

VÄLKOMMEN TILL DEN 53:e BERGMEKANIKDAGEN 19 MARS 2019

Bergmekanikdagen anordnas av Svenska Bergteknikföreningen i samarbete med Svenska Bergmekanikgruppen.

PROGRAM

(cirkatider, med reservation för ändringar)

08:30 REGISTRERING – Kaffe & Smörgås

09:00 **Hälsningsanförande**

Per Tengborg, BeFo

09:20 **Gästföreläsning**

- Underground Construction, Geology and Geotechnical Risk
Prof. Priscilla Nelson, Dept. of Mining Engineering, Colorado School of Mines, USA

10:00 **Session 1: INJEKTERING**

Moderator: Åsa Fransson/Golder Associates

- Standardisering av mätningen av inträngningsförmåga och reologi av cementbaserade bruk
Almir Draganović, Ulf Håkansson, Johan Funehag

10:25 KAFFE I UTSTÄLLNINGEN

11:05

- Icke-Newtonska strömning av injekteringsbruk i enskilda raa sprickor
Liangchao Zou, Ulf Håkansson, Vladimir Cvetkovic
- Cementbaserade injekteringsmedels reogram: instabilt flöde och inverkan på injektering
John Shamu, Liangchao Zou, Ulf Håkansson

Information från Trafikverket

- Tunnelproduktionsdata i Chaos
Jan Thorén, Mattias Roslin, Thomas Dalmalm, Lars Martinsson

12:00 MINGEL-LUNCH I UTSTÄLLNINGEN

13:00 **Session 2: BEFO-MEDLEY**

Moderator: Jessica Öhr Hellman, WSP Sverige

Kortpresentationer av utvalda forskningsprojekt inom BeFo

13:45 **Presentation och utdelning av pris: Bästa examensarbete**

13:50 Session 3: BERGMEKANISKA ANALYSER

Moderator: Björn Stille/Aecom

- Hur ska bergbyggande kunna inkluderas i Eurokod 7?
Johan Spross, Fredrik Johansson, Håkan Stille, Arild Palmström
- 3D diskret elementmodellering av dynamiska brott i samband med förkastningsrörelser: en tillämpning vid säkerhetsbedömningen av ett slutförvar för använt kärnbränsle
Jeoung Seok Yoon, Arno Zang, Ove Stephansson, Carl-Henrik Pettersson, Flavio Lanaro

14:30 KAFFE I UTSTÄLLNINGEN

15:00

- Bergmekaniska analyser för stationsutrymmen för ny tunnelbana Akalla-Barkarby
Fredrik Perman, Linda Jonsson, Christer Andersson, Miriam Isaksson-Mettävainio, Jonny Sjöberg, Ulf Lindfors, Martin Brantberger
- Mekaniska egenskaper hos stora bergsprickor
Lars Jacobsson, Diego Mas Ivars, Tom Lam, Fredrik Johansson

15:40 Session 4: GEOFYSIK & MÄTTEKNIK

Moderator: Tristan Jones/LKAB

15:45

- Geofysik för bättre bergmodeller – bidrag till tunnelbaneprojektet i Stockholm (TNG)
Joachim Place, Johan Lindström, Anna-Karin Tagesson Jons, Per Nilsson, Joacim Olsson
- Geofysisk kartläggning av sedimentdjup och strukturer i berg under vatten i Stockholm
Torleif Dahlin, Roger Wisén

16:25 BENSTRÄCKARE

- Användning av GroundProbe GML LiDAR scanner för att mäta cementerad återfyllning i samband med igensättning
Peter Saunders
- Tolkning av seismiska data registrerat under test av hydraulisk spräckning i LKABs gruva i Kiruna
Christina Dahnér, Mirjana Bošković

17:20 Val av bästa föredrag

17:30 AVSLUTNING

17:30 Årsmöte – Svenska Bergmeknikgruppen

17:30 MINGELBUFFÉ I RIDDARSALEN

PARTNER:



