

# Effektiv användning av bergförstärkning vid tunnelbyggande genom förbättrade analysmetoder för samverkan mellan berg och sprutbetong

## Författare:

Andreas Sjölander, KTH

## Handledare:

Anders Ansell, KTH

Richard Malm, KTH

Fredrik Johansson, KTH

## Referensgrupp:

Tommy Elisson, Besab

Henrik Ittner, SKB (nu Theta Engineering)

Mattias Roslin, Theta Engineering

Rikard Gothäll, Tyréns

Hans-Åke Mattson, Afry

Lars Malmgren, LKAB

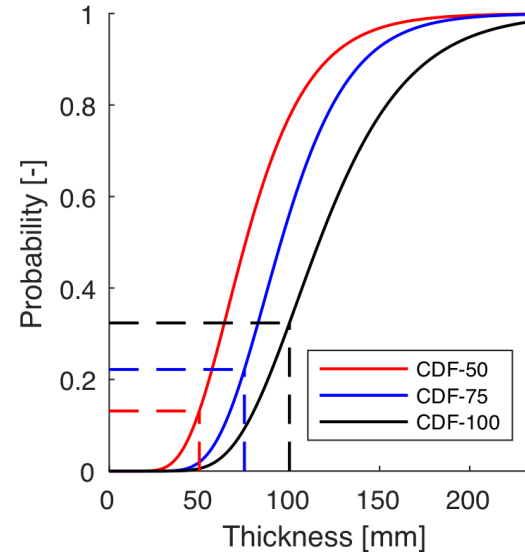
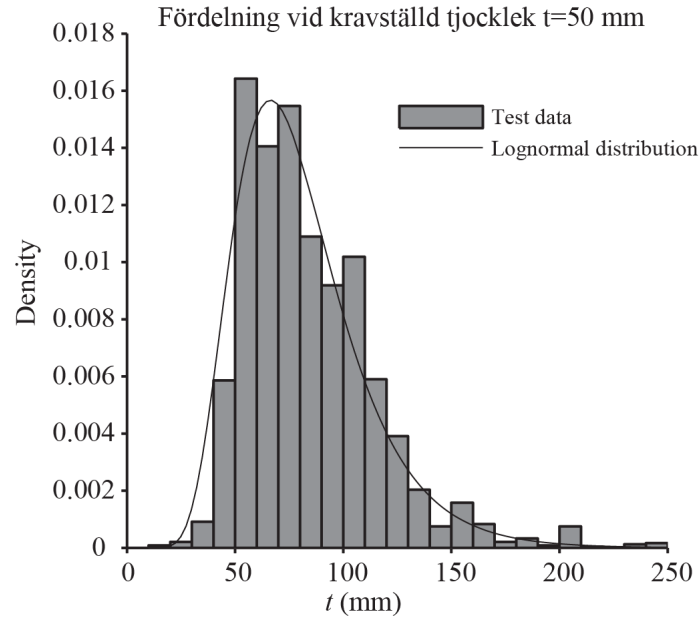
Per Tengborg, BeFo

# Bakgrund

Sedan början av 1980-talet har stålfiberarmerad sprutbetong i kombination med bergbultar varit den dominerande bergförstärkningen för tunnlar i hårt berg. Den här typen av förstärkningar är en komplex samverkanskonstruktion vars strukturella beteende styrs av interaktionen mellan sprutbetong, berg och bult. Dimensioneringen baseras vanligtvis på ett klassificeringssystem för bergmassan i kombination med analytiska lösningar eller modeller baserade på finita elementmetoden. I dessa fall bortser man oftast från de i fält förekommande variationerna hos sprutbetongens viktiga egenskaper som t.ex tjocklek och vidhäftningshållfasthet.

