

# Program Bergmekanikdagen 17 mars 2020

## FÖRMIDDAG

|               |   |
|---------------|---|
| 08:30 – 09:00 | <b>Registrering</b><br><i>Ankomstregistrering och kaffe med smörgås</i>   |
| 09:00 – 09:15 | <b>Öppningsanförande</b><br>Per Tengborg, BeFo  |
| 09:15 – 10:00 | <b>Gästföreläsning:</b><br><b>Advances in bonded block modeling</b><br>Gabriel Walton, Colorado School of Mines   |
| 10:00 – 12:00 | <b>SESSION 1 – DESIGN OCH ANALYS</b><br><i>Moderator: Anton Bergman, Boliden</i><br><br><b>Geobim för effektiv kommunikation av georelaterade data och 3D-modeller i tunnelprojektering</b><br>Mats Svensson, Tyréns  |
| 10:25 – 11:00 | <b>Paus</b><br><i>Kaffe serveras i utställningen</i>  |
| 11:00 – 12:00 | <b>SESSION 1 forts.</b><br><b>Bergmekaniska analyser för Bolidens djupförvar vid smältverket Rönnskär</b><br>Jonny Sjöberg, Itasca<br><br><b>Uppblockning, markdeformationer och inverkan av strukturer vid skivrasbrytning</b><br>Mikael Svartsjaern, Itasca<br><br><b>Observationsmetoden i ett sannolikhetsbaserat ramverk – utmaningar och möjligheter</b><br>Johan Spross, KTH |
| 12:00 – 13:00 | <b>Lunch</b><br><i>Lunchbuffé serveras i utställningen</i>  |

## EFTERMIDDAG

13:00 – 13:35

### **SESSION 2 – BeFo Medley**

*Moderator: Jessica Öhr-Hellman, WSP*

Korta presentationer av sju forskningsprojekt inom BeFo

13:35 – 13:45

### **Presentation av vinnande examensarbete**

*Vinnaren tar emot sitt pris och presenterar examensarbetet*

13:45 – 15:45

### **SESSION 3 – INJEKTERING OCH TÄTNING**

*Moderator: Mikael Creutz, Golder*

#### **Utvärdering av beräkningsmetod för sprickinjekteringsdesign**

Johan Thörn, Bergab/Chalmers

#### **Dispersion av mikrocementbaserat bruk med ultraljud och med konventionella laboratorieblandare**

Almir Draganovic, KTH

14:30 – 15:00

### **Paus**

*Kaffe serveras i utställningen*

15:00 – 15:45

### **SESSION 3 forts**

#### **Västlänkens injektering, fukt, dropp eller flöde: hur det har gått hittills**

Lisa Hernqvist, Sweco; Magnus Zetterlund, Norconsult

#### **Läckande bergbulthål, utredning av orsak och framtagande av åtgärder för att minimera dess förekomst**

Hossein Khodaverdian, Abeis

15:45 – 16:30

### **SESSION 4 – STABILITET OCH FÖRSTÄRKNING**

*Moderator: Alexandra Krounis, AFRY*

#### **Hydraulisk utmattning för bergspräckning**

Jeoung Seok Yoon, DynaFrax UG, Spin-off Co. of GFZ

#### **Raiseboring i svåra bergförhållanden – praktikfall från Renströmsgruvan**

Daniel Sandström, Boliden

|               |  |
|---------------|--|
| 16:30 – 16:45 | <b>Paus</b><br><i>Kort bensträckare</i>  |
| 16:45 – 17:25 | <b>SESSION 4 forts.</b><br><br><b>Raiseboring i svåra bergförhållanden – litteratur- och praktikfallstudie</b><br>Catrin Edelbro, Itasca<br><br><b>Dimensionering av sprutbetongförstärkning för lösa block med sannolikhetsbaserade metoder</b><br>William Bjureland, KTH |
| 17:25         | <b>Val av dagens bästa föredrag</b><br><i>Vinnaren presenteras</i>   |
| 17:30         | <b>Avslutning</b><br>Per Tengborg, BeFo  |
| <b>KVÄLL</b>  |  |
| 17:35 – 20:00 | <b>Mingelbuffé</b><br><i>Buffé dukas upp i utställningen</i>   |
| 17:35 – 18:15 | <b>Årsmöte – Svenska Bergmekanikgruppen</b><br><i>Medlemmar och intresserade välkomnas delta</i>   |

