

# Datortomografi som undersökningsmetod för ung och gammal, sprutad och gjuten betong för tunnlar



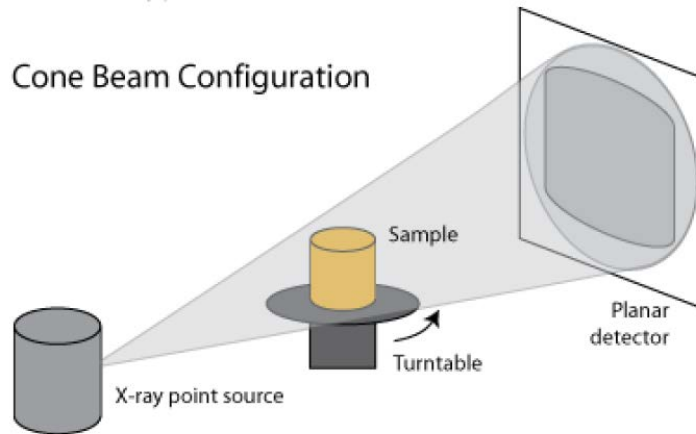
Anders Ansell, KTH  
Lamis Ahmed, KTH  
Alvaro Guarin, KTH

# Bakgrund

- En tomografiapparat av typen NSI X5000 finns nu i laboratoriet vid KTH Byggvetenskap.
- Utrustningen är integrerad med ett datoriserat visualiseringssystem och har även en MTS utrustning för drag- och tryckprovning samt en klimatkammare, som opererar inom temperaturintervallet  $-20^{\circ}\text{C}$  till  $+80^{\circ}\text{C}$ .
- Datortomografiutrustningen är lämplig för att studera och generera tredimensionella genomlysningsbilder av betong, bergmaterial och asfalt.
- En laborativ pilotstudie har genomförts med syfte att kartlägga och beskriva teknikens möjligheter och begränsningar samt arbetsgång och kostnader vid undersökning av betong för tunnlar.

# Datortomografi

Datortomografisystemet (CT system) integrerar en röntgenstrålkälla, ett roterande bord för provkroppar och en bilddetektor. Röntgenstrålningen moduleras i en kollimator till ett konformat strålnippe och för de undersökningar som presenteras här har en spänningsnivå på 225 kV använts för att generera strålningen.



Genomlysning av roterande, cirkulär provkropp



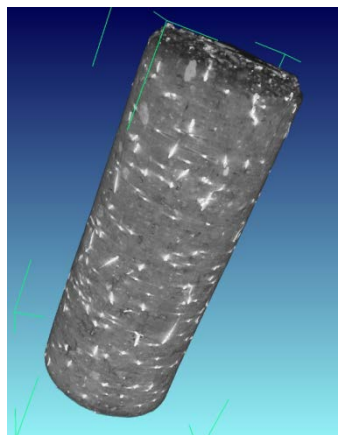
NSI X5000 systemet vid KTH Byggetenskap

# Inläsning av CT bilder

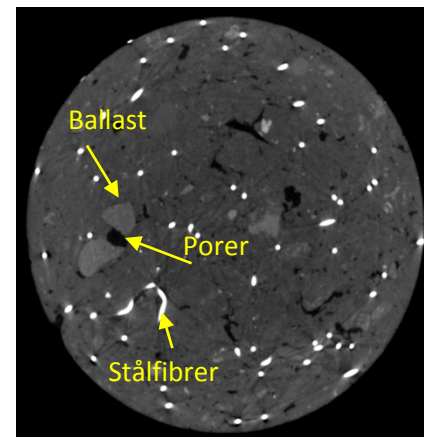
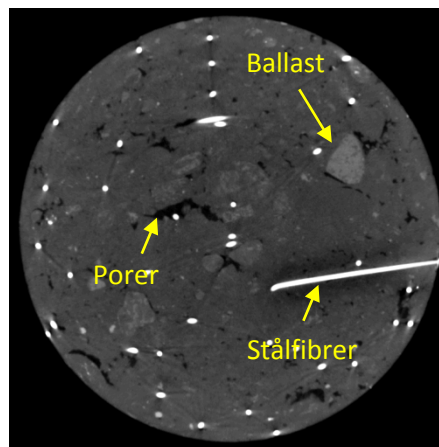
Den digitala tredimensionella bilden består av bildelement (voxels) och provkroppen, till exempel en stående cylinder, kan delas upp i en "stapel" horisontella bilder med motsvarande tjocklek och tvådimensionell upplösning (pixels).



