

# Flerskalig metodik för att undersöka betongs mekaniska respons

Forskare på CBI och SP's enhet för Bygg och Mekanik har utvecklat ett arbetsätt för att baserat på en kombination av flera metoder studera betongs mekaniska respons. Det omfattar mekanisk provning, mikroskopisk och numerisk analys för detaljerade undersökningar av sambandet mellan materialegenskaper och mekaniska egenskaper (figur 1). Här tillämpas arbetsättet i en laboratorieundersökning av tvärkraftsbrott på armerade betongbalkar. Fyra betongrecept användes med vct 0,38 respektive 0,9 samt väl rundat naturmaterial respektive flisigt bergkross i ballastens finandel. Ett stort antal balkar provades, här visas två balkar.

Genom att kombinera metoder för dokumentation av deformationsförloppet vid den mekaniska provningen med mikroskopi för detaljstudier i efterhand är det möjligt att stegvis följa förloppet och identifiera kritiska materialparametrar.

## Optisk deformationsmätning

Vid provningen tas digitala bilder av den belastade balken. I bilderna kan ytans betongmönster delas in i en stor mängd små element som vart och ett får ett unikt "fingeravtryck" i form av ett gråskalemönster. Positionen för varje sådant element kan sedan följas från bild till bild. Tekniken ger möjlighet till en beskrivning av deformationer och töjningar på provets yta. I efterhand kan "virtuella givare" placeras ut för lokala mätningar. Man har möjlighet att följa sprickutvecklingen för samtliga sprickor inom ett område innan de är synliga för ögat, samt i efterhand mäta sprickbreddsutveckling över respektive spricka med hög noggrannhet.

## Akustisk emission

Akustisk emission (AE) är "ljudvågor" i material. Dessa elastiska vågor uppstår vid dislokationer t ex vid plötslig spricktillväxt. AE från dislokationer, exempelvis mindre sprick-

tillväxt, kan ge mycket små amplituder och är alltid högfrekventa. Därför mäts AE med givare som är mycket känsliga i ultraljudsområdet.

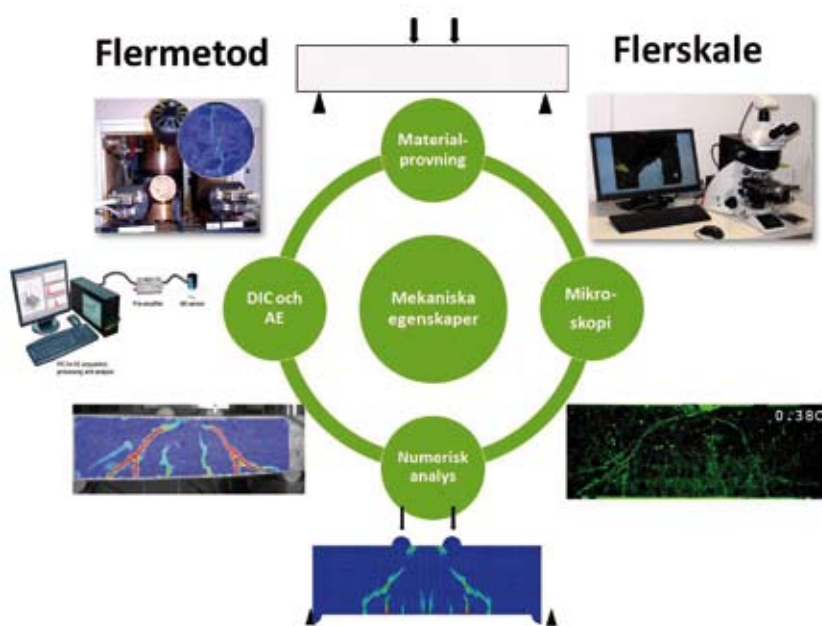
## Mikroskopi

Från proverna diamantsågas skivor vilka vakuumimpregneras med fluorescerande epoxilim och planslipas. Det ger ett snitt genom hela längden av provkroppen med fluorescerande epoxi i porer och sprickor. Från dessa skivor kan nyckelområden väljas ut för mikroskopisk analys med hjälp av tunnslipsteknik.

När provskivan belyses med UV-ljus avges fluorescensljus som visar en bild av sprickor och porer. Sprickorna kan grupperas efter geometri i förhållande till belastnings- och provgeometri, spricklängd, sprickbredd och liknande. Detta kan sedan jämföras med optisk töjningsmätning och akustisk emission, tillsammans kan mätningarna visa när i belastningsförloppet olika sprickor har bildats. Det är möjligt att se hur sprickor förhåller sig till porer, om de går runt eller genom ballastpartiklar och om sprickorna går i de svaga zonerna i kontakten till ballastpartiklar. Därmed går det att följa sprickutvecklingen vid olika steg i belastningsförloppet från en skala som motsvarar hela provkroppen ned till mikroskala.

## Resultat

I figur 2 visar lastkurvan (L) i diagrammet, hur lasten läggs på till 150 kN för att sedan hållas konstant. Därefter sänks lasten till 100 kN och hålls konstant tills lasten slutligen ökas till brott. Den röda kurvan (AE) visar AE-aktivitet. Under diagrammet visar bilderna den optiska deformationsmätningen vid den last



Figur 1. Illustrerar arbetsättet där flera metoder och flera skalor tillämpas



som indikeras av den vertikala linjen i diagrammet. I balken med krossberg har endast vertikala böjsprickor utvecklats. I balken med naturballast har böjsprickor utvecklats till diagonala skjuvsprickor och nya skjuvsprickor har utvecklats. Notera även att AE-aktiviteten är högre i balken med naturballast upp till denna last vilket visar att sprickaktiviteten varit större i detta prov. Med högre last ger armeringen efter. Det slutliga brottet är ett krossbrott som syns i överkant på fluorescensbilden.