#### ARRANGÖRER



**SVENSKA BERGTEKNIKFÖRENINGEN**  
*Swedish Rock Engineering Association*



*Bergteknikdagen 65 år*



**ISRM**

Svenska  
Bergmekanikgruppen

#### PARTERFÖRETAG



**Sigicom**

### SESSION 1: DESIGN OCH ANALYS – Moderator Anton Bergman, Boliden

#### **GEOBIM FÖR EFFEKTIV KOMMUNIKATION AV GEORELATERADE DATA OCH 3D-MODELLER I TUNNELPROJEKTERING**

#### **GEOBIM FOR EFFICIENT COMMUNICATION OF GEO RELATED DATA AND 3D MODELS IN TUNNELLING**

*M. Svensson, Tyréns AB*

*O. Friberg, Tyréns AB*

I samband med projektering och byggnation av tunnlar finns det ett kontinuerligt behov av en uppdaterad geomodell, omfattande egenskaper och geometri avseende geoteknik, berg, grundvatten och föroreningar. Dessa geomodeller visualiseras oftast i disciplinspecifika programvaror och sällan i ett och samma verktyg. Få av dessa programvaror är fullt kompatibla med de CAD-verktyg som i princip alltid används för den slutliga projekteringen. För att få en ökad trygghet, bättre kvalitet och en effektivisering av projekteringsprocessen föreligger en utmaning avseende kommunikation av data och modeller mellan geo- och projekteringsdisciplinerna. GeoBIM-konceptet möjliggör en effektiv hantering och kommunikation av alla georelaterade data och modeller och branschspecifika programvaror med särskilt fokus på CAD-verktygen. Målet har varit att skapa en möjlighet att förenkla samtolkning av alla tillgängliga data och modeller och kommunikationen av desamma mellan ett projekts alla aktörer. GeoBIM-plattformen hanteras via webläsare vilket gör att det inte behövs någon särskild programvara eller licens för att kunna visualisera data och 3D-modeller. Användningen av GeoBIM-konceptet exemplifieras i artikeln med flera svenska tunnelprojekt. I artikeln tydliggörs också olika förbättringar som krävs av branschen för att möjliggöra full BIM inom tunnelbyggnad, tex standardisering av data- och överföringsformat, samt presenteras de nyligen framtagna klassningarna för undermarksobjekt i CoClass-systemet.

---

#### **BERGMEKANISKA ANALYSER FÖR BOLIDENS DJUPFÖRVAR VID SMÅLTVERKET RÖNNSKÄR**

#### **ROCK MECHANICAL ANALYSES FOR THE BOLIDEN DEEP REPOSITORY AT RÖNNSKÄR**

*Mikael Svartsjaern, Itasca Consultants AB*

*Jonny Sjöberg, Itasca Consultants AB*

*Daniel Sandström, Boliden Mineral AB*

*Ida Tjerngren, Boliden Mineral AB*

*David Wladis, Hydrosense*

*Christian Andersson Höök, Sweco*

Boliden anlägger ett djupförvar för slutlig deponering av processavfall vid kopparsmältverket Rönnskär. Förvarsanläggningen anläggs på ett djup av ca. 330 m, och omfattar en ramp från markytan, en anslutningsort samt ett antal större förvarsrum med 16 m bredd och 18 m höjd. För att uppfylla geomekaniska och hydrogeologiska krav från myndigheter och från Boliden själva har bergmekaniska analyser av förvaret genomförts. Detta har innefattat stabilitetsanalyser av förvarsrummen, optimering av rumsgeometrier, samt studier kring huruvida byggandet av förvarsrummen samt framtida deformationer och/eller blocknedfall kan leda till att nya flödesvägar öppnas, något som är kritiskt för anläggningens långtidspåverkan. Påverkan på flödesvägarna har bedömts ur ett långtidsperspektiv med tidsperioden 3000 år som referenstid. Beräkningar har utförts med tredimensionella numeriska modeller med såväl kontinuum- som diskontinuum-ansats. Långtidspåverkan har beaktats via reducering av hållfasthetsparametrar. Resultaten visade på låg risk för hydraulisk koppling mellan förvarsrum och existerande borrhål eller ramp. Förvarsutformningen bedöms vara långsiktigt globalt stabil även utan tillgodogörande av bergförstärkningens effekter och oavsett fyllnadsgrad. Förstärkningsåtgärder krävs dock för att säkra lokal stabilitet under bygg- och driftskedet av förvaret. Ett bergmekaniskt mät- och uppföljningsprogram har tagits fram i syfte att verifiera beräkningsmodellerna under den drivning som för närvarande sker.