Provkropp, foto



Tredimensionell CT bild

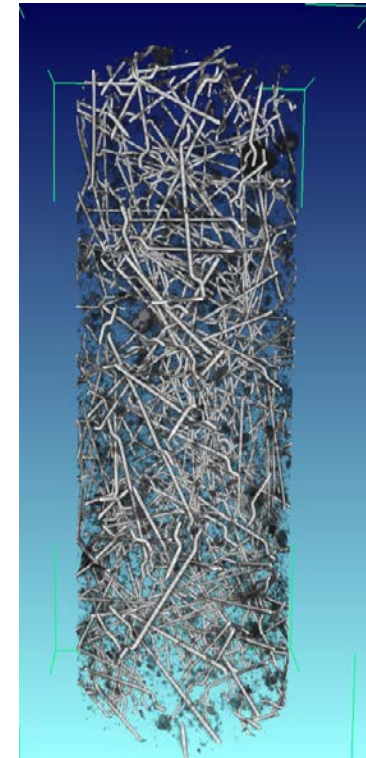
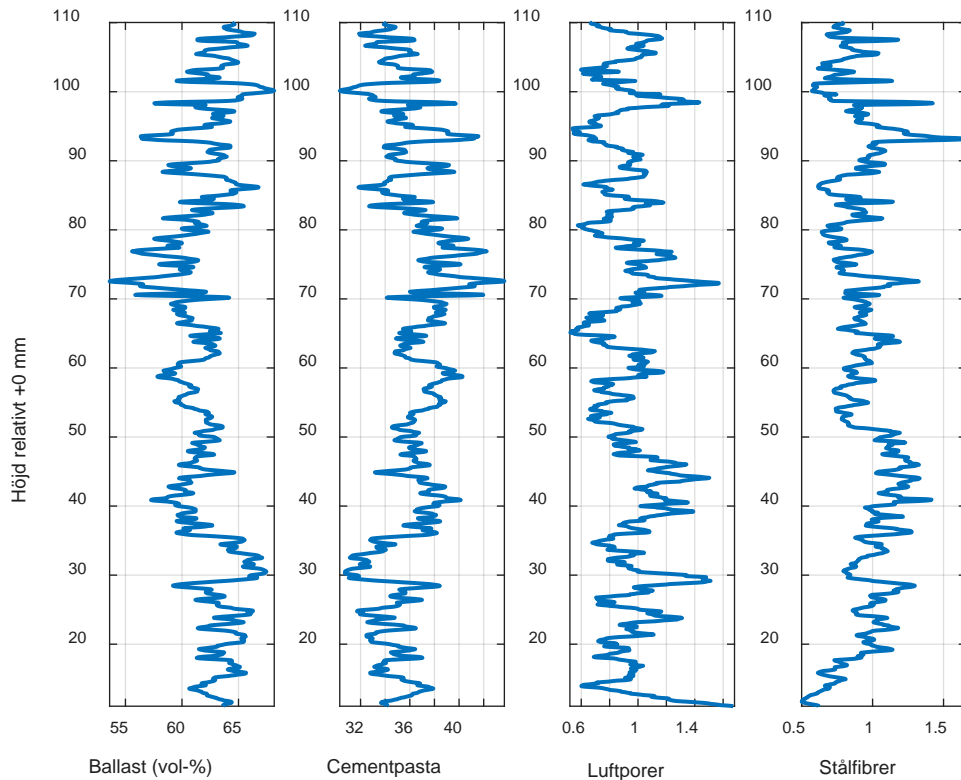


Typiska tvådimensionella CT bilder från betongprov

De fyra huvdbeståndsdelarna i en betongprovkropp; ballast, cementpasta, luftporer och stålfibrer, representeras av en färgskala (eller gråskala). Denna motsvarar materialens respektive täthet, där stålfibrerna är de ljusaste punkterna i tvärsnittet medan de mycket mörka områdena är tomrum, eller luftporer.

