

**SINTEF Building and Infrastructure**

Oliver Berget Skjølsvik (Skanska), Eirik Høram (Skanska) og  
Sverre Smeplass (Skanska)

# Beregning av rissrisiko CrackTeSt COIN

COIN Project report 57 – 2015



SINTEF Building and Infrastructure

Oliver Berget Skjølvik (Skanska), Eirik Høram (Skanska) og Sverre Smeplass (Skanska)

# **Beregning av rissrisiko CrackTeSt COIN**

FA: Technical performance

SP 3.1 Crack free concrete structures

COIN Project report 57 – 2015

COIN Project report no 57

Oliver Berget Skjølsvik (Skanska), Eirik Haram (Skanska) og Sverre Smeplass (Skanska)

### **Beregning av rissrisiko CrackTeSt COIN**

FA: Technical performance

SP 3.1 Crack free concrete structures

Keywords:

Materialteknologi, betong, herdefase, rissrisiko, analyse

Project no.: 102000442-6

Photo, cover: «The Svinesund brigde»

A through arch bridge crossing Iddefjord at Svinesund, and joining Sweden and Norway.

ISSN 1891-1978 (online)

ISBN 978-82-536-1457-1 (pdf)

© Copyright SINTEF Building and Infrastructure 2015

The material in this publication is covered by the provisions of the Norwegian Copyright Act. Without any special agreement with SINTEF Building and Infrastructure, any copying and making available of the material is only allowed to the extent that this is permitted by law or allowed through an agreement with Kopinor, the Reproduction Rights Organisation for Norway. Any use contrary to legislation or an agreement may lead to a liability for damages and confiscation, and may be punished by fines or imprisonment.

Address: Forskningsveien 3 B  
POBox 124 Blindern  
N-0314 OSLO

Tel: +47 22 96 55 55

Fax: +47 22 69 94 38 and 22 96 55 08

[www.sintef.no/byggforsk](http://www.sintef.no/byggforsk)

[www.coinweb.no](http://www.coinweb.no)

### **Cooperation partners / Consortium Concrete Innovation Centre (COIN)**

#### **Kværner Engineering**

Contact: Jan-Diederik Advocaat

Email: Jan-Diederik.Advocaat@kvaerner.com

Tel: +47 67595050

#### **Saint Gobain Weber**

Contact: Geir Norden

Email: geir.norden@saint-gobain.com

Tel: +47 22887700

#### **Norcem AS**

Contact: Terje Rønning

Email: terje.ronning@norcem.no

Tel: +47 35572000

#### **NTNU**

Contact: Terje Kanstad

Email: terje.kanstad@ntnu.no

Tel: +47 73594700

#### **Mapei AS**

Contact: Trond Hagerud

Email: trond.hagerud@mapei.no

Tel: +47 69972000

#### **SINTEF Building and Infrastructure**

Contact: Tor Arne Hammer

Email: tor.hammer@sintef.no

Tel: +47 73596856

#### **Skanska Norge AS**

Contact: Sverre Smeplass

Email: sverre.smeplass@skanska.no

Tel: +47 40013660

#### **Norwegian Public Roads Administration**

Contact: Kjersti K. Dunham

Email: kjersti.kvalheim.dunham@vegvesen.no

Tel: +47 22073940

#### **Unicon AS**

Contact: Stein Tosterud

Email: stto@unicon.no

Tel: +47 22309035

#### **Veidekke Entreprenør ASA**

Contact: Christine Hauck

Email: christine.hauck@veidekke.no

Tel: +47 21055000

## Sammendrag

Når sement hydratiserer (reagerer med vann) utvikles en betydelig varmemengde. I de fleste betongkonstruksjoner fører dette til en temperaturstigning de første døgnene etter utstøpning, og deretter temperaturfall når den mest intense delen av sementhydratasjonen er over, og varmen ledes bort mot omgivelsene. Temperaturendringene gir tilhørende volumendringer, såkalt termisk dilatasjon. Samtidig har betongmaterialet et visst volumtap pga. herdeprosessen, uavhengig av volumendringene som skyldes temperaturen. Dette kalles autogen deformasjon.

Når volumendringene hindres pga. fastholding mot fjell, fundament eller andre konstruksjonsdeler, vil det oppstå spenninger i konstruksjonen. I nedkjølingsfasen vil dette være strekkspenninger. I grove konstruksjoner kan temperaturendringene, og dermed volumendringene, gi så store spenninger kan bli så store at det oppstår gjennomgående riss.

CrackTeSt COIN er et dataprogram for 2D - modellering og analyse av temperaturutvikling og spenningsutvikling i herdende betongkonstruksjoner. Programmet har flere bruksområder, den viktigste er muligheten for analyse og vurdering av faren for oppsprekking i herdefasen. CrackTeSt COIN er derfor et viktig planleggingsverktøy i de prosjektene der det er spesielt viktig å støpe betongkonstruksjoner uten gjennomgående opprissing forårsaket av fastholdt termisk og autogen dilatasjon.

Skanska har lang erfaring med CrackTeSt COIN og tilsvarende programmer. Teknologien er benyttet som et produksjonsplanleggingsverktøy på en rekke prosjekt, for å redusere faren for gjennomgående opprissing på grunn av fastholdt termisk dilatasjon. Programmet blir i stor grad også benyttet til rene temperaturberegninger, og tradisjonell analyse og simulering av temperatur- og fasthetsutvikling.

CrackTeSt COIN har mangler som vi håper blir utbedret i senere oppdateringer og revisjoner av programmet. Programmet er likevel det best egnede og allsidige skandinaviske herdeteknologi-programmet som er tilgjengelig i skrivende stund.

Kvaliteten på materialdataene som benyttes i beregningene er avgjørende for hvor riktige temperatur og spenningsberegningene blir. Med gode materialdata blir CrackTeSt COIN et nyttig verktøy for å kartlegge rissrisiko i betongkonstruksjoner, samt å gjennomføre tradisjonelle herdeteknologi beregninger på temperatur og fasthetsutvikling.



## Contents

1	Innledning.....	6
2	Herdeteknologi og temperaturinitiert opprissing .....	7
2.1	Riss i armerte betongkonstruksjoner .....	7
2.2	Spenninger og opprissing .....	7
2.3	Betongens varmetutvikling.....	9
3	CrackTeSt COIN.....	10
3.1	Presentasjon av programmet .....	10
3.2	Arbeidsmetodikken i programmet .....	10
4	Når er det aktuelt å benytte CrackTeSt COIN.....	12
4.1	Prosjekter beskrevet etter Prosesskode 2.....	12
4.2	Prosjekter der det er beskrevet temperatursimuleringer.....	12
4.3	Prosjekter med krav til beregning av rissrisiko .....	13
4.4	Prosjekter der Skanska selv velger å beregne rissrisiko .....	13
4.5	Produksjonstekniske forhold.....	14
5	Materialdata, statiske betingelser og kalibrering av beregninger .....	15
5.1	Materialbiblioteket i CrackTeSt COIN.....	15
5.1.1	Dagens materialbibliotek .....	15
5.1.2	Fremtidens materialbibliotek.....	16
5.2	Valg av inputparametere.....	16
5.2.1	Planleggingsfasen .....	16
5.2.2	Produksjonsfasen .....	17
5.2.3	Materialmodellene i programmet.....	17
5.3	Statiske betingelser .....	18
5.4	Kalibrering av beregninger .....	19
6	Erfaring fra praksis.....	21
7	Konklusjon/oppsummering.....	23
8	Bibliografi .....	24

## 1 Innledning

I grove betongkonstruksjoner kan fastholdt termisk og autogen dilatasjon i herdefasen gi så store spenninger at det oppstår gjennomgående opprissing. Opprissingen har normalt ingen betydning for bæreevnen, men kan medføre problemer knyttet til konstruksjonens tetthet, og ikke minst bestandighet. Det er derfor ønskelig å begrense denne type opprissing.