---

# **UPPBLOCKNING, MARKDEFORATIONER OCH INVERKAN AV STRUKTURER VID SKIVRASBRYTNING**

## **CAVING, GROUND SURFACE DEFORMATION AND THE INFLUENCE OF STRUCTURES WHEN MINING BY SUBLEVEL CAVING**

*Mikael Svartsjaern, Itasca consultants AB*

*Sebastian Hortberg, Itasca Consultants AB*

*Jonny Sjöberg, Itasca Consultants AB*

*Britt-Mari Stöckel, LKAB*

*Karola Mäkitaavola, LKAB*

Utvecklingen av uppblockning och tillhörande markdeformationer vid Kirunagruvans hängvägg har stor inverkan både för anläggningsägaren LKAB och det omgivande samhället genom den pågående samhällsomvandling i Kiruna. Med hjälp av nya verktyg och nya kunskaper utvecklas kontinuerligt allt mer avancerade beräkningsmodeller för uppblockning och markdeformationer som en viktig del av planerings- och säkerhetsarbetet kring gruvbrytningen. Ett fokus för de senaste beräkningsmodellerna har varit att undersöka inverkan av indikerade storskaliga strukturer på utvecklingen av markdeformationer. Ett antal strukturer i Kirunagruvans hängvägg har studerats med avseende på hur markdeformationer utvecklas som resultat av samverkan mellan strukturerna och uppblockningen kring gruvan. Två tekniker har använts för att simulera uppblockningsprocessen – Itascas Caving-Algorithm i *FLAC3D* samt en kopplad modell i *FLAC3D-CAVESIM*. Båda modellerna visar att strukturerna har en potentiellt stor inverkan på hur töjningar på markytan utvecklar sig, även på stora (km) avstånd från gruvan. För närvarande är egenskaperna för de storskaliga strukturerna mindre väl kända jämfört med omgivande berg. Beräkningsmodellerna, och resultaten, bör därför betraktas som indikativa och kvalitativa, snarare än kvantitativa. Ett borrhörprogram i LKAB:s räkning pågår för att samla in ytterligare information gällande strukturernas egenskaper. Beräkningsresultaten kommer också att användas som stöd för kommande prognosarbete för markdeformationer.

---

## **OBSERVATIONSMETODEN I ETT SANNOLIKHETSBASERAT RAMVERK – UTMANINGAR OCH MÖJLIGHETER**

### **OBSERVATIONAL METHOD IN A RELIABILITY-BASED FRAMEWORK – CHALLENGES AND OPPORTUNITIES**

*Johan Spross, KTH Jord- och bergmekanik*

*Tobias Gasch, Comsol AB*

*Fredrik Johansson, KTH Jord- och bergmekanik*

Observationsmetodens principer är en central del av tunnelbyggnad i hårt kristallint berg, exempelvis genom att mätningar av deformationer används för att följa upp och verifiera att konstruktionens beteende ligger inom vad som designen är giltig för. Om larmgränser för acceptabelt beteende överskrids, så ska förberedda åtgärder sättas in. Dessa principer har blivit centrala på grund av att man måste hantera stora geotekniska och geologiska osäkerheter i designen, och de verkliga geotekniska förhållandena blir normalt inte fullt kända förrän under byggtiden. Att hantera dessa osäkerheter på ett stringent sätt är en förutsättning för att skapa en tillförlitlig designlösning. Ett sätt att uppnå detta är att använda sannolikhetsbaserade dimensioneringsmetoder. I ett forskningsprojekt finansierat av BeFo, som avslutas i december 2019, har vi studerat hur observationsmetoden kan användas i ett sannolikhetsbaserat ramverk. I föredraget kommer vi att visa hur larmgränser för deformation i en sprutbetongförstärkt tunnel kan sättas baserat på en fördefinierad tillåten brottsannolikhet. Detta exemplifieras med larmgränser för en tunnelsektion inspirerad av förhållanden i Mälarpassagen i Förbifart Stockholm. I föredraget diskuterar vi också olika utmaningar som man kan ställas inför vid modellering av komplexa geologiska förhållanden med sannolikhetsbaserade metoder.