# Analys

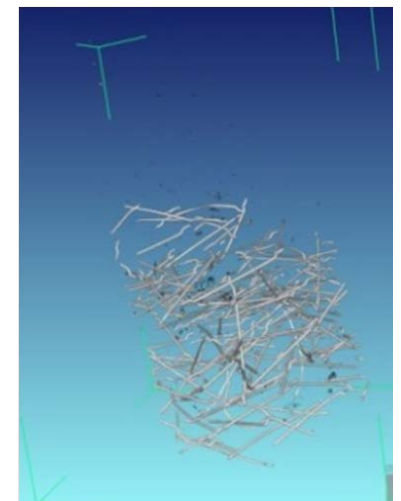
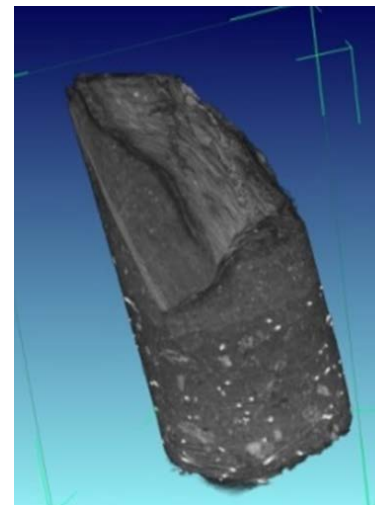
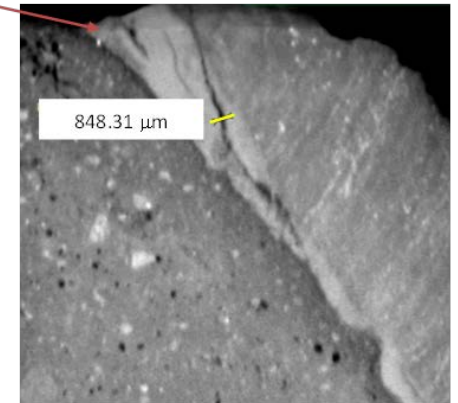
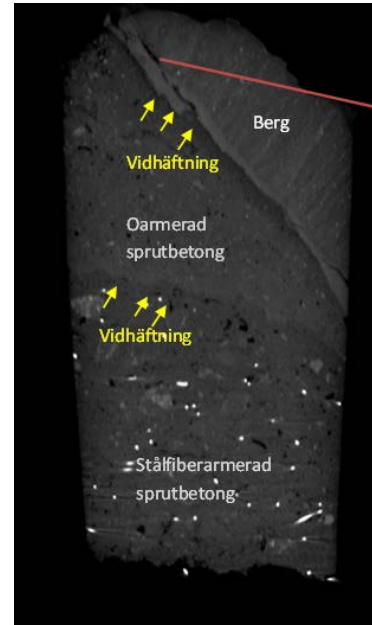
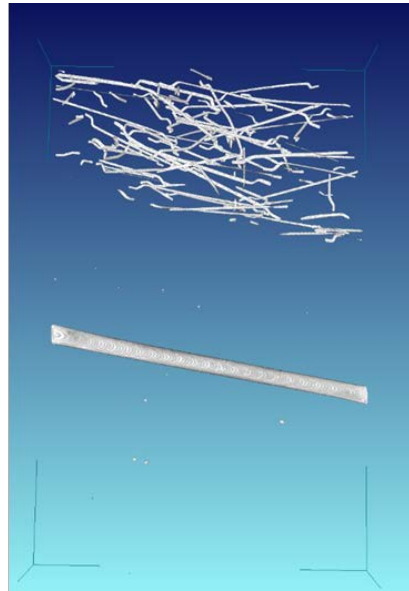
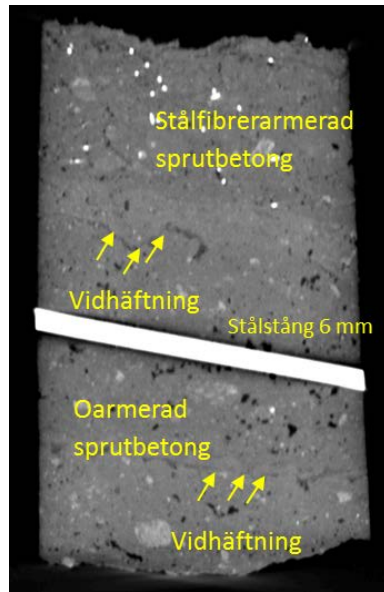
Fördelningarna av stålfibrer, ballast, cementpasta och luftporer över kärnans höjd har beräknats genom numerisk bearbetning av digitalt representerade tvärsektionsbilder.