Spenningsbasert herdeteknologi er metoder for å beregne spenningsoppbygning pga. fastholdt termisk og autogen dilatasjon, og sammenligne denne med strekkfasthetsutviklingen. Teknologien kan brukes til å identifisere utsatte konstruksjonsdeler, og vurdere effekten av ulike tiltak for å begrense opprissingstendensen. Beregningene er komplekse og ressurskrevende, og kan i praksis ikke gjennomføres manuelt. Det er derfor utviklet spesielle FEM-baserte dataprogrammer som kan benyttes til slik analyse. CrackTeSt COIN er et slikt program.

Skanska har benyttet CrackTeSt COIN og tilsvarende programmer i flere år. Programmene blir hovedsakelig benyttet til å analysere rissrisiko, men også til rene temperaturberegninger og tradisjonelle herdeteknologiberegninger som går på temperatur og fasthetsutvikling.

Skanska har lenge vært den eneste aktive brukeren i Norge av denne type beregningsprogrammer. Båndene mellom brukerne av programvaren og produksjonen i de aktuelle anleggsprosjektene er tette. Dette medfører at Skanska aktivt har brukt programmene som et verktøy i produksjonsplanleggingen, i tillegg til å gjennomføre kontraktsfestede analyser av rissrisiko der dette har vært aktuelt.

De tette båndene til produksjonen medfører også at brukerne av analyseprogrammene opparbeider erfaring i beregningenes nøyaktighet gjennom temperaturmålinger og rissobservasjoner. I denne rapporten oppsummeres de erfaringene som er gjort. Rapporten forsøker også å vise hvordan Skanska benytter metode og programvare for å løse sine produksjonstekniske utfordringer.

Rapporten er ingen brukermanual for CrackTeSt COIN. Hvordan vi konkret modellerer og kjører beregninger i programmet er derfor ikke omtalt. Rapporten går heller ikke i detalj om programmets spesielle materialmodeller. I stedet fokuserer vi på i hvilke situasjoner det er aktuelt å benytte programmet, og hvordan denne typen programmer har fungert i disse situasjonene.

Rapporten starter med en kort innføring i det teoretiske grunnlaget for analyse av fastholdt termisk og autogen dilatasjon. Videre omtales CrackTeSt COIN programmet, og dets virkemåte. Resten av rapporten tar for seg i hvilke situasjoner Skanska benytter denne type program, og de erfaringene som er gjort gjennom bruken av programmene.

Riktig input er en forutsetning for gode analyser. Vi forsøker derfor å vise hvilke prosesser vi går igjennom for å komme frem til best mulig input med de ressursene som er tilgjengelige.

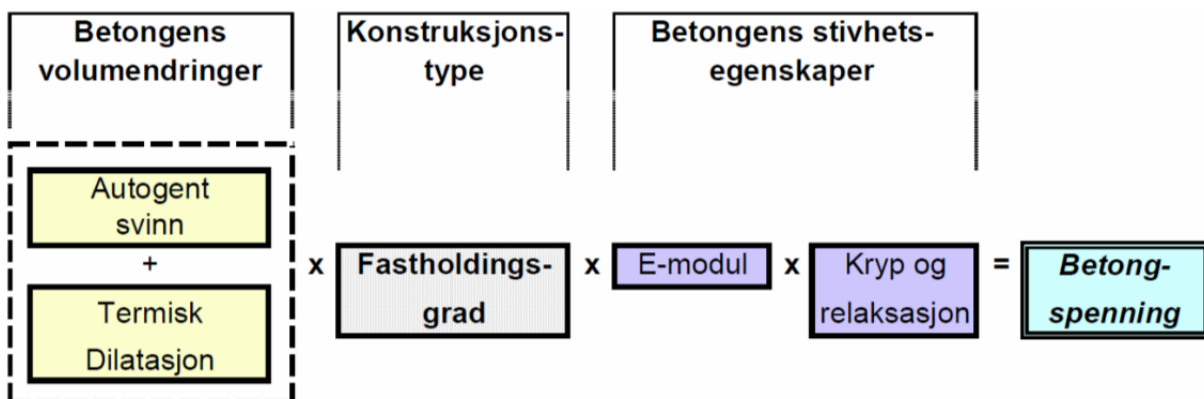
## 2 Herdeteknologi og temperaturinitiert opprissing

### 2.1 Riss i armerte betongkonstruksjoner

Fastholdingsriss i armerte betongkonstruksjoner er ofte gjennomgående og vannførende. Dersom konstruksjonen er forutsatt å være vanntett, vil rissene dermed redusere betongens funksjonalitet, og gi behov for tettingstiltak. Rissene vil også kunne bidra til økt kloridinntrenging og økt karboniseringshastighet, og kan derfor framskynde initieringen av armeringskorrosjon. Konstruksjonen blir også mindre motstandsdyktig mot frostpåkjenning. Kostnadene ved å redusere faren for opprissing i konstruksjoner utsatt for klorider og/ eller frostpåkjenning er meget små, sammenlignet med reparasjonskostnadene, eller livsløpskostnadene knyttet til den reduserte levetiden.

### 2.2 Spenninger og opprissing

Ved beregning av risikoen for riss pga. fastholding mot andre konstruksjoner er det en rekke faktorer som spiller inn. Betongens volumendring, konstruksjonsutformingen, og betongens stivhetsegenskaper er parametere som er bestemmende for spenningsutviklingen, og dermed rissrisikoen. Ved estimering av rissrisiko ut fra spenningsberegninger har også strekkfasthetsutviklingen en avgjørende rolle. Avgjørende parametere som gir betongspenninger i denne sammenheng er skjematisk vist i figur 1.



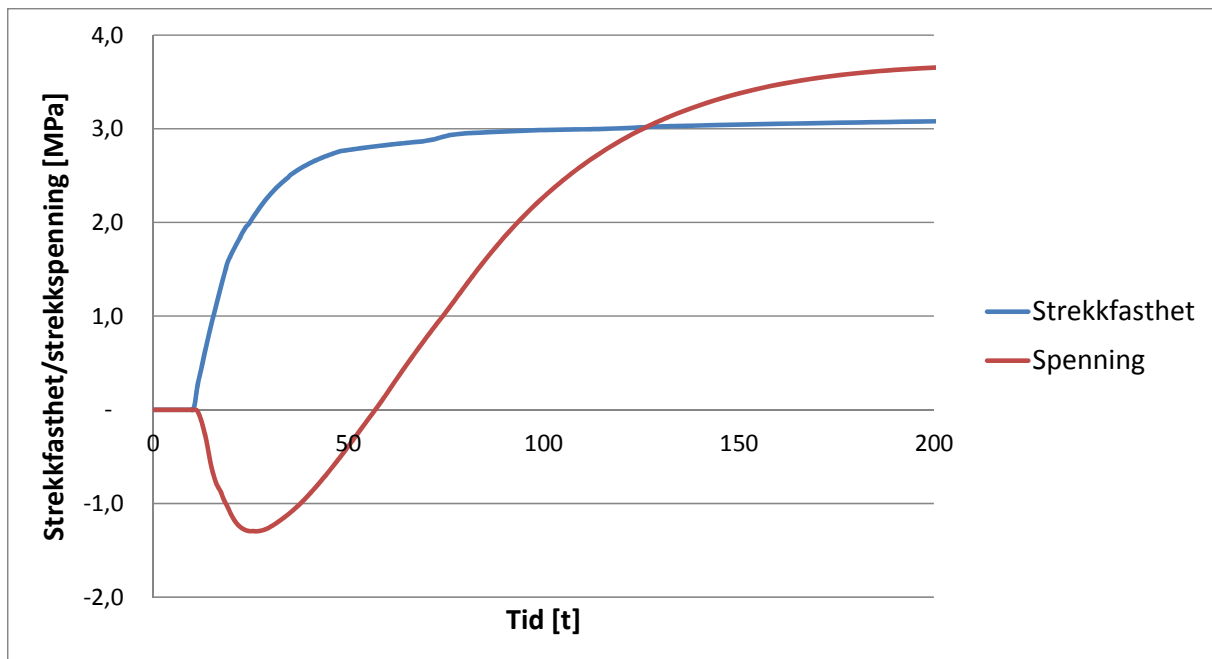
Figur 1. Parametre som gir spenninger i betongen pga. betongens herdeforløp og randbetingelser. (1)

Betongens varmeutvikling og temperaturstigning i herdefasen gir betongen en volumøkning. Når betongen kjøles ned igjen får den en volumreduksjon. Når volumendringene er forhindret ved fastholding mot en tilstøtende konstruksjon, vil det oppstå spenninger. I oppvarmingsfasen vil betongen bli påført trykkspenninger.