Session 1: INJEKTERING – Moderator: Åsa Fransson / Golder Associates

STANDARDISERING AV MÄTNINGEN AV INTRÄNGNINGSFÖRMÅGA OCH REOLOGI AV CEMENTBASERADE BRUK

STANDARDIZATION OF MEASUREMENTS OF PENETRABILITY AND RHEOLOGY OF CEMENT-BASED GROUTS

Almir Draganovic / KTH

Ulf Håkansson, Skanska / KTH

Johan Funehag, Tyrens / LTU

Under den senaste tjugofemårsperioden har man i Sverige forskat på frågor relaterade kring mätning av inträngningsförmåga och reologi av cementbaserade bruk.

Svensk standard SS-EN 14497:2004 beskriver hur man bestämmer filtreringsstabilitet hos cementbaserade injekteringsbruk med filterpump. Ett av problemen är att tolka uppmätta data. Andra relevanta frågor är provtryck, provvolym osv. Sen dess har många tagit fram nya mätinstrument och metoder men används idag inte i industrin.

Det finns inte heller några föreskrifter eller standard i Sverige som beskriver hur man ska mäta flytgräns och viskositet av cementbaserade bruk. Internationellt finns Tysk standard DIN 530019 från 1980 och USAs standard ASTM C1749 från 2012 som beskriver mätning av viskositet generellt. Provberedning och mätprocedur är väldigt generella för att de ska passa till alla möjliga vätskor vilket är svårt att använda för cementbaserade bruk. Dessutom finns det inte någon standard som beskriver mätning av flytgränsen. Vanligtvis interpolerar man mätningen av viskositet vid olika skjuvhastigheter för att bestämma flytgräns indirekt. Det finns flera andra metoder för direkt mätning av flytgränsen.

Denna paper systematiserar alla dessa metoder och visar på ett förslag till en standard hur man ska mäta inträngnings och reologiska egenskaper av cementbaserade bruk.

ICKE-NEWTONSK STRÖMNING AV INJEKTERINGSBRUK I ENSKILDA RÅA SPRICKOR

NON-NEWTONIAN GROUT FLOW IN SINGLE ROUGH-WALLED ROCK FRACTURES

Liangchao Zou / KTH, avd för Resurser, energi och infrastruktur

Ulf Håkansson / KTH, avd. för Jord- och Bergmekanik / Skanska

Vladimir Cvetkovic / KTH, avd för Resurser, energi och infrastruktur

Modellering av cement-baserade injekteringsmedels strömning i bergsprickor spelar en viktig roll för prediktion och design. De medel som används vid injektering är typiskt icke-Newtonska, med en flytgräns, och antas därför vara av Bingham typ. Naturliga bergsprickor har vanligtvis en rå och ojämn yta. Analyser av injekteringsförlopp borde därför innehålla både icke-Newtonska vätskor och råhet hos sprickorna, vilket oftast inte är fallet i den litteratur som finns tillgänglig idag. I föreliggande arbete fokuseras på inverkan av bergsprickors råhet och numeriska beräkningar redovisas för icke-Newtonska injekteringsmedels strömning i enskilda sprickor, med hjälp av en regulariserad metod för hantering av brukets flytgräns. Sprickytorernas råhet modelleras från laser-scannade ytor av granitprover för att erhålla så realistiska förhållanden som möjligt. Resultaten visar på icke-linjära effekter och att de råa sprickytorerna har en avgörande inverkan på spricktransmissiviteten och att resultaten kan användas för att minska osäkerheten vid praktisk tillämpning.

