

# BERGMEKANIKDAGEN 28 SEPTEMBER 2022

## FÖRMIDDAG

08:30 – 09:00	<b>Registrering</b> <i>Ankomstregistrering och kaffe med smörgås</i>
09:00 – 09:15	<b>Öppningsanförande</b> Patrik Vidstrand, Forskningsdirektör, BeFo
09:15 – 10:00	<b>INBJUDEN GÄSTFÖRELÄSARE:</b> <b>Karl Grossauer</b> iC Consulenter Ziviltexniker GesmbH
10:00 – 10:25	<b>SESSION 1 – INJEKTERING</b> <i>Moderator: Johan Funehag, Luleå tekniska universitet</i> <b>Kontrollhål i tätad zon (TZ) och innanför tunnelkontur (ITK)</b> Lisa Hernqvist, Trafikverket
10:25 – 10:55	<b>Förmiddagskaffe - serveras i utställningen</b>
11:00 – 11:20	<b>SESSION 1 – INJEKTERING forts.</b> <b>Towards digital monitoring of cement grout rheology with ultrasound</b> John Shamu, Incipientus AB
11:20 – 12:25	<b>SESSION 2 – FÖRUNDERSÖKNINGAR OCH DATAHANTERING</b> <i>Moderator: Marie von Matérn/WSP</i> <b>Komplett modell för beräkning av bergövertyta med tillhörande osäkerhetsnivåer</b> Mats Svensson, Tyréns AB <b>Process and visualisation of MWD data during hard rock tunnelling</b> Louis Kingdom, AFRY <b>Episyenit: erfarenheter från e4 förbifart stockholm-projektet</b> Felix Makowsky, Sigma Civil Öst
12:25 – 12:40	<b>PRESENTATION AV VINNANDE EXAMENSARBETE</b> Vinnarna för åren 2020 & 2021 presenterar sina examensarbeten
12:40 – 13:40	<b>LUNCH - serveras i utställningen</b>

## EFTERMIDDAG

13:45 – 14:15	<b>SESSION 3 – BEFO MEDLEY</b> <i>Moderator: Karl-Johan Loorents, Trafikverket</i>  Korta presentationer av forskningsprojekt inom BeFo
14:15 – 15:05	<b>SESSION 4 – DESIGN OCH ANALYS I</b> <i>Moderatorer: Johan Bergström, LKAB &amp; Pia Hansson, Tyréns</i>  <b>Implementering av 2:a generationen av Eurokod inom bergbyggande</b> Catrin Edelbro, Itasca Consultants; Beatrice Lindström, Hard Rock Engineering  <b>Bergmekaniska 3D-analyser för luftutbytesstationer med schakt i Förbifarten, Lovön</b> Mattias Sjölander, Itasca Consultants; Ulf Lindfors, Itasca Consultants
15:05 – 15:35	<b>Eftermiddagskaffe - serveras i utställningen</b>
15:35 – 16:45	<b>SESSION 4 - DESIGN OCH ANALYS II</b> <i>Moderator: Lina Oskarsson, LKAB</i>  <b>Ultraljudsmetod för mätning av belastning på bergbultar</b> Anton Jansson, Luleå tekniska universitet  <b>Bergmekaniska analyser och produktionsuppföljning för västlänkens korsande av Götatunneln</b> Mattias Sjölander, Itasca Consultants; Bernhard Gervide-Eckel, Norconsult  <b>Tunnel på tvärsen – Stockholms framtida avloppsledning</b> Siri Knape Hansén, Ramboll Sverige Mikael Bergman, Ramboll Sverige
16:45	<b>VAL AV DAGENS BÄSTA FÖREDRAG</b> Patrik Vidstrand, Forskningsdirektör, BeFo
16:50	<b>AVSLUTNING</b> Patrik Vidstrand, Forskningsdirektör, BeFo