Når betongen kjøles ned, og volumet reduseres, avtar trykkspenningen. Betongens stivhet (E-modul) øker etterhvert som betongen herder, mens evnen til kryp og relaksasjon avtar. Volumreduksjonen ved nedkjøling vil derfor ikke bare eliminere trykkspenningene, den vil gi resulterende strekkspenninger. Betongens autogene svinn gir også en volumreduksjon (autogen dilatasjon), og dermed strekkspenninger som overlager de resulterende strekkspenningene fra temperaturendringene.

Figur 2 viser spenningsutviklingen i et fastholdt betongprisme som gjennomgår et naturlig temperaturforløp de første timene etter støp.





Figur 2 Spenningsutvikling i et fastholdt betongprisme som gjennomgår et naturlig temperaturforløp de første timene etter støp. Spennings- og fasthetsutvikling er beregnet med CrackTeSt COIN. Konstruksjonen risser idet spenningene overgår strekkfastheten.

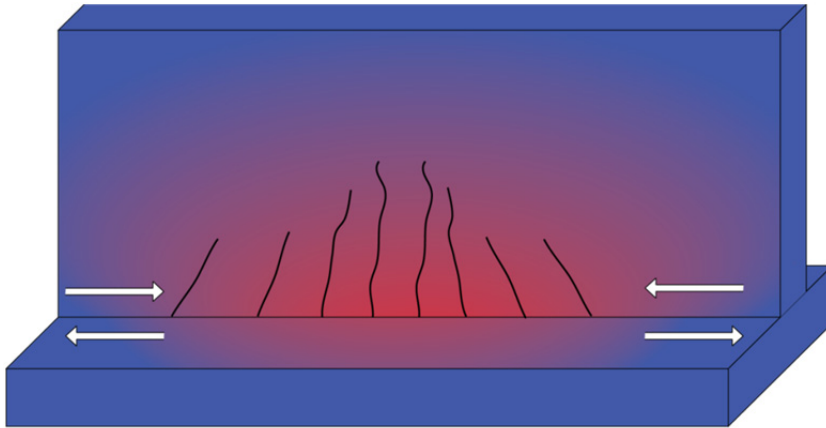
Det løpende forholdet mellom strekkspenningen i betongen og strekkfastheten kaller vi rissindeksen:

$$Rissindeks(t) = \frac{Betongspenning(t)}{Strekfasthet(t)}$$

Dersom rissindeksen er lik 1 er betongspenningen lik strekkfastheten. Er rissindeksen høyere enn 1 er strekkapasiteten i betongen fullt utnyttet, og betongen risser. Normalt settes akseptkriteriet for rissindeks på 0,75, ref. Bjørvika Senketunnel (2). Dette tilsvarer at 75 % av betongens strekkapasitet er utnyttet.

Betongspenningene i konstruksjonen er avhengig av fastholdingsgraden mot tilstøtende konstruksjoner eller omgivelsene. Forutsatt at heften mellom varm og kald konstruksjonsdel er tilstrekkelig, er fastholdingsgraden avhengig av stivhetsrelasjonen mellom de to konstruksjonsdelene, og materialstivhetene. For en vegg støpt på et stripefundament vil fastholdingsgraden avhenge av arealtreghetsmomentet til vegg og fundament, og E-modulen til de to avsnittene.

Figur 3 viser hvordan en vegg på et stripefundament risser når den trekker seg sammen i nedkjølingsfasen.



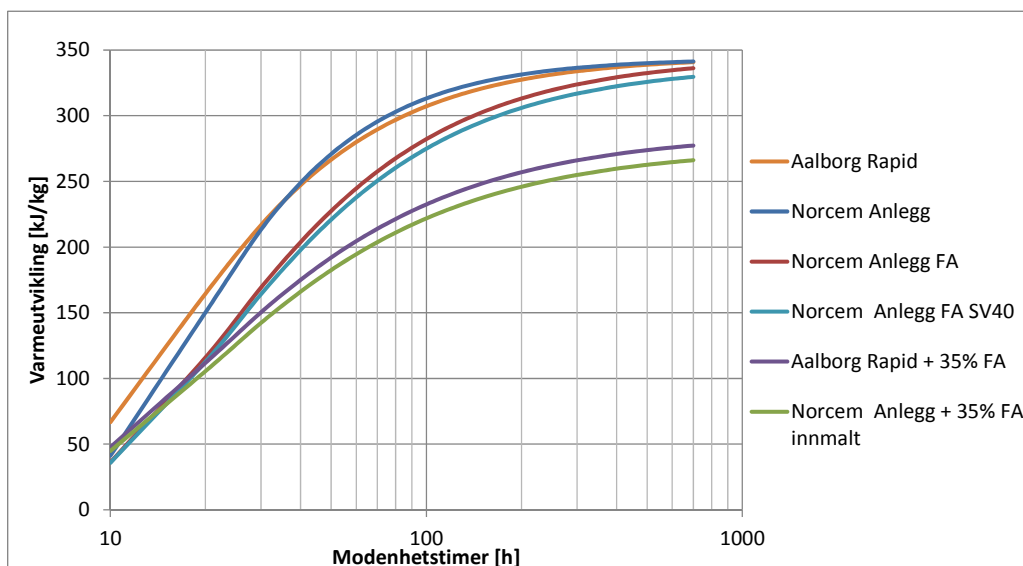
Figur 3. Vegg støpt på fundament med typisk opprissing pga. nedkjøling av herdende betong i veggen.

### 2.3 Betongens varmeutvikling

Betongens varmeutvikling er den parameteren som har størst effekt på rissindeksen, og gir dermed også best mulighet til å redusere opprissingstendensen. Høyere og raskere varmeutvikling gir alltid større sannsynlighet for opprissing enn moderat varmeutvikling.

Varmeutviklingen kan gi en oppvarming av konstruksjonen på opptil 50 °C. Den totale mengden bindemiddel har naturlig nok direkte innvirkning på varmemengden, og dermed temperaturstigningen. Ulik sammensetning av klinkermaterialer i sementen gir forskjellig varmeutvikling, og klinkermaterialene påvirker hverandres hydrasjonsprosesser. Total varmemengde er også avhengig av finmalingsgraden (Blaine-verdi), og om det er blandet inn pozzolaner eller hydrauliske bindemidler som flyveaske, silikastøv eller slagg.

Figur 4 viser målt varmeutvikling for et utvalg bindemiddelkombinasjoner på det norske markedet, med forskjellig dosering av flyveaske.



Figur 4 Varmeutvikling per sementenhet for forskjellige typer sement med ulike flyveaske doseringer.

