

Mätning av rörelser och sprickor i sprutbetong med fotogrammetri

Tekniken Digital Image Correlation (DIC) bygger på att rörelser av ett objekt kan mätas genom att jämföra en serie av bilder. Tekniken är väl etablerad under förutsättning att kameran är fast monterad under hela mätserien. I projektet genomfördes mätningar av sprutbetongens rörelse i laboratorium och i fält med både en fast monterad och en rörlig kamera. Resultat visar att det finns god potential att använda en rörlig kamera för att mäta deformationer och propagering av sprickor i sprutbetong. En rörlig kamera ökar flexibiliteten hos metoden och medför att fotogrammetri skulle kunna användas för att mäta rörelser under pågående produktion.

Bakgrund

Den vanligaste förstärkningen i bergtunnlar består av en samverkanskonstruktion mellan berg, fiberarmerad sprutbetong och bergbultar. Materialen samverkar genom sprutbetongens vidhäftning mot berget och av bergbultar försedda med brickor som gjuts samman med sprutbetongen. Dimensionering av en bergförstärkning är ett komplext ingenjörspå problem. Detta beror bland annat på att berg är ett naturligt material vars mekaniska egenskaper varierar vilket gör att fördelningen av spänningarna i förstärkningen är svår att förutse. Vidare är det svårt att bedöma hur mycket berget kommer att deformeras i samband med att tunneln drivs, vilket gör det svårt att förutse lasterna som verkar på förstärkningen. Det är därför vanligt att dimensionera en bergförstärkning baserat på empiriska metoder.

Syfte

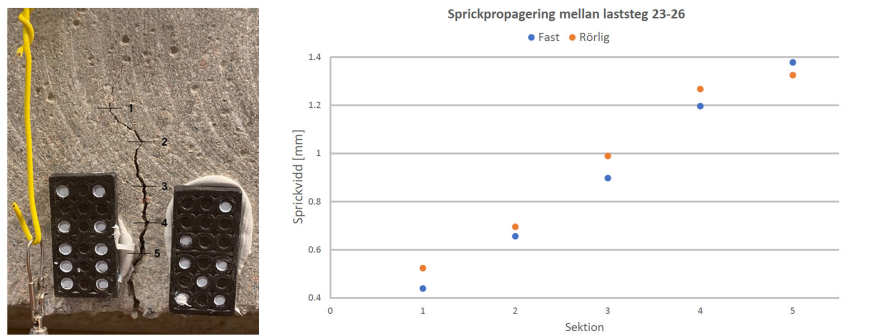
Syftet med projektet var att utvärdera en lämplig metod för att genomföra mätningar på sprutbetong i tunnelmiljö. Resultat från mätningar behövs för att bättre förstå vilka deformationer som uppstår i sprutbetongen och hur sprickbildningen ser ut. Detta kan sedan användas för att bättre kunna optimera förstärkningen av berget. Metoden ska, om möjligt, vara enkel att använda och minimera störningen i produktionen och driften av tunneln. Utvärderingen har delats in i följande skalor och syften:



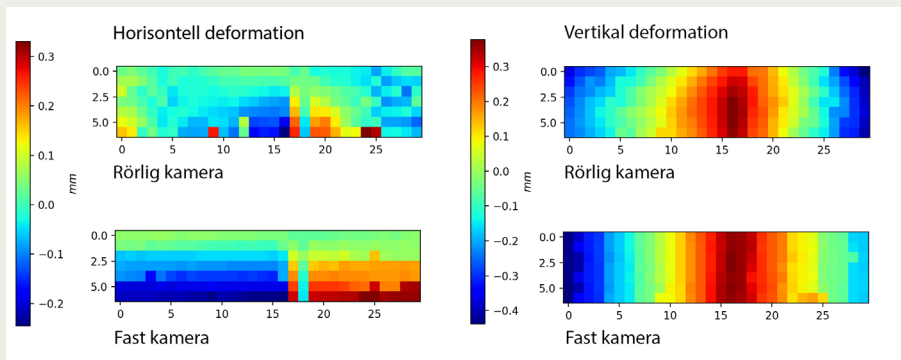
- *Mätningar av rörelser i sprutbetong* – Syftet är att mäta rörelserna i sprutbetongen under tidiga skeden för att avgöra om risk för uppsprickning finns. Mätningar ska starta tätt efter sprutning och sedan följas upp med flera mätningar under första tiden.
- *Övervakning av sprickor och skador* – Syftet är att övervaka sprickor och skadade områden för att se om dessa propagerar. När en spricka upptäcks markeras den med brickor och sprickans propagering mäts därefter genom att mäta brickornas rörelser.