---

## UTVÄRDERING AV BERÄKNINGSMETOD FÖR SPRICKINJEKTERINGSDESIGN

### EVALUATION OF CALCULATION METHOD FOR FRACTURE GROUTING DESIGN

*Johan Thörn, Bergab, Chalmers*

*Sara Kvartsberg, Norconsult*

*Edward Runslätt, tidigare vid Golder*

*Sebastian Almfeldt, SAA Konsult*

Vid projektering av injektering med höga krav på täthet används ofta en designmetodik där sprickviddsfördelningar utgör underlag för val av injekteringsparametrar. Metodiken har nyttjats med framgång, men det förekommer fortfarande osäkerheter när den ska tillämpas. I ett BeFo-finansierat forskningsprojekt undersöks gränserna för applicerbarhet av metodiken i syfte att öka användarvänligheten. Inom ramen för projektet ingår en känslighetsanalys som undersöker hur variation av parametrar för vattenförlustmätning och kärnkartering påverkar slutresultatet, dvs. den resulterande sprickviddsfördelningen. De parametrar som analyseras är mätgräns och sektionlängd för vattenförlustmätning, samt sprickantal för kärnkartering. Vidare analyseras inverkan av antal mätsektioner och antaganden om domänindelning och förekomst av sprickzoner. Detta genomförs genom att sammanställa befintliga erfarenheter av metodiken, samt utföra analyser med data från befintliga berganläggningsprojekt i Sverige. Rekommendationer kring beräkningsmetodens applicerbarhet, utförande av mätningar och modellantaganden kommer att presenteras. Projektet syftar även till att uppdatera det befintliga beräkningsverktyget.

---

## DISPERSION AV MIKROCEMENT-BASERAT BRUK MED ULTRALJUD OCH MED KONVENTIONELLA LABORATORIEBLANDARE

### DISPERSION OF MICRO CEMENT BASED GROUT WITH ULTRA SOUND AND CONVENTIONAL LABORATORY MIXERS

*Almir Draganović, KTH*

*Antranik Karamanoukian, KTH*

*Peter Ulriksen, LTH*

*Stefan Larsson, KTH*

Bruk baserat på mikrocement används huvudsakligen för tätning av bergsprickor i undermarkskonstruktioner med höga tätningskrav. Detta bruk är känt som svårblandat jämfört med bruk baserat på vanlig Portlandcement. Denna forskning undersöker möjligheten att använda ultraljud för att förbättra blandning och dispergering av mikrocementbaserat injekteringsbruk. Ultraljudsdispergering jämförs med dispergeringseffektiviteten hos vanlig laboratorieblandare utrustad med disk och rotor/stator-teknik. Dispersionseffektiviteten kontrollerades med filterpump. Bruket dispergerat med laboratorieblandare med disk kunde inte passera 200 µm filter. Laboratorieblandaren med rotor/stator-teknik visade en mycket bättre effektivitet jämfört med disk där uppmätt dispersion varierade mellan 77 och 104 µm beroende på cement malningskvalitet. Vid dispergering med ultraljud fick vi ett ännu bättre resultat. För bruk baserat på cement med  $d_{95}$  lika med 30 µm var rotor/stator-tekniken ungefär lika effektiv som ultraljud men för bruk baserat på cement med  $d_{95}$  lika med 12 µm var ultraljud mycket bättre än rotor/stator-tekniken. Bruket dispergerat med ultraljud kunde passera 54 µm filter vilket var nästan dubbelt så bra som dispergering rotor/stator-tekniken.