## 3 CrackTeSt COIN

### 3.1 Presentasjon av programmet

CrackTeSt COIN er en versjon av det svenske analyseprogrammet ConTeSt PRO som er tilpasset norsk praksis gjennom COIN. Programvaren er utviklet av Jan Erik Jonasson, som også har utviklet Hett97. Hett97 er en enklere programvare som er distribuert av Norcem som gratis kundesupport. (3)

CrackTeSt COIN er et FEM-basert beregningsprogram for herdeteknologi. Det er såkalt  $2\frac{1}{2}$  dimensjonalt. Det vil si at konstruksjonene tegnes i 2D (x-y), samtidig som det er mulig å sette kriterier for fastholding normalt på planet (fastholdt translasjon i z-retning), og fastholding av rotasjon rundt x- og y-aksene.

Programmet regner først temperaturforløp og temperaturfordeling i konstruksjonen, og egenskapsutvikling for betongmaterialet basert på modenhetsprinsippet. Brukeren velger selv materialtyper og randbetingelser. Deretter beregnes spenninger som oppstår pga. den termiske og autogene dilatasjonen, og fastholdingseffektene.

Programmets database inneholder data for en god del typiske randbetingelser som for eksempel luft, treverk, plast, isolasjonsmaterialer osv. Det er også et utvalg av betonger i programmet, men disse må tilpasses hvert enkelt prosjekt. Dette er nærmere omtalt i kapittel 5. I tillegg er det muligheter for å legge inn varmekabler og kjølerør.

Programmet kan brukes til:

- Simulering av temperaturforløp, trykk- og strekkfasthetsutvikling
- Valg av herdetiltak ved forskjellige værscenarier
- Beregning av spenninger basert på fastholdingseffekter
- Beregning av rissindeks basert på beregnede strekkspenninger i konstruksjonen, og beregnet strekkfasthet i betongmaterialet.

I programmet kan brukeren velge mellom to metoder for å beregne spenninger. Dette er «plane surface» - analyse og «linear line» - analyse. «Plane surface» – analyse bør benyttes siden «linear line» er en forenklet metode som utnytter symmetri i modellen. «Plane surface» - analyse er mer anvendelig, siden metoden tar hensyn til krumning i flere retninger samtidig.

Bruken av denne typen beregningsprogram er ikke utbredt. Dette medfører at det vil være begrenset økonomi til å videreutvikle programvaren, rette opp feil og publisere nye versjoner. Programmet har per dato en tendens til å krasje med jevne mellomrom. Dette er heller ikke uvanlig for andre tilsvarende program. Det er derfor helt nødvendig å lagre arbeidet som gjøres flere ganger under modellering og analyse.

### 3.2 Arbeidsmetodikken i programmet

Det første steget er å modellere konstruksjonsdelen som skal analyseres. Dette gjøres ved å tegne opp tverrsnittet av de aktuelle konstruksjonsdelene i programmet. Geometrien kan endres etter at de forskjellige konstruksjonselementene er tegnet, ved å endre koordinatene på knutepunktene i modellen.

Kalkulasjonstiden må også angis. Dette er det tidsintervallet det skal utføres temperatur- og spenningsberegninger for. Dersom analysen fokuserer på temperaturforløpet, kan dette tidsintervallet være kortere enn dersom det utføres spenningsanalyser. Dette skyldes at de høyeste rissindeksene kan oppstå langt ut i herdeforløpet, dvs. etter at konstruksjonen er nedkjølt. Programmet bruker lenger tid på beregningene ved lengre kalkulasjonstid. Det vil derfor ofte være ønskelig at kalkulasjonstiden holdes lavest mulig.

Neste steg i analysen er å angi parameterne for elementnettet i FEM- modellen. Parameterne må tilpasses modellen slik at ikke beregningene blir unødvendig ressurskrevende, samtidig som det oppnås tilstrekkelig nøyaktighet. I praksis er dette mest utfordrende for store modeller der det benyttes kjølerør eller varmekabler.

Etter at FEM parameterne er valgt kan elementnettet genereres. Tidsintervallet det skal utføres beregninger for er knyttet opp mot elementnettet. Elementnettet må derfor genereres på ny dersom analysetidsintervallet endres.

De modellerte konstruksjonsdelene knyttes opp til betongmaterialer fra programmets materialbibliotek. Disse materialene kan både være ferske betonger, der materialegenskapene er tidsavhengige, og fullherdede varianter med hovedsakelig konstante mekaniske egenskaper. De valgte materialene gis en starttemperatur. Betongenes materialegenskaper kan om ønskelig endres for å oppnå en bedre tilpasning til betongen som skal benyttes. Det kan også defineres helt nye materialer i materialbiblioteket.

Varmetapet til omgivelsene legges inn ved å angi randbetingelser for overflatene. Randbetingelsene kan enten angis direkte i form av transmisjonstall, eller det kan velges vindhastigheter og ulike isolasjonsmaterialer fra en database i programmet. Randbetingelsene kan være tidsavhengige, slik at slik at det er mulig å ta med at forskalingen fjernes, det legges på isolasjon osv. Fyllingshastigheten under utstøpingen av konstruksjonen kan også legges inn, slik at denne effekten blir tatt med i analysen.

Etter at alt dette er modellert og lagt inn, kan temperaturberegningene kjøres. Når temperaturberegningene er gjennomført, er det klart for å kjøre en eventuell spenningsberegning. For at spenninger kan beregnes må det velges statiske betingelser og beregningstype.

For å få frem resultatene må det først angis hvilke resultater som ønskes presentert. Beregningsresultatene kan presenteres som kurver eller fargekart for temperatur, modenhet, fasthet, spenning og rissindeks. Resultatene kan presenteres som maksimal- eller minimumsverdier, gjennomsnitt for konstruksjonsdeler, eller som verdier i koordinatgitte punkt i konstruksjonene. Det kan også bygges opp rapporter som kan skrives direkte ut av programmet.

## 4 Når er det aktuelt å benytte CrackTeSt COIN

Det mest opplagte bruksområdet for CrackTeSt COIN er analyse av rissrisiko for konstruksjoner utsatt termisk opprissing. Det er sjeldent det er krav i kontrakten om at denne typen analyse skal utføres. Når en først besitter kompetansen og programvaren er det likevel naturlig å benytte CrackTeSt COIN for å løse denne typen utfordringer. Programmets gode brukergrensesnitt og tilpasningsmuligheter gjør det også til et foretrukket verktøy til enklere oppgaver, som beregning av temperatur- og fasthetsutvikling.

### 4.1 Prosjekter beskrevet etter Prosesskode 2

Veg- og jernbaneprosjekter beskrives etter Statens vegvesens Prosesskode 2. Her er det beskrevet følgende krav som ofte kommer til anvendelse på grove konstruksjoner utsatt for termisk opprissing.

*Om ikke annet er angitt, skal:*

- *maksimal herdetemperatur ikke overskride 65 °C*
- *temperaturdifferansen over tverrsnittet ikke overskride 20°C*
- *differansen mellom gjennomsnittstemperaturen i to tilgrensende støpeavsnitt ikke overskride 15°C dersom fastholdingslengden mellom støpeavsnittene overstiger 5 meter.*
- *maksimal overflatetemperatur ikke overskride 40°C dersom flaten vil bli utsatt for klorider*

På denne typen prosjekter er det som regel beskrevet kostnadsbærende tiltak for å redusere temperaturdifferansene, og klare temperaturkravene. Entreprenøren forventes også å gjennomføre tilstrekkelig måling og rapportering for å kunne dokumentere at kravene overholdes.

Tanken bak opplegget er at dersom det oppstår riss og entreprenøren ikke kan vise til at temperaturkravene er overholdt må entreprenøren koste eventuelle utbedringstiltak. Dersom temperaturkravene er overholdt må tiltakene kostes av byggherren.