## KVÄLL

17:00 – 19:30	<b>MINGELMIDDAG - serveras i utställningen</b>
---------------	--

## ARRANGÖRER



**SVENSKA BERGTEKNIKFÖRENINGEN**

Swedish Rock Engineering Association

Bergteknikdagen 65 år



## PARTERFÖRETAG



### SAMMANFATTNINGAR AV FÖREDRAG

#### SESSION 1: INJEKTERING

**Moderator:** Johan Funehag, Luleå tekniska universitet/Tyréns

#### **KONTROLLHÅL – I TÄTAD ZON ELLER INNANFÖR TUNNELNS KONTUR**

#### **CONTROL HOLES – IN THE GROUTED ZONE OR INSIDE THE TUNNEL CONTOUR**

*Lisa Hernqvist, Trafikverket*

*Christian Andersson-Höök, Sweco*

*Nhung Le, Sweco*

En metod för att kontrollera erhållen täthet under pågående injektering är att borra kontrollhål. Kontrollhålen testas genom vattenförlustmätning varefter beslut tas om ytterligare injektering ska utföras eller om det är dags för berguttag. Två varianter av kontrollhålsgeometri är att antingen borra kontrollhål i den tätade zonen (kz) med liknande stick som injekteringshålen, eller att borra kontrollhålen innanför tunnelkontur (kt) (vilket ger produktionsfördelen att ett torrt kt-hål inte behöver tätas före nästa salva). Tanken är att kz ger en approximation av den injekterade zonen täthet, medan kt säger något om hur väl den injekterade zonen skyddar mot att vatten tränger in genom denna till området för den blivande tunneln. Denna artikel presenterar en analys av data från 20 injekterings-skärmar i arbetstunnlar i Västlänken, där kontroll skedde med både kz och kt under en testperiod i avsikt att fungera som beslutsunderlag för val av kontrollhålsgeometri. Dels har fördelningen av kontrollhålen vattenförluster uppmätta i kz- respektive kt-hål jämförts skärm för skärm. Dels har korrelationen mellan

närliggande kontrollhålspar analyserats. Resonemang förs om konceptuella skillnader mellan de två varianterna.

---

## **UTVECKLING MOT DIGITAL ÖVERVAKNING AV CEMENTBASERADE INJEKTERINGSMEDELS REOLOGI MED ULTRALJUD TOWARDS DIGITAL MONITORING OF CEMENT GROUT RHEOLOGY WITH ULTRASOUND**

*John Shamu, Incipientus*

*Ulf Håkansson, Skanska Sweden*

De komplexa reologiska egenskaperna hos cementbaserade injekteringsmedel testas och kvalitetssäkras ofta med enkla empiriska metoder som till exempel Marsh-kon. Sådana metoder har ofta nackdelar eftersom de förlitar sig på manuell provtagning och ger en enda uppskattning av viskositet vid en viss tidpunkt istället för fullständiga reologiska flödeskurvor under en hela medlets livslängd. Genomförda FoU-studier har under en längre period presenterat ett reometriskt system baserat på mätning av hastighetsprofiler med ultraljud, dvs UVP +PD, som en lämplig metod för att digitalt mäta injekteringsmedels reologi i realtid. För att vidareutveckla och implementera UVP+PD-tekniken behöver några problem fortfarande lösas och för att adressera dessa presenterar vi en första systematisk studie av reologiska mätningar som utförts på typiska cementbaserade injekteringsmedel. Vi visar de reologiska mätningarna av cementbaserade injekteringsmedel vid olika vct-förhållanden och inom ett valt och relevant intervall av flödes hastigheter. Våra nuvarande resultat visar att UVP+PD kan användas vid injektering i fält för kvalitetssäkring i realtid eftersom det kan skilja mellan olika injekteringsblandningar. Framtida injekteringsapplikationer kan verkligen dra nytta av digitala verktyg som UVP + PD.