Genomförande

Projektet har finansierats av SBUF och genomförts av Avdelningen för Betongbyggnad vid KTH med Skanska AB som medskapande. I projektet har även Avdelningen för Geoinformatik vid KTH och Avdelningen för Geodesi och Geoinformatik vid universitetet La Sapienza i Rom bistått med expertis gällande mätningar med fotogrammetri. Under projektet har tester genomförts i Vattenfalls laboratorium i Älvkarleby och i laboratoriet på KTH. Syftet med dessa försök var att utvärdera vilken noggrannhet som kan uppnås utan att använda fasta referenspunkter, vilket betyder deformationerna mäts genom att följa rörelsen i betongens yta.



Figur 1. Vänster figur visar bild av spricka tagen med Iphone XS och numrering av sektioner. Höger figur visar sprickans propagering mellan laststeg 23 till 26 beräknad med rörlig och fast kamera.



Figur 2. Jämförelse mellan mätningar av horisontella och vertikala deformationer vid en given belastning med en rörlig och fast kamera.

Vidare jämfördes resultaten mellan en fast och en rörlig kamera. Med stöd av Trafikverket kunde en åtta veckor lång mätning genomföras i Förbifart Stockholm där en rörlig kamera användes för att följa rörelserna i sprutbetongen.

Resultat

För att kontrollera den noggrannhet som en rörlig kamera kan mäta betongens deformation och spricktillväxt genomfördes ett belastningsförsök i laboratoriet på KTH. På balkens ena sida användes en fast monterad systemkamera och en mobiltelefonkamera. På den motsatta sidan användes en rörlig systemkamera och en horisontellt placerad lägesgivare (LVDT). Under testet belastades balken i steg om cirka 1 kN och efter varje steg togs bilder för att genomföra mätningar. I *Tabell 1* visas en jämförelse av uppmätta sprickvidd mellan en fast och rörlig kamera samt en LVDT.

Laststeg	Deformation [mm]		
	Fast kamera Sektion 5	Rörlig kamera Sektion 5	LVDT
20 - 23	0,728	0,642	0,656
23 - 26	1,378	1,325	1,386
23 - 28	1,919	1,927	1,900

Tabell 1 Jämförelse av sprickvidd mellan fast och rörlig kamera samt LVDT för tre olika laststeg.

Till vänster i *Figur 1* visas en bild av spricka och markörerna tagen med en Iphone XS. I bilden visas även numrering av sektioner där sprickans bredd mättes. Till höger i *Figur 1* visas sprickans propagering mellan laststeg 23 till 26 beräknad med en rörlig kamera (Iphone) och en fast kamera (Canon 5D Mark 2). Den största och minsta skillnaden mellan rörlig och fast kamera var här 0,08 mm (Sektion 1) respektive 0,04 mm (Sektion 2). I *Figur 2* visas en jämförelse mellan uppmätta deformationer med en rörlig och en fast kamera. Här kan man se att en rörlig kamera

medför vissa mätfel men att resultaten överlag har god överensstämmelse. Resultaten visar att bra noggrannhet kan erhållas med en rörlig kamera och jämförelsen mellan fotogrammetri och LVDT visar att metoden med hög noggrannhet kan mäta sprickans propagering.

Slutsatser

En metod för att på ett enkelt och snabbt sätt övervaka propagering av sprickor i sprutbetong i fält testades och utvärderas i laboratorium med goda resultat. Markörer placerades på sprickans båda sidor och dess propagering kunde sedan mätas med god noggrannhet med en systemkamera och en mobiltelefons kamera. Denna teknik kan i fält användas för att kontrollera om vidden på sprickor ökar med tiden genom att fotografera spricka vid olika tidpunkter. Markörerna används som referens för mätning av sprickans vidd och för att beräkna kamerans position vid efterföljande bilder. Kameran behöver därför inte placeras på exakt samma ställe vid varje tillfälle vilket gör att insamlingen av data i fält kan göras snabbt. Förutom att kunna användas under byggtiden har tekniken goda möjligheter att kunna effektivisera och delvis automatisera sprickmätningen vid inspektionen av befintliga tunnlar. För detta krävs dock vidare forskning.

Ytterligare information

Kontaktpersoner:

Andreas Sjölander, KTH Avdelningen för Betongbyggnad, tel 08-790 80 43, e-post: asjola@kth.se.

Litteratur:

- Utvärdering av fältmetod för mätningar på sprutbetong (SBUF, 13332, Andreas Sjölander 42 sidor) kan laddas ner ifrån www.sbuf.se – Projekt 13332