Stålfibrernas läge och orientering i borrhölan

# Sprutbetongkärna från tunnel

Det är möjligt att använda resultat från analys med datortomografi som komplement till undersökning med till exempel svepelektronmikroskop för att studera mikrostrukturen i övergångszonen mellan berg och sprutbetong.






# Slutsatser

Den laborativa pilotstudie som har genomförts visar hur datortomografi kan användas som undersökningsmetod i laboratorium för provkroppar av betong avsedd att användas i tunnlar.

## Protokoll med kvantitativa analysresultat



**Datortomografiundersökning**  
av betongcylinder

KTH Betongbyggnad  
Anders Ansell, Stockholm 2016-09-03

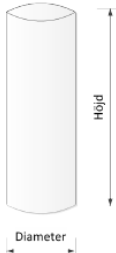
sid 1(2)

**Gjuten betongcylinder - stålfiberbetong**

Uppmätning

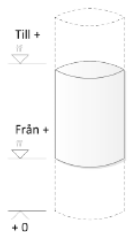
|           |                        |
|-----------|------------------------|
| Diameter  | 100,0 ± 0,1 mm         |
| Höjd      | 220,0 ± 0,1 mm         |
| Vikt      | 3836 g                 |
| Densitet* | 2220 kg/m <sup>3</sup> |

\*Skrymdensitet, baserat på dimensionernas medelvärden




Tomografering

|                             |           |
|-----------------------------|-----------|
| Från höjd                   | +30,0 mm  |
| Till höjd                   | +180,0 mm |
| Vertikal indelning          | 1351 plan |
| Vertikal planhöjd           | 111 µm    |
| Upplösning i horisontalplan | 111 µm    |



Vertikal indelning i plan



Upplösning i horisontalplan

Höjdangivelser anges i relation till betongcylinderns basyta vid +0,0 mm.

Kommentarer:

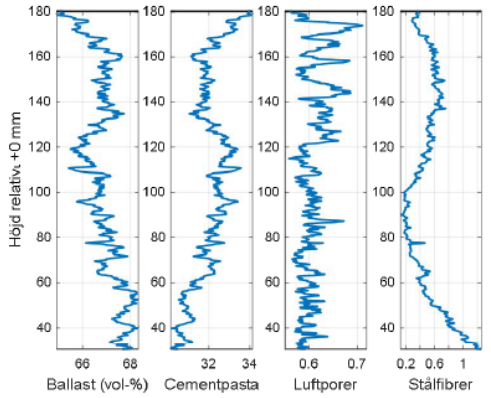
Gjuten provkropp, 495 kg/m<sup>3</sup> cement, 220 kg/m<sup>3</sup> vatten och 1540 kg/m<sup>3</sup> ballast 0-8 mm. Blandningen innehåller stålfibrer D30/05, 50 kg/m<sup>3</sup> (0,64 vol-%) samt 20 kg/m<sup>3</sup> silika och 4 kg/m<sup>3</sup> Glenium. Betongblandningens densitet var 2329 kg/m<sup>3</sup>.

**Datortomografiundersökning** av betongcylinder

**Gjuten betongcylinder - stålfiberbetong**

sid 2(2)

Variation i sammansättning



| Delmaterial  | Min innehåll i höjdsnitt | Max innehåll i höjdsnitt | Medelvärde |
|--------------|--------------------------|--------------------------|------------|
| Ballast      | 64,9 vol-%               | 68,2 vol-%               | 66,9 vol-% |
| Cementpasta* | 29,6 vol-%               | 34,1 vol-%               | 31,9 vol-% |
| Luftporer    | 0,56 vol-%               | 0,71 vol-%               | 0,61 vol-% |
| Stålfibrer   | 0,13 vol-%               | 1,34 vol-%               | 0,53 vol-% |

\* Avser cementpasta, dvs cement och finpartikelballast.