# VÄSTLÄNKENS INJEKTERING - FUKT, DROPP ELLER FLÖDE: HUR DET HAR GÅTT HITTILLS

## GROUTING AT VÄSTLÄNKEN – MOISTURE, DRIPPING OR FLOW: HOW IT HAS GONE SO FAR

*Lisa Hernqvist, Sweco*

*Magnus Zetterlund, Norconsult*

*Christian Butron, Trafikverket*

Västlänken är en dubbelspårstunnel som byggs under centrala Göteborg. Totalt kommer Västlänken att bli cirka 8 km lång, varav 6 km går i tunnel. Mellan 3 och 4 km av tunneln kommer att utgöras av bergtunnel, omfattande bl.a. dubbelspårstunnel, stationsutrymmen, servicetunnel, tvärtunnlar, utgångar, etc. Bergtunnlarna går huvudsakligen genom en kristallin bergmassa bestående av gnejs och ådergnejsomvandlad granodiorit. Inslag av mörkare djupbergarter förekommer i gnejsen. Mer homogena gnejspartier separeras i många fall av djupgående vattenförande krosszoner. Inläckagekraven är strikta för att undvika skada på sättningskänslig bebyggelse i tunnelns omgivning. Dimensionering av injekteringsutförandet för Västlänkens bergtunnlar och bergstationer baseras på den forskning som pågått på Chalmers och KTH samt erfarenheter från Trafikverkets pågående projekt såsom Förbifart Stockholm och andra större projekt där bergtunnlar drivs i en storstadsmiljö med krav på uppnådd täthet i samma storleksordning som för Västlänken. Injekteringsdesignen har utformats för att kunna hantera dels den variation i spricksystemet som kan förväntas, bergplintar, enstaka sprickor, zoner, mm och dels de krav som ställs på slutgiltig täthet. Injekteringsmetodiken för Västlänken baseras på en prognos över injekteringsbehovet i tre olika injekteringsklasser där injektering utförs med en eller två injekteringsomgångar och kontrollhål. I samtliga klasser sker en utvärdering om behov av ytterligare omgång utgående från injekteringsdata, vattenförlustmätningar i kontrollhål, inläckagemätningar och grundvattennivåmätningar. Bergmassans heterogenitet och de krav som ställs på slutgiltig täthet medför att injekteringsutförande och fördelning av injekteringsklasser ska följas upp och vid behov anpassas under drivning då mer information om bergets geologiska och hydrogeologiska förhållanden erhålls. För att göra detta på ett systematiskt och transparent sätt ska uppföljning och åtgärder enligt Observationsmetodens principer tillämpas.

---

## LÄCKANDE BERGBULTHÅL, UTREDNING AV ORSAK OCH FRAMTAGNING AV ÅTGÄRDER FÖR ATT MINIMERA DESS FÖREKOMST

### LEAKY ROCK BOLT HOLE, INVESTIGATION OF CAUSE AND DEVELOPMENT OF MEASURES TO MINIMIZE ITS OCCURRENCE

*Hossein Khodaverdian, Abeis Konsult AB*

*Magnus Zetterlund, Norconsult*

Byggande i berg erfordrar normalt förstärkningsåtgärder. Installation av bergförstärkning i form av bergbultar utförs i princip alltid inom den teoretiskt tätade injekterade zonen för bergtunnlar. Detta borde innebära att de installeras i torrhet. Trots detta finns det ett betydande antal bulthål som det efter borrhning alternativt efter installation av bult, rinner/droppar vatten ur, de läcker. Syftet med detta forskningsprojekt är att utreda orsak, nuvarande hantering och ge förslag till hantering, möjlighet till åtgärder för att reducera samt ge förslag till reglering av läckande bulthål vid bergbyggandet. Uppföljning av antalet injekterade läckande bulthål visar att antalet är mycket högre än prognosen. Undersökning av karterade områden, MWD och utförd behandling av läckande bulthål visar att huvudfaktorerna för förekomsten av de läckande bulthålen är geologi, skärmgeometri och bultarnas längd. För att minska förekomsten av läckande bulthål föreslås modifiering av skärmgeometrin, stoppkriterier och gräns för avvikelser av injekteringshål. För att minska åtgärder för läckande bulthål ska de injekteras med stabilt injekteringsbruk och borras om. Förslagen kommer att implementeras och resultaten jämförs med tidigare injekterade områden samt hantering av eventuellt åtgärdade läckande bulthål. Förslagen är baserade på resultat från uppföljningen och den ursprungliga tekniska beskrivningen.