CEMENTBASERADE INJEKTERINGSMEDELS REOGRAM: INSTABILT FLÖDE OCH INVERKAN PÅ INJEKTERING

CEMENT GROUT RHEOLOGICAL FLOW CURVES: UNSTEADY FLOW AND IMPACTS ON GROUTING

John Shamu / KTH
Liangchao Zou / KTH
Ulf Håkansson / Skanska / KTH

Cementbaserade injekteringsmedels reologiska egenskaper har en viktig inverkan på dess inträngningsförmåga i bergsprickor. Medlen klassificeras ofta som Bingham vätskor, med en karakteristisk flytgräns och viskositet. Egenskaperna bestäms utifrån reogram som tagits fram med hjälp av en rotationsviskosimeter. Mätdata har potentiella felkällor såsom glidning vid en fast begränsningsyta samt inneboende egenskaper hos suspensioner, som tixotropi, separation och ett instabilt flöde vid låga deformationshastigheter. Dessa effekter leder ofta till felaktiga tolkningar av reogramen när tex Binghammodellen används. I föreliggande artikel diskuteras reogram från mätningar på injekteringsmedel med vattencementtal 0,6 och 0,8, med rotationsviskosimeter, olika geometrier och kontrollerade deformationshastigheter. Vi visar effekterna av varaktigheten mellan stegen av ändrad deformationshastighet och hur bra de olika geometrierna är på att förhindra glidning. Påverkan på de reologiska egenskaperna diskuteras slutligen inom ramen för RTGC (Real Time Grouting Control) teorin.

TUNNELPRODUKTIONSDATA I CHAOS

DATA FROM TUNNEL PRODUCTION IN CHAOS

Jan Thorén /Trafikverket
Mattias Roslin / Trafikverket
Thomas Dalmalm / Trafikverket
Lars Martinsson /THETA Engineering

Traditionellt har tunnelproduktionsdata från stora infrastrukturprojekt hanterats i pappersformat och pärmar. Detta medför mer än 100 000-tals A4 sidor som ej är sökbara och 1000-tals timmar spenderade i olika administrativa moment.

Trafikverket har inom projekt Förbifart Stockholm utvecklat och implementerat en plattform för snabb och enkel insamling av data från tunnelproduktion.

Metodologin är att använda dokumenthanteringssystemet Chaos redan utvecklade komponenthantering där unika ID, metadata och kopplade filer kan skapas för olika typer av installationer inom Trafikverkets anläggningar. Istället för olika typer av installationer har systemet justerats så att en komponent t.ex. kan motsvara en förinjekteringskärm eller bultsättningsomgång. Komponenter som insamlas är aktiviteter inom injektering, bergförstärkning, geologi, inmätning, etc. samt tillhörande provning och kontroll.

Ett enkelt gränssnitt för inmatning har utvecklats som medför en enhetlig nomenklatur och metadatahantering för samtliga användare och entreprenörer inom projektet. Till varje komponent bifogas t.ex. datafiler och protokoll. Olika komponenter är kopplade till respektive anläggningsdels staklinje vilket medför en sökbar databas helt i linje med Förbifart Stockholms BIM-strategi.

Applikationen kan generera sammanställda exporter vilket kan användas för mängduppföljning, kontroll, besiktning, relationshandling eller underlag till relationshandlingar, forskning, etc. Sammanfattningsvis gör applikationen vardagen enklare och medför stora tidsbesparingar för Trafikverket, entreprenörer och konsulter.

HUR SKA BERGBYGGANDE KUNNA INKLUDERAS I EUROKOD 7?

HOW TO INCLUDE ROCK ENGINEERING IN EUROCODE 7

*Johan Spross/ KTH Jord- och bergmekanik
Fredrik Johansson/ KTH Jord- och bergmekanik
Håkan Stille/ KTH Jord- och bergmekanik
Arild Palmström/RockMass AS*

I dagsläget har många länder, däribland Sverige, valt att inte tillämpa Eurokod 7 vid byggande i berg. Eurokod 7 är dock för närvarande under omarbetning, bland annat med syftet att bättre inkludera bergbyggande i dess tillämpningsområde. En sådan omarbetning kräver dock att koden anpassas till bergbyggandets egenheter, eftersom byggande i berg fundamentalt skiljer sig från byggande av de flesta andra typerna av konstruktioner. I denna presentation framför vi vår syn på hur en designkod för bergkonstruktioner behöver vara uppbyggd för att säkerställa att nya konstruktioner både blir tillräckligt säkra och kan byggas på ett kostnadseffektivt sätt. En viktig utgångspunkt är den beslutsteoretiska kopplingen mellan dimensionering och riskhantering som alltid bör genomsyra byggande i jord och berg. Presentationen bygger på resultatet av BeFo-projekt 395.