Temperaturkravene i Prosesskode 2 er strenge. Det er i mange tilfeller vanskelig å tilfredsstille temperaturkravene, selv om konstruksjonen reelt sett ikke vil være utsatt for termisk opprissing. Kravet til temperaturdifferanse mellom støpeseksjoner er også vanskelig å forholde seg til, ettersom kravene er relatert til gjennomsnittstemperaturer. Siden det ikke er mulig å måle gjennomsnittstemperaturen direkte, må dette i praksis løses ved å utføre temperaturberegninger som kalibreres mot målt temperaturutvikling i definerte punkter i konstruksjonen. Etter at det er oppnådd bra samsvar mellom beregnet og målt temperaturutvikling kan gjennomsnittstemperaturen hentes ut av programmet.

### 4.2 Prosjekter der det er beskrevet temperatursimuleringer

For massive konstruksjoner i kraftverk og lignende hender det at det blir beskrevet at det skal utføres temperaturberegninger og temperaturmålinger. På disse prosjektene fokuserer den prosjekterende som regel på rene temperaturkrav, dvs. krav til maksimaltemperatur og krav til temperaturdifferanser eller -gradienter.

Hensikten med temperaturkravene er delvis å hindre fasthetstap og generelt forringet bestandighet pga. høy herdetemperatur, og delvis å begrense tendensen til termisk opprissing av betongoverflatene (indre fastholding). Alternativt beskrives at forskalingen skal beholdes på en gitt

tidsperiode for å unngå termisk opprissing når forskalingen rives. Kravene kan også være knyttet til nedkjøling før injisering mellom betong og fjell, eventuelt betong og stål.

CrackTeSt COIN er godt egnet til bruk på denne typen enkle problemstillinger, forutsatt at det er mulig å beskrive geometrien i 2 dimensjoner, med tilstrekkelig representativitet. Endimensjonale verktøy, som f.eks. Hett97, gir ofte store avvik mellom beregnet og målt temperatur ved avvik fra forutsetningene om endimensjonal varmestrøm. I slike tilfeller er CrackTeSt COIN bedre egnet, og har samtidig tilstrekkelig brukervennlighet og fleksibilitet mht. beskrivelse av geometri og material-egenskaper.

De faktorene som gir økt fleksibilitet i CrackTeSt medfører også at det tar lenger tid å få gjennomført analysen. Korrekt geometri oppnås ved å tegne inn konstruksjonsdelene. Det vil som regel også være flere parametere som må velges.

På prosjekter der det beskrives temperaturgradientkrav vil det som regel også bli gjennomført spenningsanalyser for å endre fokuset fra rene temperaturkrav til rissrisiko. Temperaturkravene er ofte svært strenge. I mange tilfeller vil det ikke oppstå termisk opprissing selv om temperaturkravene overskrides.

### **4.3 Prosjekter med krav til beregning av rissrisiko**

Senketunnelen i Bjørvika er en del av det vegsystemet som nå bærer navnet «Operatunnelen». Vegprosjektet var delt i tre entrepriser. Den mest spesielle entreprisen var «Sjødelen», som bestod av bygging og montering av en senketunnel bestående av seks tunnelelementer som ble gravd ned i sjøbunnen i Bjørvika og Bispevika.

Senketunnelprosjektet var det første og hittil eneste prosjektet i Norge der det var satt krav til beregninger av rissrisiko i herdefasen. I kontrakten var det beskrevet at det skulle utføres temperatur- og spenningsanalyser som dokumenterte at risikoen for termisk induserte riss var akseptabel under de klimatiske forholdene som ville være aktuelle for utførelsen. Betongresept og utførelse skulle velges slik at opptredende strekkspenninger under utstøpning og herding av betongen, til en hver tid var under 75 % av betongens strekkspenningskapasitet på det aktuelle tidspunktet.

En rissfri konstruksjon skulle oppnås ved å benytte lavvarmebetong, der en stor del av portlandsementen var erstattet med flygeaske. Hensikten med de spesielle kravene til risskontroll var å gi entreprenøren frihet til å bidra med sin kunnskap og erfaring, til å velge gode materialkombinasjoner, og produksjonsmetoder for å unngå termisk opprissing. Samtidig plasserte disse kravene risikoen for opprissing hos entreprenøren.

### **4.4 Prosjekter der Skanska selv velger å beregne rissrisiko**

Det er kun på Senketunnelprosjektet det er satt krav til beregning av rissrisiko i produksjonsunderlaget. Når en først besitter kompetansen og programvaren er det likevel naturlig å benytte CrackTeSt COIN eller tilsvarende programvare på andre prosjekter, selv om produksjonsunderlaget ikke stiller krav om at beregninger skal utføres.

Veg- og jernbaneprosjekter beskrives etter Statens vegvesens Prosesskode 2. Her er det som nevnt tidligere satt strenge temperaturkrav som ofte kommer til anvendelse. Kravene er relatert til gjennomsnittstemperaturer som er vanskelig å forholde seg til uten et analyseprogram. I mange tilfeller er det også vanskelig å tilfredsstille temperaturkravene, selv om konstruksjonen reelt sett ikke vil være utsatt for termisk opprissing.

Skanska har på flere prosjekter vurdert det som en bedre løsning å utføre beregninger på tilsvarende måte som ble gjort på Senketunnelprosjektet, fremfor å forholde seg til temperaturkravene i Prosesskode 2. Dette ble f. eks. gjort på Strindheimtunnelen, og på E 18 Tassebekk - Langåker i Vestfold. Siden dette er fravik fra kontrakten, har dette blitt avtalt med byggherren i hvert enkelt tilfelle.

#### **4.5 Produksjonstekniske forhold**

I mange tilfeller vil det være produksjonstekniske årsaker som medfører at Skanska finner det hensiktsmessig å benytte CrackTeSt COIN til å utføre herdeteknologiberegninger på sine prosjekter. I disse tilfellene fokuseres det som regel på betongens fasthetsutvikling i forbindelse med vinterstøp, oppspenning av spennarmering eller rivning av forskaling.

Også i denne sammenhengen er det programmets gode tilpasningsmuligheter som gjør det til et foretrukket verktøy. Det kan legges inn nye materialmodeller for fasthet og eventuelt varmeutvikling, som er basert på målinger utført på den aktuelle betongsammensetningen. Siden geometriforhold implementeres ved å tegne konstruksjonsdelene i programmet, blir det mulig å ta hensyn til kompleks geometri.

## 5 Materialdata, statiske betingelser og kalibrering av beregninger

CrackTeSt COIN har per dato et materialbibliotek med 3 typiske anleggsbetonger. Disse skal gjenspeile de betongtypene som er mest i bruk i det norske markedet.

Ved å stille inn de statiske betingelsene som fastholding mot translasjon og rotasjon er det mulig å gjøre 2D beregninger tilstrekkelig gyldige for en del spenningssituasjoner som egentlig er 3-dimensjonale.

Det er også viktig å kalibrere beregningene mot faktiske temperaturforløp og evt. opprissing når produksjonen er i gang.

### 5.1 Materialbiblioteket i CrackTeSt COIN

En av de store fordelene med CrackTeSt COIN er at nye betongvarianter kan legges inn ved å angi verdier og modeller for ulike materialegenskaper som lagres i et materialbibliotek. Tre «typiske» betonger følger med programmet. Disse kan enten benyttes direkte, eller benyttes som basis for å lage nye betongvarianter. De tre «typiske» betongene finnes både som ferske betonger, der materialegenskaper er tidsavhengige, og fullherdede varianter uten varmeutvikling, og med hovedsakelig konstante mekaniske egenskaper.