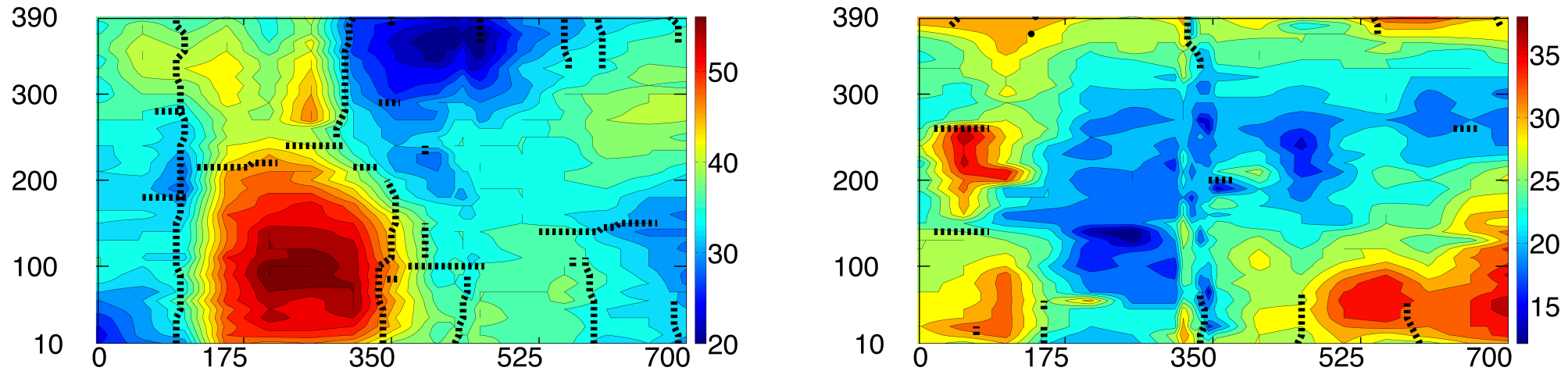
Syftet med det här forskningsprojektet är att förklara och beskriva hur variationerna i sprutbetongens tjocklek och vidhäftning påverkar det strukturella beteendet och bärförmågan hos bergförstärkningen. Framförallt har lokala variationer i sprutbetongens tjocklek och vidhäftning studerats. För att genomföra detta har ett numeriskt ramverk utvecklats som kan simulera uppsprickning av fiberarmerad sprutbetong, vidhäftningsbrott och utdrag av ingjutna bergbultar. Dessutom har fältdata samlats in och analyserats för att karaktärisera fördelningen av viktiga sprutbetongegenskaper.

# Variationer i sprutbetongens egenskaper



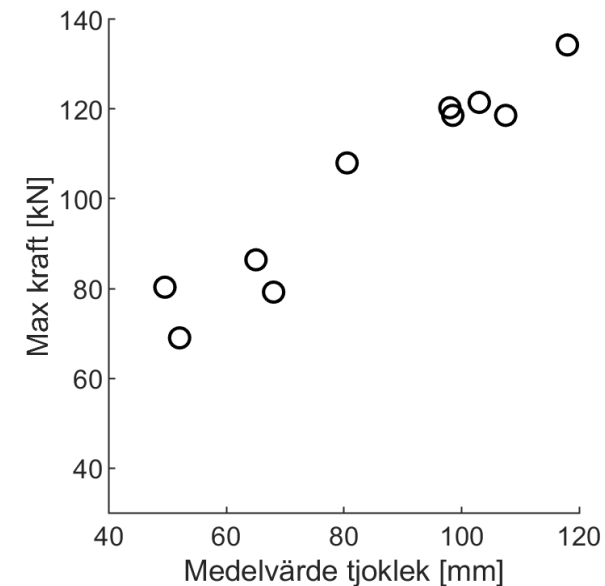
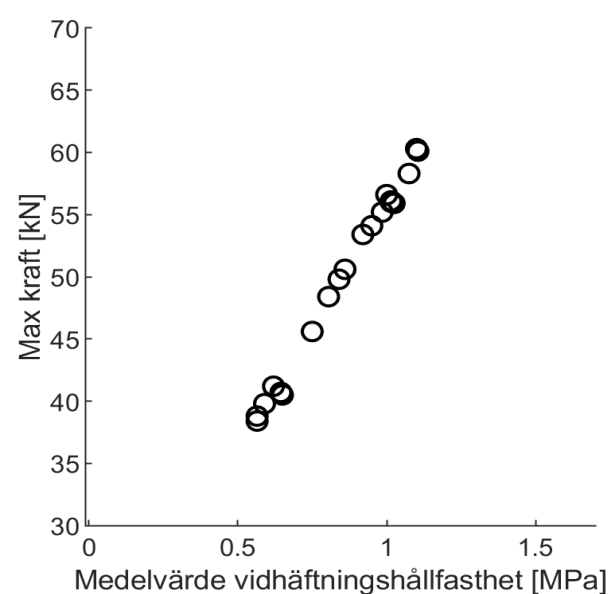
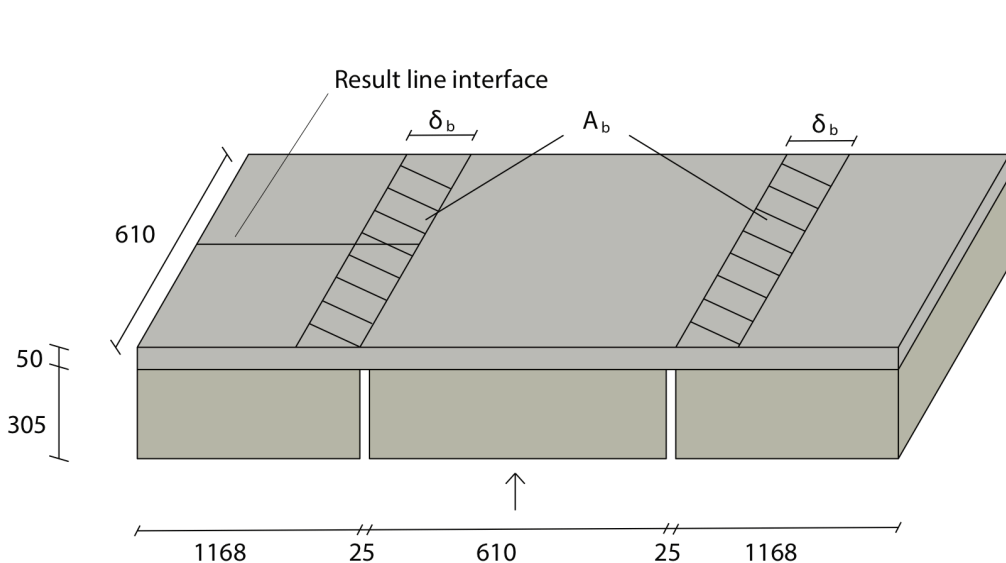
Baserat på mätningar av sprutbetongens tjocklek från mer än 6000 borrhål kan man konstatera att en log-normal fördelning kan beskriva variationerna i sprutbetongens tjocklek. Mätningarna visar att det finns en tendens att använda för mycket sprutbetong. Ännu viktigare är dock att det existerar många lokala sektioner där den kravställda tjockleken inte uppnås. Detta visas till höger av den kumulativa fördelningen där sannolikheten för att en viss tjocklek är uppnådd visas för en kravställda tjocklek om 50, 75 respektive 100 mm. Därför är det viktigt att förstå hur dessa lokala avvikelser påverkar sprutbetongens bärförmåga.