---

## **RAISEBORNING I SVÅRA BERGFÖRHÅLLANDEN – PRAKTIKFALL FRÅN RENSTRÖMSGRUVAN**

### **RAISEBORING IN DIFFICULT GROUND CONDITION - CASE STUDIES FROM THE RENSTRÖM MINE**

*Daniel Sandström, Boliden*

*Anton Bergman, Boliden*

*Patrik Hansson, Boliden*

*Sunniva Haugen, Boliden*

*Magnus Backe, Boliden*

Mellan 1270 m och 1467 m avvägningssnivå i Renströmsgruvan har tre vertikala ventilationsschakt raiseborrats i svåra bergförhållanden. Inför borrningarna genomfördes förundersökningar och stabiliteten på schakten analyserades med hjälp av empiriska metoder och spänningsanalyser. Analyserna indikerade att schakten låg på gränsen till att vara stabila. Vid borrningen av det första schaktet trycktes väggarna i schaktet sönder och bergutfall uppstod framförallt på grund av förskiffrat berg. Schaktet gick dock att stabilisera med sprutbetong och bultning från plattform. För att minska riskerna för stabilitetsproblem i det andra schaktet gjordes utökade förundersökningar av bergkvaliteten och schaktet placerades i förmodat bättre berg. Trots detta blev stabilitetsproblemen större vilket slutligen ledde till att det andra schaktet återfylldes med betong och borrades om. För det tredje schaktet utvärderades andra drivningsmetoder men på grund av arbetsmiljörisker beslutades att ändå använda raiseborring. Försiktighetsåtgärder vidtogs i form av förförstärkning, förändrad storlek samt minimerad ståtvid mellan färdigborring av schaktet och betongsprutning. Även detta visade sig att vara otillräckligt och schaktet var tvunget att återfyllas med makadam och istället förstärkas från plattform. Stabilitetsproblemen i de tre schakten har inneburit arbetsmiljörisker, förseningar och ökade kostnader. För framtiden måste förbättrade prognosmetoder för raiseborrade schakt tas fram och alternativa drivnings- och förstärkningsmetoder ses över.

---

## **RAISEBORNING I SVÅRA BERGFÖRHÅLLANDEN – LITTERATUR- OCH PRAKTIKFALLSSTUDIE**

### **RAISEBORING IN DIFFICULT ROCK CONDITIONS — LITERATURE AND CASE STUDIES**

*CatrinEdelbro, Itasca Consultants AB*

*Richard Brummer, Itasca Consulting Canada,*

*Matt Pierce, Pierce Engineering*

*Daniel Sandström, Boliden Mineral AB*

*Jonny Sjöberg, Itasca Consultants AB*

I Bolidens gruvor har ett ökat brytningsdjup och därmed ökande bergspänningar, i kombination med varierande bergförhållanden, medfört svårigheter vid raiseborring av schakt. I denna artikel presenteras resultaten från en praktikfalls- och litteraturstudie där alternativa sätt att driva och förstärka raiseborrade schakt i svåra bergförhållanden utvärderats. Erfarenheter från praktikfallen omfattande schakt med olika längd, diameter och funktion, har nyttjats för att utveckla diagram som kan användas i designstadiet. Diagrammen visar förhållandet mellan maximal tangentiell spänning och enaxiell tryckhållfasthet kopplat till längd och diameter för schakt. I diagrammen anges när initialt brott i berg samt problem under borrning kan förväntas. För schakt som haft omfattande problem under borrningen redovisas exempel på hur dessa åtgärdades. Den mest väldokumenterade åtgärden är förförstärkning i form av vertikala skärmar. Det finns dock inget internationellt dokumenterat praktikfall där denna förförstärkning använts i typiska skandinaviska bergförhållanden på stort djup. Fortsatt arbete bör därför omfatta en analys av bergmassans beteende vid förförstärkning med vertikala skärmar. Även andra tänkbara åtgärder, exempelvis avlastningssprängning, bör studeras via numerisk modellanalys och/eller småskaliga tester i syfte att öka förståelse för styrande mekanismer.