#### 5.1.1 Dagens materialbibliotek

De tre betongvariantene som følger med den nåværende versjonen av CrackTeSt COIN er:

- Traditional structural concrete CEM I,  $w/c = 0,4$
- Semi low-heat concrete, 20% FA
- Low-heat concrete, 40% FA

Traditional structural concrete CEM I,  $w/c = 0,4$  er en gammeldags anleggsbetong basert på ren portlandsement. Prøvingen er utført med en betong basert på Norcem Anlegg.

Semi low-heat concrete, 20% FA skal representere en anleggsbetong basert på Norcem Anlegg FA. Prøvingen av materialdataene ble utført av Skanska i forbindelse med Senketunnelprosjektet. De mekaniske egenskapene er derfor målt på en betong basert på en sement med ca. 30 % flygeaske, i stedet for ca. 20 % som er flygeaskeinnholdet i Norcem Anlegg FA nå. Varmeutviklingen er målt på ny for en betong basert på Norcem Anlegg FA. Målt spaltestrekkfasthets-utvikling er også redusert med 25% for å være representativ for direkte (aksial) strekkfasthet.

Low-heat concrete, 40% FA er tatt med som en fullverdig lavvarmebetong, der flygeaskeinnholdet er høyt nok til å gi tilnærmet optimale lavvarme-egenskaper. Prøvingen av materialegenskapene ble utført i forbindelse med AF og NCC sine kontrakter på Senketunnelprosjektet. Prøvingen er utført på en betong basert på Aalborg Rapid i kombinasjon med 40% flygeaske.

I materialdataene for Low-heat concrete ligger det inne en E-modul-verdi som er mye høyere enn for betonger med normalt tilslag. Dette fører til at å bytte fra Semi low-heat concrete, 20% FA til Low-heat concrete, 40% FA ikke gir lavere rissindeks, selv om herdevarmen er lavere. Dette vil bli rettet opp i neste versjon av materialbiblioteket.



CEM I betongen i material biblioteket er som nevnt tidligere basert på prøving utført med en betong basert på Norcem Anleggssement. Denne sementen er i dag erstattet av Norcem Anlegg FA, og er derfor ikke allment tilgjengelig i markedet. Unicon benytter Aalborg Rapid på sine blandeverk i Sør og på Østlandet. Dette er også en ren portlandsement, men det forventes likevel å være en viss forskjell på mekaniske egenskaper mellom disse to sementene.

### 5.1.2 Fremtidens materialbibliotek

Materialdataene i materialdatabasen i CrackTeSt COIN er redigerbare. Brukeren av programmet kan derfor endre eksisterende betonger, og legge in nye betonger slik det måtte passe. Som nevnt i avsnitt 5.2.3 er terskelen for å gjøre dette høy. Normalt vil det heller ikke være økonomi eller tid til å gjennomføre nødvendig prøving av materialparametere på nye bindemiddelkombinasjoner. Dette gjelder selv på store anleggsprosjekter.

Utvalget av betonger i dagens materialbibliotek er begrenset. I praksis er flere andre sementer aktuell å benytte på prosjektene. I Sør-Norge benytter Unicon Aalborg Rapid. Denne sementen benyttes enten alene eller i kombinasjon med flyveaske. Cemex importerer en sement kalt Cemex Miljøsement. Dette er en slaggsement med ca. 32 % slagg. Vi forventer også etterhvert tilgang på sementer med høyere andel slagg.

Utenfor de største byene har blandeverkene ofte bare Norcem Standard FA sement på silo. Denne sementen er bedre tilpasset typiske byggkonstruksjoner, enn grove anleggskonstruksjoner. Det er likevel ikke uvanlig at sementen benyttes, eller at den blir vurdert benyttet i anleggskonstruksjoner på grunn av ekstrakostnadene forbundet med å ta inn spesialsementer.

Skal bruken av spenningsbasert herdeteknologi og CrackTeSt COIN bli mer utbredt, bør materialbiblioteket inneholde et større antall ulike betonger. Betongene må være basert på ulike sementer, flyveaske-kombinasjoner og mulig også tilslag med ulik stivhet. Dette fjerner den økonomiske barrieren med material prøvningen. For brukerne av programmet senkes også brukerterskelen betraktelig, ettersom brukeren av bare kan velge en passende betong fra materialbiblioteket, fremfor å måtte utføre omfattende prøvning og modellering av materialegenskaper selv.

## 5.2 Valg av inputparametere

Analyse av temperaturforløp, fasthetsutvikling og rissrisiko gjennomføres normalt både i planleggings- og produksjonsfasen.

### 5.2.1 Planleggingsfasen

I planleggingsfasen er det lite som er klart både med tanke på valg av betongleverandør, avklaring av kravene til betongen, og mulige tiltak og virkemidler på byggeplass. I slutten av planleggingsfasen begynner brikkene å falle på plass, og man begynner å gjøre beregninger på aktuelle konstruksjoner med erfaringsbaserte data. Når det gjelder riss pga. fastholding og termisk dilatasjon er det i denne fasen at valgene treffes for å løse problemene. Beregningene i CrackTeSt COIN gjøres med standardbetongene som ligger inne i programmet, men det gjøres egne antagelser omkring FA-dosering, randbetingelser og fastholdingseffekter.

## 5.2.2 Produksjonsfasen

I produksjonsfasen har man valgt betong på basis av planleggingsfasen og begynt å produsere de aktuelle betongene. Det er støpt herdekasse for varmeutvikling, og terninger for trykkfasthetsutvikling. Andre parametere som densitet, bindemiddelmengde, varmekapasitet og varmestrømningstall er også på plass. Basert på resultatene herfra begynner beregningene å bli mer nøyaktige, og man ser raskt om de tiltakene som er planlagt er gode nok til å klare kravene til resultat.

Strekfasthetsutvikling, E-modul, aktiveringsenergi, samt kryp- og svinn blir sjelden målt i direkte tilknytning til byggeprosjekter. Strekkfasthet og E-modul er parametere som påvirker rissindeksen i forholdet 1:1. Disse parameterne blir likevel sjelden undersøkt. En årsak kan være høye prøvingskostnader på E-modulforsøk, og lite kunnskap om spaltstrekkforsøk.

Tabell 1 viser noen av de forskjellige parameterne som trengs for å gjøre herdeberegninger, pris og i hvilken utstrekning det er vanlig å innhente data.

Tabell 1 Inndata i herdeberegninger, innhentingsmetode og pris.

	Parameter	Hvordan innhentet	Pris	Viktighet *
Gjøres normalt for å kalibrere beregninger	Varmeutvikling	Herdekasse på anlegg eller i lab	Billig	++
	Densitet	Resept	Gratis	+
	Bindemiddelmengde	Resept	Gratis	+
	Varmekapasitet	Resept (må beregnes)	Billig	+
	Varmestrømningstall	Litteratur og kvalifisert gjetning	Billig	+
	Trykkfasthetsutvikling	Støpe terninger og knekke ved forskjellige aldre	Billig	-
Gjøres sjelden for å kalibrere beregninger	Strekfasthetsutvikling	Støpe sylindre med aktuell resept og gjøre spaltstrekk-forsøk ved forskjellige aldre	Billig	+
	E-modul	Støpe sylindre med aktuell resept og sende til laboratorieforsøk	Dyrt	+
	Aktiveringsenergi	Støpe terninger som knekkes ved forskjellige aldre. Tre parallelle forsøk ved 5, 20 og 35 graders herdetemperatur.	Dyrt	0
	Kryp og svinn	Støpe former til svinnrigg som tester svinn og kryp.	Veldig dyrt.	0

\* Viktighet av gode data for strekkspenningsberegninger

Det er sjelden satt av tid eller penger til å gjøre detaljerte undersøkelser av materialparameterne som trengs for å få en god nøyaktighet på beregningene. Ved å være konservativ, og se på tidligere erfaring, er det mulig å gjøre de valgene som gir rimelig pålitelige beregninger. Dette gjelder både temperatur- og rissindeks-beregninger.