3D DISKRET ELEMENTMODELLERING AV DYNAMISKA BROTT I SAMBAND MED FÖRKASTNINGSRÖRELSER: EN TILLÄMPNING VID SÄKERHETSBEDÖMNINGEN AV ETT SLUTFÖRVAR FÖR ANVÄNT KÄRNBRÄNSLE

3D-DISCRETE ELEMENT MODELLING OF FRACTURE SLIP INDUCED BY A FAULT DYNAMIC RUPTURE: APPLICATION TO SPENT FUEL REPOSITORY SAFETY ASSESSMENT

*Jeoung Seok Yoon, DynaFrax UG, Germany
Arno Zang, Helmholtz Centre Potsdam, Germany
Ove Stephansson, Helmholtz Centre Potsdam, Germany
Carl-Henrik Pettersson, Swedish Radiation Safety Authority, Sweden
Flavio Lanaro, BERGAB, Berggeologiska Undersökningar AB, Sweden*

Denna artikel baseras på en studie av den långsiktiga strålsäkerheten för ett planerat geologiskt förvar för använt kärnbränsle i Forsmark. I studien ingår reaktiviering av till förvaret närliggande förkastningar och vilka konsekvenser detta för med sig gällande framförallt inducerade sprickrörelser i den planerade förvarsvolymen. Vid simuleringarna av jordskalv användes Particle Flow Code 3D v4 (PFC3D v4), en 3-D diskret elementkod utvecklad av Itasca. För att simulera jordskalv av en magnitud större än 5, utgår studien från SKB:s regionala geologiska modell för Forsmark. Studien visar att källparametrarna vid simuleringen av jordbävningen är i god överensstämmelse med dokumenterade skalnings-förhållanden från observationer av jordskalvsförkastningar. Resultaten från denna studie visar att simuleringarna av dynamiska brott i samband med förkastningsrörelser med diskret elementkoden PFC3D v4 väl kan återge brottmekanismer vid naturliga jordskalvsförkastningar.

BERGMEKANISKA ANALYSER FÖR STATIONSUTRYMMEN FÖR NY TUNNELBANA AKALLA-BARKARBY

ROCK MECHANICAL ANALYSIS FOR UNDERGROUND STATIONS FOR NEW METRO LINE AKALLA–BARKARBY

Fredrik Perman / Itasca Consultants

Linda Jonsson / Itasca Consultants

Christer Andersson / Ramböll

Miriam Isaksson-Mettävainio / Ramböll

Jonny Sjöberg / Itasca Consultants

Ulf Lindfors / Itasca Consultants (numera ÅF Infrastructure)

Martin Brantberger / Förvaltning för utbyggd tunnelbana (SLL)

Stockholms läns landsting ansvarar för den pågående utbyggnaden av tunnelbanan och har bildat en förvaltning för att planera och genomföra utbyggnaden, Förvaltningen för utbyggd tunnelbana. Den nya tunnelbanans sträckning mellan Akalla–Barkarby utgör en av etapperna i utbyggnaden, och går från Akalla station i öst, över Järvafältet till Barkarby i väster. Längs den nya sträckningen finns två stora underjordsstationer planerade – Barkarbystaden och Barkarby. I denna artikel beskrivs de bergmekaniska analyser som utförts för stationsutrymmena vid båda dessa stationer. Projekteringsprocessen beskrivs översiktligt i sin helhet, följt av utfört arbete för att ta fram indata till dimensionering. Stationsutrymmena utgörs av relativt komplexa tredimensionella geometrier och utförda dimensioneringsanalyser har företrädesvis utförts med 3D numerisk modellanalys. Ett antal svaghetszoner finns också i båda stationsområdena. Såväl kontinuum- som diskontinuum-analyser har därför utförts. Kompletterande analytiska beräkningar för dimensionering av förstärkning har också genomförts.