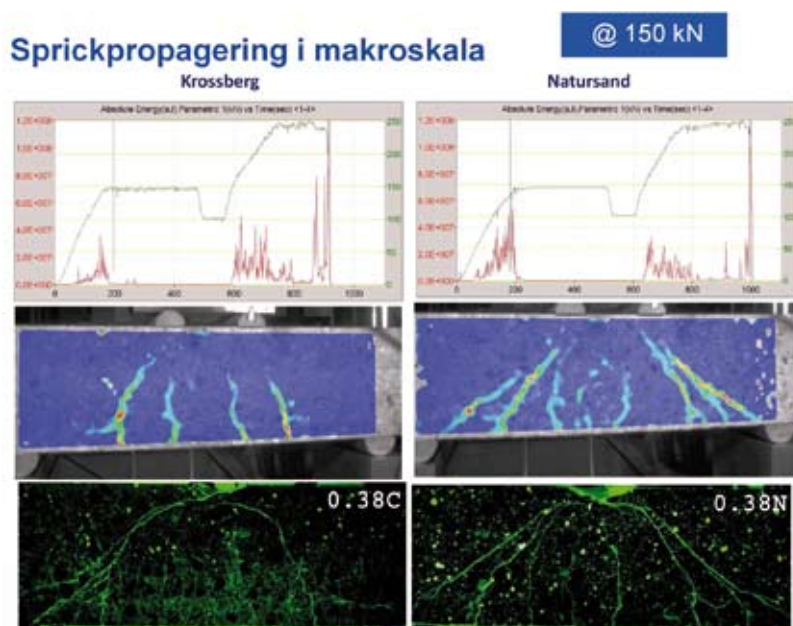
Genom mikroskopisk analys är det möjligt att se hur ballastens form inverkar på sprickinitiering och -propagering. I figur 3 visar diagrammet den rundade naturballastens höga formfaktor kontra krossballastens låga formfaktor. Mikroskopibilderna visar hur de flisiga finpartiklarna i krossballasten fungerar närmast som fiberarmering i skjuvning och styr sprickpropageringen så att sprickplanen blir mer oregelbundna jämfört med i balkar med naturballast. I den understa bilden i figuren visas resultat från den numeriska analysen vid samma lastsituation.

### Tillämpning

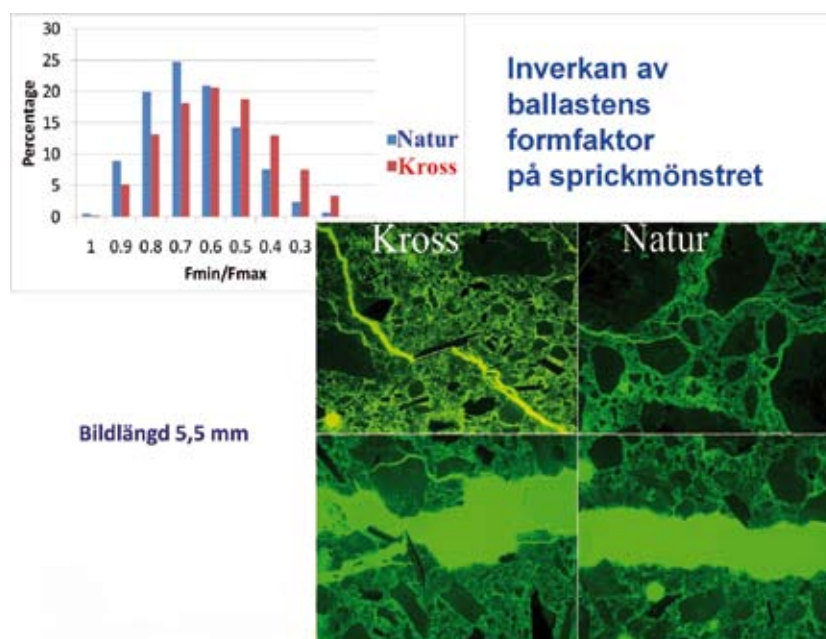
Denna metodkombination är användbar i laboriebaserad forskning som detta fall men är även mycket användbar i praktisk tillämpning. Exempelvis där betongen är skadad så att de mekaniska egenskaperna varierar från ytan och inåt. Det kan vara orsakat av brand eller extern sulfatattack. Då är det möjligt att undersöka skadan på betongen och de mekaniska egenskapernas variation exempelvis från ytan och in till huvudarmeringen. Detta kan kombineras med numerisk modellering som beskriver betongens mekaniska

respons. Modellen kan verifieras mot övriga resultat som i figur 2. I den numeriska modellen är det sedan möjligt att undersöka hur ytterligare nedbrytning eller andra förändringar

påverkar de mekaniska egenskaperna och metodiken möjliggör därmed en säkrare livslängdsbedömning för en konstruktion jämfört med vad en konventionell provning erbjuder.



Figur 2. Visar situationen för last och sprickutveckling vid 150 kN last.



Figur 3. Fluorescensmikroskopibilder som visar hur ballastens form inverkar och ger råare sprickplan i betong med krossballast.