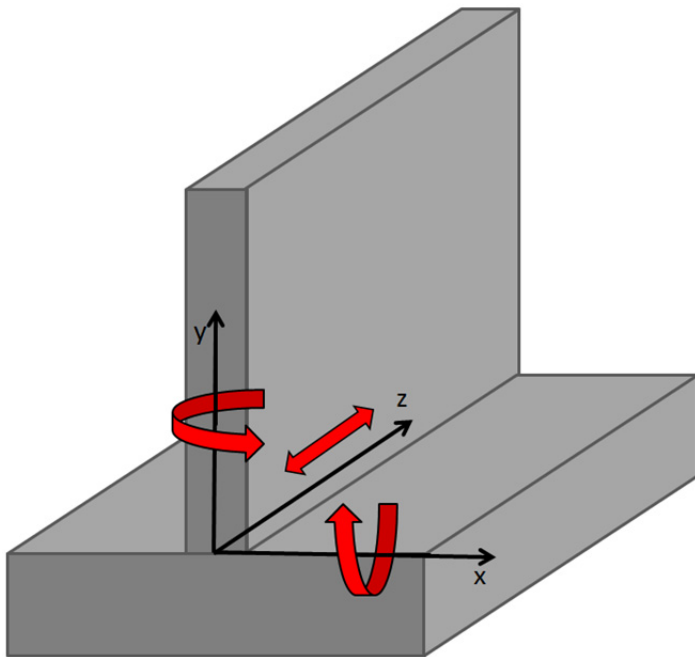
## 5.2.3 Materialmodellene i programmet

Materialmodellene for trykkfasthet, strekkfasthet og E-modul korresponderer ikke med de danske modellene (Freiesleben-Hansen og Pedersen (4)) som tradisjonelt har vært brukt i Norge. Dette gir en del utfordringer ved bruk av materialparametere som er prosjektspesifikke. Brukertersekelen for dette er høy, og en må holde tungen rett i munnen for å få lagt inn riktige verdier.

En brukermanual for materialbiblioteket med forklaringer av hva de enkelte parameterne er, og teorigrunnlaget bak må komme på plass hvis dette programmet skal kunne benyttes av en bransje som har kunnskap og erfaring tilpasset danske modeller og betegnelser.

### 5.3 Statistiske betingelser

I CrackTeSt COIN er det mulig å definere en ytre fastholding mot translasjon i z-retning, og rotasjon om x- og y-aksen, som vist i figur 4. Dette kan være nyttig for enkelte geometrier. CrackTeSt tar ikke høyde for egenvekt til konstruksjonen i beregningene. Det er derfor ikke nødvendig å legge inn opplager slik det må gjøres i en del andre programmer, som f. eks. 4C og B4C. Standardinnstillingen i programmet er full fastholding mot translasjon og rotasjon om x- og y-aksen. Det er svært få tilfeller hvor dette er riktig for den aktuelle innspenningen.



Figur 5 Fastholding mot rotasjon om x- og y-aksen og fastholding mot translasjon i z-retning.

Fastholding mot translasjon settes normalt lik 0. I tilfeller hvor flere støpeavsnitt kommer etter hverandre, eller at konstruksjonen støpes mellom to støpeavsnitt kan det være aktuelt å øke fastholdingsgraden. Vi har gjennomført enkle sammenlignende analyser i 2D (CrackTeSt COIN) og 3D (b4cast), og funnet at denne typen fastholding kan antas å representere en fastholdingsgrad mot translasjon mellom 0 og 0,5 i 2D – analysen.

Fastholding mot rotasjon er ikke like enkelt å modellere, men påvirker heller ikke spenningsberegningene i like stor grad som fastholding mot translasjon. Det er mulig å låse fastholdingen mot rotasjon både om x- og y-aksen.

Når det gjelder fastholding mot rotasjon om x-aksen vil lange veggverrsnitt, hvor lengden er 2 x høyden eller mer, ha en fastholdingsgrad som plasseres mellom 0-0,5. For avsnitt med liten lengde i forhold til høyden settes fastholdingsgraden lik 0.

For fastholding mot rotasjon om y-aksen er det snakk om grove og stive fundamenter som for eksempel kontinuerlige bunnplater. Veggene på bunnplaten vil da ha en fastholding mot rotasjon om y-aksen mellom 0,5-1,0. For vegger på smale stripefundament vil fastholdingsgraden være lik 0.

Konstruksjoner som er fundamentert på fjell kan være vanskelig å modellere. Fastholdingsgraden er direkte avhengig av geometri og utstrekning, og denne kan være svært uregelmessig i kontaktflaten mellom fjell og betong. Fjellet har som regel også ukjente stivhetsegenskaper. Alt i alt må en for hver konstruksjon gjøre en vurdering av innstillingene for fastholding mot translasjon og rotasjon om x- og y-aksen.

#### 5.4 Kalibrering av beregninger

Når det utføres beregning av rissrisiko for en konstruksjon bør det også gjennomføres logging av temperaturutvikling i den herdende betongkonstruksjonen, slik at temperaturberegningene kan kalibreres. Dette er i praksis de eneste målingene som kan utføres for å kontrollere beregningenes nøyaktighet.

Ved å sammenligne beregnet og målt temperaturutvikling kan utvalgte materialparametere eller randbetingelser justeres slik at det oppnås bedre samsvar med temperaturmålinger. Det er vanskelig å oppnå identisk temperaturforløp, selv ved gjentatte forsøk. Dette skyldes det store antallet faktorer som påvirker temperaturutviklingen i den herdende betongkonstruksjonen. Erfaringsmessig er det like vel mulig å oppnå ett samsvar innenfor  $\pm 2^\circ \text{C}$  mellom beregnet og målt temperatur i hele temperaturforløpet. Et avvik i dette området har liten betydning på beregnet rissindeks.

Spenningsberegninger er vanskeligere å kontrollere enn temperaturberegninger. Det finnes utstyr for å måle tøyninger i herdende betongkonstruksjoner, men dette er kostbart, og gir ofte ikke entydige måleresultater. Beregnede tøyningresultater er heller ikke tilgjengelige i CrackTeSt COIN.

I praksis kan beregningene bare kontrolleres ved å sammenligne beregnet rissindeks med observerte riss i de aktuelle konstruksjonene. Sammenligningen gir som regel bare en pekepinn på om rissindeksen er over eller under 1,0. Det er sjelden den kan tallfestes nøyaktig.

Er det flere gjennomgående riss i en betongvegg er det tydelig at rissindeksen er over 1,0, men det er vanskelig å vite om rissindeksen er 1,2 eller 1,5. Dersom veggens er uten gjennomgående riss er rissindeksen under 1,0, men det er vanskelig å vite hvor stor utnyttelsen av betongens oppnådde strekkfasthet har vært. Det er kun ved svak opprissing det er mulig å fastsette at rissindeksen er tilnærmet lik 1,0. Det vil som regel være nødvendig med flere støpeseksjoner både med og uten opprissing for nøyaktig å kunne kontrollere spenningsberegningene.

Under byggingen av senketunnelelementene var det mulig å utføre «kalibrerte» beregninger på bakgrunn av rissobservasjoner. Her ble det observert økende opprissingstendens etter hvert som veggseksjonene ble utført i en varmere årstid. Det ble dermed mulig å plukke ut den første veggseksjonen med svak opprissing, og fastslå at rissindeksen hadde vært nær 1,0 under utførelsen.