MEKANISKA EGENSKAPER HOS STORA BERGSPRICKOR

MECHANICAL PROPERTIES OF LARGE ROCK JOINTS

Lars Jacobsson / Division of Safety and Transport, RISE Research Institutes of Sweden

Diego Mas Ivars / SKB Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Company and Royal Institute of Technology KTH

Tom Lam / NWMO Nuclear Waste Management Organization, Canada

Fredrik Johansson / Division of Soil and Rock Mechanics, Royal Institute of Technology KTH

Experimentella undersökningar av skjuvegenskaperna hos bergsprickor i hårt berg fokuseras i allmänhet på små prover vid hög normalspänning upp till 20 MPa eller på stora prover vid låg normalspänning. För att skaffa en vidare förståelse av skaleffekten för skjuvegenskaperna hos sprickor är det avgörande att skjuva stora bergsprickor (>200 mm) under hög normalspänning.

I projektet Parameterization of Fractures, POST (2014-2016), undersöktes skaleffekterna genom in-situ experiment, småskaliga laborieexperiment och beräkningssimuleringar. En slutsats var att laborie-experiment under en kontrollerad belastningsmiljö på stora bergprover är nödvändigt för att erhålla tillförlitliga resultat. Det konstaterades också att in-situ experiment är komplexa med underliggande osäkerheter och är associerade med höga kostnader.

I det pågående projektet POST 2 kommer stora bergsprickor upp till 500 mm att skjuvprovas under en hög normalspänning i en unik laborieutrustning för direkta skjuvförsök. Dessa försök kommer genomföras tillsammans med försök på mindre prover vid både CNL och CNS villkor för normalspänningen. Teknik för tillverkning och kvalitetssäkring av replikor av sprickor med egenskaper som efterliknar hårt berg utvecklas också för att möjliggöra lastparameterstudier.

GEOFYSIK FÖR BÄTTRE BERGMODELLER – BIDRAG TILL TUNNELBANA PROJEKTET I STOCKHOLM (TNG)

GEOPHYSICS FOR BETTER ROCK-MASS MODELS – EXAMPLES FROM THE STOCKHOLM SUBWAY PROJECT (TNG)

Joachim Place / Sweco Civil, Stockholm

Johan Lindström / Sweco Civil, Malmö

Anna-Karin Tagesson Jons / Sweco Civil, Malmö

Per Nilsson / Sweco Civil, Sundsvall

Joacim Olsson / Sweco Civil, Sundsvall

I syftet att tillåta en smidig tillväxt av Stockholms stad projekteras en ny tunnelbana. En stor volym bergmassa i form av tunnlar och berggrum ska därför schaktas för att skapa dessa möjligheter. Den totala byggkostnader samt driftskostnader är beroende av en väl planerad projektering, där tillförlitligheten av bergmodeller spelar en avgörande roll.

Ett flertal exempel i urval kommer att presenteras där informationen om jord och berggrunden har samlats ifrån så många metoder som möjligt för att kunna skapa modeller som speglar verkligheten så bra som möjligt. Härmed lyfter vi de viktigaste insatserna som kommit ifrån geofysiska metoder för att komplettera traditionella geotekniska och geologiska undersökningar. 3D-kartering av bergnivå under fyllningsmaterial och naturliga sediment, samt identifiering av svaghetszoner i berggrunden kommer att presenteras. Framgångsrika resultat från Gullmarsplan kommer att redovisas, eftersom denna plats innehåller många av de svårigheter som brukar begränsa effektiviteten av geofysik i stadsmiljö (vibrationer från väg- och järnväg, starka elströmmar, svår tillgång/åtkomst, dämpning av vågor i makadam...).

Detta bidrag exemplifierar geofysikens styrka, alltså att producera kontinuerlig information, vilket balanserar informationsklyftan som uppstår mellan geotekniska sonderingar. Bidraget bevisar också att noggrannhet av geotekniska sondering kompletterar bristen på exaktheten vid geofysiska metoder och bidrar till dess kalibrering.