# Uppsprickning av sprutbetong utsatt för krympning



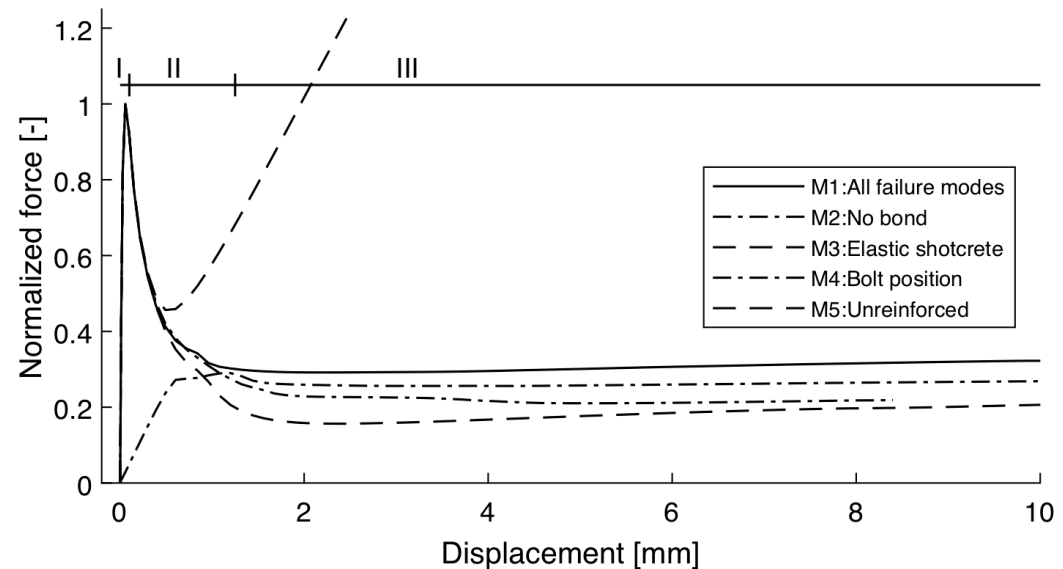
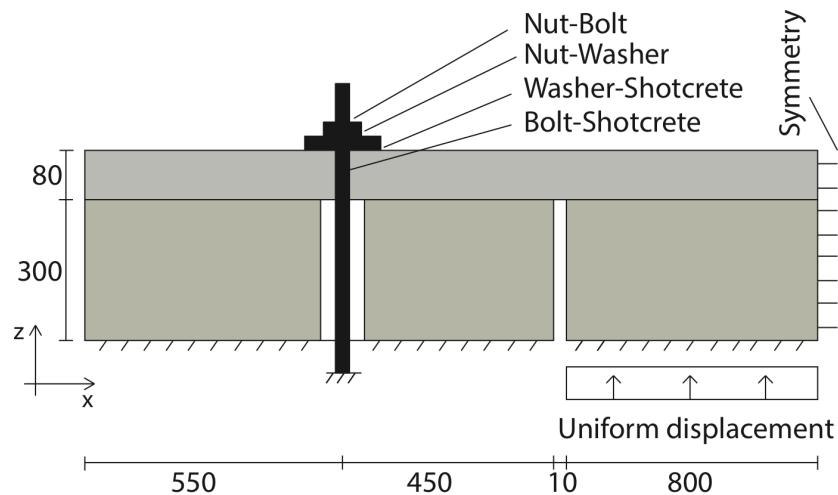
Numeriska simuleringar av sprutbetong utsatt för krympning har genomförts. Sprutbetongen hade kontinuerlig vidhäftning mot berget och figuren ovan visar en konturplott över sprutbetongens varierade tjocklek [mm] tillsammans med markering för sprickor. Detta visar att en kontinuerlig vidhäftning mot berget är viktig för sprutbetongens strukturella beteende då krympning leder till att ett flertal tunna sprickor bildas. I fall med mindre ytor utan vidhäftning lokaliserade istället få och vida sprickor då sprutbetongen utsattes för krympning.