---

## **SESSION 2 - FÖRUNDERSÖKNINGAR & DATAHANTERING**

**Moderator:** Marie von Matérn/WSP

### **KOMPLETT MODELL FÖR BERÄKNING AV BERGÖVERYTA MED TILLHÖRANDE OSÄKERHETS NIVÅER**

#### **COMPLETE CALCULATION OF BEDROCK MODEL INCLUDING ASSOCIATED UNCERTAINTIES**

*Mats Svensson, Tyréns*

*Olof Friberg, Tyréns*

Osäkerhet skapar otrygghet. Konstanta osäkerheter inför bergbyggnad är bergnivå och bergets fysikaliska egenskaper. Osäkerheter och otrygghet kostar pengar och försvårar planering.

I det pågående FoI-projektet "Osäkerhetsmodeller - för optimal resursanvändning i infrastrukturprojekt" har en modell för beräkning av bergmodell i 3D med tillhörande osäkerhetsmodell utvecklats. Beräkningsmodellen har verifierats mot framschaktade och inmätta bergytor i bla Varbergstunneln och Väg E20 Bälinge-Vårgårda.

Beräkningsmodellen baseras på data från Jb-sondering, berg-i-dagen-inmätningar och geofysik. Samtliga använda data ansätts en egen individuell osäkerhet, vilka beräkningsmodellen utnyttjar för beräkning av osäkerhetsmodellen för den totala ytan. Framräknade osäkerheter över aktuell yta visualiseras med en färgskala som draperas som en osäkerhetskarta på den framtagna bergmodellen.

I artikeln redovisas de fem genomförda pilotprojekten. Samstämmigheten mellan beräknad bergmodell och inmätta bergytta är generellt sett god. Osäkerhetsmodellerna anger störst

osäkerheter där det vid jämförelsen mellan beräknad bergmodell och verklig inmätt bergyta också är störst avvikelse.

Slutsatsen är att den framtagna beräkningsmodellen är direkt användbar i projekteringsarbetet i bergprojekt för optimering av undersökningsprogram och som beslutsstöd i allmänhet. Med i byggskedet tillkommande data kan den projekterade bergmodellen successivt uppdateras. Därför föreslås beräkningsmodellen användas även i byggskedet för ökat värdeskapande. Det framtagna konceptet förväntas förtydliga risk- och kostnadsfördelning vid kontraktsskrivande, samt reducera antalet tvister.

---

## **BEARBETNING OCH VISUALISERING AV MWD-DATA VID TUNNELBYGGANDE I KRISTALLIN BERGGRUND**

### **PROCESS AND VISUALISATION OF MWD DATA DURING HARD ROCK TUNNELLING**

*Louis Kingdom, AFRY (tidigare Golder Associates/WSP)*

Den glesa täckningen av markundersökningar före utbrytning av tunnlar resulterar ofta i extrapolering av lokala bergmassegenskaper över stora avstånd. För att hantera de risker som är förknippade med oförutsedda markförhållanden kan MWD-data användas för att förutsäga bergmassans kvalitet i takt med att utbrytning sker. Tolkning av sådan data är komplicerad på grund av både den stora mängden data och de ingenjörsmässiga variabler som sker under borrhning. I den här artikeln beskrivs den metodik som utvecklats för att hantera, filtrera och normalisera MWD-data från brytning av en järnvägstunnel i Sverige. På grund av den ökande efterfrågan på 3D-visualisering av övervakningsdata, tillsammans med andra strukturella och geometriska datamängder, har visuell programmering i Grasshopper använts för att förbättra det sätt på vilket bearbetad MWD-data presenteras. Projektet är pågående, och därför är kontinuerlig utveckling av den här arbetsprocessen viktig för att förbättra prognoser för bergsmassan och design av förstärkningsåtgärder.