ANVÄNDNING AV GROUNDPROBE GML LIDAR SCANNER FÖR ATT MÄTA CEMENTERAD ÅTERFYLNING I SAMBAND MED IGENSÄTTNING

USING THE GROUNDPROBE GML LIDAR SCANNER TO MEASURE THE RESPONSE OF CEMENTED MINE FILL BARRICADES DURING BACKFILLING AT OLYMPIC DAM MINE, SOUTH AUSTRALIA

Peter Saunders / Groundprobe, Australien

Light detection and ranging, LIDAR (även LADAR eller laser-radar), är ett optiskt mätinstrument som mäter egenskaper hos reflekterat ljus för att finna avståndet och/eller andra egenskaper av ett avlägset föremål har vuxit i popularitet de senaste åren för mätning av markkonvergens över tid i underjordiska gruvor. Dessa system används vanligtvis för att hantera geoteknisk risk, som är förknippad med bergmassans förskjutning, orsakad av gruvdriftstillförd spridningsfördelning av krafter.

Mätningen utfördes i BHP metallgruva, Olympic Dam Mine, som ligger i södra Australien 550 km nordväst om Adelaide. Det är den fjärde största kopparfyndigheten och den största kända enskilda deponeringen av uran i världen.

GroundProbe GML (Geotechnical Monitoring LiDAR) systemet har applicerats i en unik applikation för att mäta med mindre än millimeternoggrannhet kompressionen som är ett resultat av den belastning som påförs vid en cementserad återfyllning.

Många försök har gjorts för att modellera kompressionen vid cementserade återfyllningar tidigare, bl.a. användning av komplexa icke-linjära numeriska modelleringsmetoder, för att modellera beteende för både oförstärkt och förstärkt betong (Grabinsky, MW 2014).

GroundProbe GML-systemet mäter ytans förskjutning nära realtid med full upplösning och med millimeterupplösning. Med den här nya tekniken, var syftet med projektet att testa och optimera befintliga igensättningsprocesser i hopp om att öka fyllningsgraden, vilket möjliggör snabbare omsättning av stopp och tidigare tillgång till intilliggande gruvblock.

TOLKNING AV SEISMISKA DATA REGISTRERAT UNDER TEST AV HYDRAULISK SPRÄCKNING I LKABS GRUVA I KIRUNA

INTERPRETATION OF REGISTERED SEISMIC DATA DURING HYDRAULIC FRACTURING TEST IN THE LKAB MINE IN KIRUNA

Christina Dahnér / Luossavaara-Kiirunavaara, Malmberget

Mirjana Bošković / Luossavaara-Kiirunavaara, Kiruna

LKABS gruva i Kiruna har sedan 2008 varit en seismiskt aktiv gruva. Under många år har mycket arbete lagts ned på att designa en bergförstärkning som kan säkerställa gruv-ortarnas stabilitet.

Under 2016 bestämde man sig för att prova med alternativa metoder för att reducera storleken och frekvensen på de stora seismiska händelserna som förorsakar stora skador. Man valde att prova hydraulisk spräckning och under maj 2017 genomfördes ett test med hydraulisk spräckning underjord i gruvan i Kiruna. Syftet med detta initiala test var att prova tekniken och se om det var möjligt att spräcka berget. Försöket ägde rum på nivå 1135m där ett 245 m långt hål borrades ned till nivå 1347 m.

I gruvan finns det ett omfattande seismiskt system installerat som täcker hela produktions-området. Trots att man innan försöket sa att man inte skulle göra några seismiska tolkningar så har man efteråt valt att analysera de, av det befintliga seismiska systemet, registrerade seismiska händelserna. Under den hydrauliska spräckningen registrerades 2081 stycken händelser, som var relaterade till spräckningsprocessen, inom magnitud-intervallet $-1,8 - 0,1$. Dessa händelser har analyserats m.a.p. storleksfördelning, geometrisk fördelning runt spräckhålet och källmekanism. Kopplingar till den lokala strukturgeologin och pump-parametrar har undersökts.