---



# **DIMENSIONERING AV SPRUTBETONGFÖRSTÄRKNING FÖR LÖSA BLOCK MED SANNOLIKHETSBASERADE METODER**

## **DESIGN OF SHOTCRETE SUPPORT FOR LOOSE BLOCKS USING RELIABILITY-BASED METHODS**

*William Bjureland, KTH Jord- och bergmekanik*

*Fredrik Johansson, KTH Jord- och bergmekanik*

*Johan Spross, KTH Jord- och bergmekanik*

*Stefan Larsson, KTH Jord- och bergmekanik*

Användning av sannolikhetsbaserade metoder för dimensionering av bergförstärkning är ett tillvägagångssätt som är accepterat i Eurokoderna. Vid dimensionering med dessa metoder beaktas osäkerheter stringent genom att ansätta sannolikhetsfördelningar för relevanta parametrar. Konstruktionens säkerhet säkerställs genom att verifiera att sannolikheten att överskrida bärförmågan är lägre än den i Eurokoderna krävda brottsannolikheten. För tillämpning av sannolikhetsbaserade metoder för dimensionering av sprutbetongförstärkning för lösa block har ett problem varit att data saknats för att kunna beskriva relevanta parametrar med representativa sannolikhetsfördelningar. Dessutom samverkar de olika brottmoderna och måste därför betraktas ur ett systemperspektiv, vilket inte beaktats i tidigare studier. I denna artikel presenteras resultatet av ett doktorandprojekt med finansiering av SBUF, BeFo, SVC och SKB. Baserat på ovanstående aspekter presenteras en metodik för dimensionering av sprutbetongförstärkning för lösa block med sannolikhetsbaserade metoder. Inledningsvis presenteras sannolikhetsfördelningar för sprutbetongens parametrar baserat på en stor mängd analyserade data från Citybanan. Därefter presenteras den utvecklade dimensioneringsmetodik, vilken bygger på att en initial dimensionering av sprutbetongen utförs innan tunneldrivningen påbörjas och att den applicerade sprutbetongens bärförmåga därefter verifieras med hjälp av kontrollmätningar från fält och Bayesiansk statistik.

---

## **HYDRAULISK UTMATTNING FÖR BERGSPRÄCKNING**

### **HYDRAULIC FATIGUE FOR ROCK FRACTURING**

*Ove Stephansson (1938-2020), Helmholtz Centre Potsdam GFZ German Research Centre for Geosciences, Potsdam, Germany*

*Arno Zang, Helmholtz Centre Potsdam GFZ German Research Centre for Geosciences, Potsdam, Germany*

*Jeoung Seok Yoon, DynaFrax UG, Spin-off Co. of GFZ, Potsdam, Germany*

*Jian Zhou, CAS – Chinese Academy of Science, Beijing, China, & DynaFrax UG, Spin-off Co. of GFZ, Potsdam, Germany*

Ett 18-mannastort forskarteam med ledning från GFZ har genomfört hydrauliska spräckningsförsök i TASN-tunneln på 410 nivån i Äspö HRL. Vi borrade ett 28 m långt spräckborrhål med diametern 100 mm som gav oss tre olika typbergarter för försöken. Vi riktade hålet i minsta huvudspänningsriktningen, borrade hål och installerade många AE-sensorer, seismometrar, accelerometrar, geofoner, och EME-sensorer kring spräckhålet och i angränsande tunnlar. Vi genomförde sex hydrauliska spräcktester i tre olika bergarter med progressiv, cyklisk och kombinerad cyklisk och dynamisk trycksättningsmetod och följde under realtid sprickinitieringen och sprickutbredningen kring spräckhålet i 3-D. Huvuddelen av sprickorna propagerade vinkelrätt mot spräckhålet och sub-vertikalt uppåt och är resultatet av 20,000 AE-detekteringar och lokaliseringar av sprickutbredningen. Spräckningsförsöket med en överlagrad dynamisk trycksättning tillsammans med spräcktrycket var skonsammaste metoden och resulterade i noll AE-respons. Cyklisk injektion sänker spräckningstrycket med ca 15 % och modifierar magnitud-frekvensfördelningen hos AE och resulterar i ett högre b-värde. Kombinationen av cykliskt, progressivt och dynamiskt överlagringstryck leder till en utmattning (fatigue) av berget och är en skonsam och säker metod att spräcka berg.

---