# Lokala variationer i sprutbetongens tjocklek och vidhäftning



I figuren ovan visas till vänster en försöksuppställning som användes för numeriska simuleringar av sprutbetongens bärförmåga med avseende på blocklast. Det centrala blocket pressades igenom förstärkningen och relationen mellan kraft och sprutbetongens tjocklek och vidhäftningen inom det område markerat med  $A_b$  studerades separat. Simuleringarna visar att det finns ett starkt linjärt samband mellan bärförmåga och medelvärdet av sprutbetongens tjocklek eller vidhäftningshållfasthet inom ett begränsat område ( $A_b$ ) kring det lösa blocket. Vidare visar denna undersökning att lokala zoner med låg hållfasthet eller tjocklek har en relativt liten inverkan på sprutbetongens bärförmåga. Hur stora dessa zoner kan vara är dock en fråga som kvarstår och bör studeras vidare.

# Brottmekanismer för bultade förstärkningar



I figuren till vänster visas den försökupställning som användes för att studera hur brottmekanismerna hos en bultförankrad och fiberarmerad sprutbetongförstärkning påverkar bärförmågan vid blocklast. Figuren till höger visar normaliserade resultat när alla brottmoder beaktas (M1), utan vidhäftningsbrott (M2), utan uppsprickning av sprutbetong (M3), förändrat läge för bergbult (M4) och oarmerad sprutbetong (M5). Detta visar att förstärkningens initiella brott styrs av vidhäftningens bärförmåga och att residualbärförmågan beror på sprutbetongens duktilitet. Dessa brottmoder ska därmed beaktas separat vid dimensionering och en dimensionering baserad på sprutbetongens duktilitet är på säker sida.

# Sammanfattning och fortsatt forskning

- Fältdata visar att variationen i sprutbetongens tjocklek och vidhäftningsbärförmåga kan ha stora variationer relativt till de krav som finns ställda. Lokala zoner med låg tjocklek och vidhäftning existerar. Hur dessa lokala och potentiella svaghetszoner är fördelade bör studeras vidare.
- Numeriska simuleringar har visat att medelvärdet av sprutbetongens tjocklek och vidhäftningshållfasthet runt periferin av ett löst block är avgörande för dess bärförmåga. Fördelningen och storleken på zoner med låg tjocklek eller vidhäftning runt blockets periferi har dock inte studerats i detalj vilket bör göras i framtida projekt.
- Numeriska simuleringar har verifierat att brottmekanismerna för en bultförankrad förstärkning ska behandlas separat vid en dimensionering och att denna, på säker sida, bör baseras på sprutbetongens residualhållfasthet. Denna modell har ej beaktat de horisontella in-situ spänningar som existerar i berget och dess påverkan på brottmoderna bör studeras i framtida projekt.