# Slutsatser



## Datortomografiundersökning av betongcylinder

KTH Betongbyggnad  
Anders Ansell, Stockholm 2016-09-03

sid 1(2)

### Gjuten betongcylinder - stålfiberbetong

#### Visuell beskrivning

- Intakt betongcylinder. Gjuten i laboratorium – ej utsatt för förstörande provning.
- Mantelytan är plan och slät – provkroppen har gjutits i stålform.
- Överytans perimeter är relativt horisontell, överytan konkav och relativt gropig – se Figur 3.
- Relativt stora porer i betongytan. Även djupa, men mindre porer.
- Synliga stålfibrer. Flertalet ligger ytligt och parallellt med ytterytan – se Figur 1 och 4.
- Märkbart högre koncentration av stålfibrer mot bottenytan – se Figur 1 och 4.

#### Ballast

- Den observerbara ballastens storlek är här inom 0,1–10,0 mm.
- Provkroppen visar tecken på ballastseparation – jämför Figur 5 och 6.
- Andelen stora ballastkorn/stenar är större mot botten.
- Flertalet ballastkorn/stenar har avlång form och en längd som överskrider 8 mm – se Figur 6.

#### Luftpörer

- De största inre porerna är ca 2 mm. De minsta observerbara ca 0,1 mm.
- Fördelningen över respektive tvärsnitt är relativt jämn – se Figur 5 och 6.
- I provkroppens övre halva finns fler men mindre porer – jämför Figur 5 och 6.
- De största luftporerna finns i anslutning till mantelytan.

#### Stålfibrer

- Koncentrationen av stålfibrer är högre mot provkroppens botten – se Figur 2,5 och 6.
- Fiberfördelningen är ojämn, både till läge och orientering – se Figur 2.
- Vid botten är fibernas orientering mer horisontell än högre upp i provet.
- En kraftig koncentration av horisontellt orienterade fibrer finns vid botten - se Figur 6.

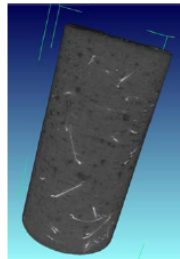
#### Slutsats/bedömning

Betongcylindern visar tecken på ballastseparation och ojämn fiberfördelning. Sammantaget med förekomsten av stora ojämna porer längs formytan (mantelytan) ger detta slutsatsen att betongen har blandats dåligt och/eller vibrerats bristfälligt.

## Datortomografiundersökning av betongcylinder

sid 2(2)

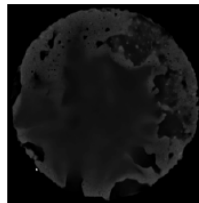
### Gjuten betongcylinder - stålfiberbetong



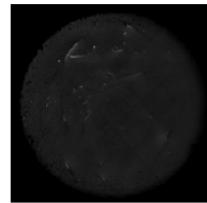
Figur 1: Översiktsbild – yttre struktur.



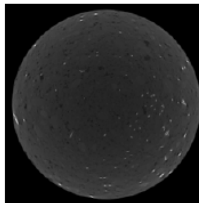
Figur 2: Genomlysningssbild - stålfiberamering.



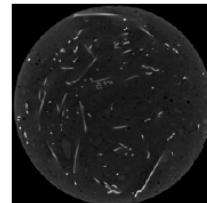
Figur 3: Horisontalsnitt vid +220,0 mm.



Figur 4: Horisontalsnitt vid +0,0 mm.



Figur 5: Horisontalsnitt vid +120,0 mm.



Figur 6: Horisontalsnitt vid +10,0 mm.

## Protokoll med kvalitativ beskrivning

En etablering och vidareutveckling av tekniken som provningsmetod är beroende av att underlag för jämförelser finns. Det rekommenderas därför att ett **kostnadseffektivt** förfarande tas fram. Detta ska resultera i standardiserad översiktsdata, till exempel så som här exemplifieras med de två provningsprotokollen.