Både temperaturutvikling i betongveggene, og omgivelsestemperaturen var blitt målt og registrert med dataloggere i utførelsesperioden. Temperaturberegningene ble kalibrert mot temperaturmålingene slik at det ble oppnådd best mulig samsvar mellom beregnet og målt temperaturutvikling. Spenningsberegningene ble kalibrert ved blant annet å redusere betongens strekkfasthetsutvikling slik at en beregnet maksimal rissindeks på 1,0 ble oppnådd for seksjonen med svak opprissing.

De kalibrerte beregningene ga ca. 25 % høyere rissindeks enn de initiale beregningene. Størsteparten av dette avviket antas å skyldes at strekkfasthetsutviklingen benyttet i de initiale

beregningene var overestimert. Kontrakten tillot bruk av spaltestrekkmetoden for å kartlegge strekkfasthetsutviklingen. Spaltestrekkmetoden er kjent for å gi høyere resultater enn direkte prøving av enaksiell strekkfasthet (2).

## 6 Erfaring fra praksis

Skanska har benyttet CrackTeSt COIN og tilsvarende programmer i flere år. Programmene blir hovedsakelig benyttet til å analysere rissrisiko, men også til rene temperaturberegninger og tradisjonelle herdeteknologiberegninger av temperatur og fasthetsutvikling.

Kvaliteten på materialdataene er avgjørende for hvor riktige temperatur og spenningsberegningene blir. Med gode materialdata blir CrackTeSt COIN et nyttig verktøy for å kartlegge rissrisiko i betongkonstruksjoner, iverksette riktige tiltak, samt å gjennomføre tradisjonelle beregninger av temperaturforløp - og fasthetsutvikling.

Som tidligere nevnt krever det relativt lite prøving for å dokumentere nok betonegenskaper til å beregne temperatur og fasthetsutvikling med god nøyaktighet. Denne typen beregninger er derfor lett å utføre selv med nye bindemiddelkombinasjoner.

Materialeegenskapene som har betydning for spenningsberegningene krever mer avansert og kostbar prøving. Det er kun på senketunnelprosjektet det var tatt med kostnadsbærende poster for denne type prøving i anbudsgrunnlaget, slik at nødvendig prøving ble utført.

Erfaringene fra senketunnelprosjektet viser at det er mulig å oppnå tilstrekkelig nøyaktighet i beregningene, slik at spenningsbasert herdeteknologi kan benyttes til å vurdere rissrisiko, og hvilke tiltak som er nødvendig for å redusere rissrisikoen til et akseptabelt nivå.

På Strindheimtunnelen i Trondheim og på E18 Tassebekk – Langåker i Vestfold valgte Skanska selv å utføre analyse av rissrisiko fremfor bare å forholde seg til temperaturkravene i Prosesskode 2. På disse prosjektene var betongen basert på Norcem Anleggsement FA. Dette er samme sement som ble benyttet på Senketunnelprosjektet, bortsett fra at flyveaskeinnholdet var noe høyere på senketunnelprosjektet.

Materialdataene som ble bestemt for senketunnelprosjektet ble også benyttet på disse prosjektene. Varmeutvikling ble målt på ny lokalt på prosjektene. Strekkfasthetsutviklingen var redusert med 25 % for å kompensere for at spaltestrekkmetoden var benyttet til å bestemme strekkfasthetsutviklingen. Betongen i senketunnelprosjektet hadde sannsynligvis noe høyere E-modul enn betongen i de senere prosjektene. Samtidig ga redusert andel FA sannsynligvis noe høyere tidlig strekkfasthet. Dette bidro til en viss overestimering av rissrisikoen, slik at beregningene lå på sikker side i forhold til reell rissrisiko.

På senketunnelprosjektet var det krav om at beregnet rissindeks ikke skulle overskride 0,75. Dette innebar at opptredende strekkspenninger i utførelsesperioden ikke kunne være større enn 75 % av betongens til en hver tid oppnådde strekkfasthet. Det er derfor en betydelig sikkerhetsmargin innbakt i kravet.

Erfaringsmessig gir kravet om maksimal beregnet rissindeks på 0,75 tilstrekkelig sikkerhet mot opprissing. På prosjekter der det utføres prøving av materialeegenskaper kan det tenkes at grenseverdien kan settes høyere, siden en del av usikkerheten fjernes ved at materialeegenskapene måles for aktuell betong.

Skal det gjennomføres prøving av materialeegenskapene for betongene som skal benyttes, må dette tas med i beskrivelsesteksten for prosjektet. Det er normalt ikke økonomi eller tid til å gjennomføre

dette arbeidet selv i store anleggsprosjekter. Det er derfor naturlig at ansvaret for at dette utføres faller på prosjekterende eller profesjonelle byggherrer. Alternativt må hele bransjen samarbeide om å utarbeide et solid materialbibliotek med et stort utvalg betonger, slik intensjonen opprinnelig var i COIN.

## 7 Konklusjon/oppsummering

CrackTeSt COIN har noen mangler som vi håper blir utbedret i oppdatert versjoner av programmet. Programmet er likevel det best egnede og allsidige skandinaviske herdeteknologi programmet tilgjengelig i skrivende stund.

Kvaliteten på materialdataene er avgjørende for hvor riktige temperatur og spenningsberegningene blir. Med gode materialdata blir CrackTeSt COIN et nyttig verktøy for å kartlegge risikoen i betongkonstruksjoner, samt å gjennomføre tradisjonelle herdeteknologi beregninger på temperatur og fasthetsutvikling.

Erfaringsmessig gir kravet om maksimal beregnet rissindeks på 0,75 tilstrekkelig sikkerhet mot opprissing. På prosjekter der det utføres prøving av materialegenskaper bør grenseverdien kunne settes høyere, siden en del av usikkerheten fjernes ved at materialegenskapene måles for aktuell betong.

Skal det gjennomføres prøving av materialegenskapene for betongene som skal benyttes må dette tas med i beskrivelsesteksten for prosjektet. Det er normalt ikke økonomi eller tid til å gjennomføre dette arbeidet selv i store anleggsprosjekter. Det er derfor naturlig at ansvaret for at dette utføres faller på prosjekterende eller profesjonelle byggherrer. Alternativt må hele bransjen samarbeide om å utarbeide et solid materialbibliotek med et stort utvalg betonger.



## 8 Bibliografi

1. **Bjøntegaard, Øyvind.** *Volumendringer og risstendens i betong.* Oslo : Teknologirapport nr. 2565, 2009.
2. **Smeplass S., Bjøntegaard Ø., Kompen R., Haram E.** *Senketunnelen i Bjørvika, erfaringsrapport Kontroll med opprissing i betongens herdefase.* s.l. : Teknologirapport nr. 2580, 2010.
3. Hjemmeside Norcem AS. [Internett] [Sisert: 25 02 2014.]  
<http://www.heidelbergcement.com/no/no/norcem/kundesenter/Hett+97/program.htm>.
4. *Måleinstrument til kontrol af betons hærkning.* **Freiesleben Hansen, P. og Pedersen, E.J.** Volum 1, s.l. : Nordisk Betong, 1977, Vol. 1977.

**SINTEF Building and Infrastructure** is the third largest building research institute in Europe. Our objective is to promote environmentally friendly, cost-effective products and solutions within the built environment. SINTEF Building and Infrastructure is Norway's leading provider of research-based knowledge to the construction sector. Through our activity in research and development, we have established a unique platform for disseminating knowledge throughout a large part of the construction industry.

**COIN – Concrete Innovation Center** is a Center for Research based Innovation (CRI) initiated by the Research Council of Norway. The vision of COIN is creation of more attractive concrete buildings and constructions. The primary goal is to fulfill this vision by bringing the development a major leap forward by long-term research in close alliances with the industry regarding advanced materials, efficient construction techniques and new design concepts combined with more environmentally friendly material production.

