredje største forskningsinstitutt innen bygg. Målet vårt er å fremme miljøvennlige og kostnadseffektive produkter og løsninger innen det bygde miljø. SINTEF Byggforsk er Norges ledende leverandør av forskningsbasert kunnskap til byggebransjen. Gjennom vår virksomhet innen forskning og utvikling har vi dannet en unik plattform for kunnskapsformidling for en stor del av byggeindustrien.

COIN – Forskningscenter for betonginnovasjon er et Senter for forskningsdrevet innovasjon (SFI) initiert av Forskningsrådet. COINs visjon er attraktive betongbygg og -konstruksjoner. Målet er å oppfylle denne visjonen ved å ta utviklinga et stort skritt videre gjennom langsiktig forskning i tett samarbeid med industrien på områder som avanserte materialer, effektive byggemetoder og nye designkonsepter med mer miljøvennlig materialproduksjon.