---

## **EPISYENIT: ERFARENHETER FRÅN E4 FÖRBIFART STOCKHOLM-PROJEKTET**

### **EPISYENITE - EXPERIENCES FROM E4 STOCKHOLM BYPASS**

*Felix Makowsky, Sigma Civil Öst (tidigare AFRY)*

*Mathilda Nyzell, Bergab*

*Thomas Dalmalm, Trafikverket*

I Stockholmsområdet har flera större tunnelprojekt på senare tid stött på en särskild typ av omvandlad bergmassa med byggtekniskt utmanande egenskaper. När berget undersökts närmare har det visat sig vara en kvartsurlakad granitoid, även kallad episyenit. Episyenit är en porös bergart med kapacitet att föra stora mängder vatten, särskilt där bergmassan även genomgått spröd deformation. Tunneldrivning genom episyenitomvandlat berg har på vissa ställen orsakat problem med bland annat inläckage och vidhäftning av sprutbetong, vilket försvårar produktionen och sänker drivningstakten. Har episyeniten stor utbredning och fungerar som en vattenledare kan den vara svår att täta med konventionella tätningmetoder. En tätningmetodik där större injekteringsvolymmer tillåts och episyeniten omringas av injektering har i detta fall visat sig vara en framgångsrik metodik. De exakta mekanismerna bakom bildandet av episyenit är idag inte helt fastställda men baserat på nuvarande förståelse och observationer i Stockholmsområdet kan vissa antaganden göras gällande utbredning och karaktär. För att kunna ta fram de ytterligare verktyg vi behöver för att hantera episyenit, som ur vissa avseenden skiljer sig från berg vi är vana att bygga tunnel i, krävs dock vidare undersökningar inom geologi, hydrogeologi, geofysik och injektering.

---

### **SESSION 3 - BeFo MEDLEY**

**Moderator:** Karl-Johan Loorents, Trafikverket

Ett urval av forskningsprojekt presenteras. Sammanfattningarna av forskningsprojekten finns tillgängliga i konferensappen Ventla.

---

### **SESSION 4 - DESIGN & ANALYS I**

**Moderator:** Johan Bergström, LKAB

#### **IMPLEMENTERING AV 2:A GENERATIONEN AV EUROKOD INOM BERGBYGGANDE IMPLEMENTATION OF THE 2ND GENERATION OF EUROCODE IN DESIGN OF ROCK STRUCTURES**

*Catrin Edelbro, Itasca Consultants*

*Beatrice Lindström, Hard Rock Engineering*

*Johan Spross, KTH*

*Gunilla Franzén, GeoVerkstan*

I november 2020 publicerades de första kompletta utkasterna till 2:a generationen av Eurokod inom geoteknikområdet (EN 1997-1, EN 1997-2 samt EN 1997-3). Dessa reviderade europastandarder förväntas vara implementerad i branschen år 2026. Denna artikel belyser det pågående arbetet inom Implementeringskommissionen för Europastandarder inom Geotekniken (IEG 2.0). Indelning i delområden som IEG 2.0 valt att fokusera på och etablering av arbetsformer för dessa områden presenteras. Inom varje delområde genomförs olika typer av projekt med syfte att bidra till en fungerande och kommunicerad standard i branschen. Konkreta exempel på projekt som pågår och som fångar upp de förändringar som blir med den nya generationen beskrivs. Vidare presenteras projekt som berör nya definitioner och beskrivningar som bedömts ha en stor nationell påverkan på bergbranschen. Under 2021 utförs i huvudsak projekt som berör grundläggande frågeställningar. Projekt som berör tillämpning och samordning kommer framför allt starta under början av 2022.

---

#### **BERGMEKANISKA 3D-ANALYSER FÖR LUFTUTBYTESSTATIONER MED SCHAKT I FÖRBIFARTEN, LOVÖN**

#### **NUMERICAL ANALYSIS IN 3D FOR ROCK MECHANICS IN AIR EXCHANGE STATIONS WITH SHAFTS IN E4 THE STOCKHOLM BYPASS, LOVÖN**

*Sara Suikki, Itasca Consultants (tidigare AFRY)*

*Mattias Sjölander, Itasca Consultants (tidigare AFRY)*

*Ivan Edeblom, AFRY*

*Ulf Lindfors, Itasca Consultants (tidigare AFRY)*

*Björn Stille, AECOM*

I delprojekt Lovön i Förbifart Stockholm har åtta luftutbytesstationer projekterats. Luftutbytesstationerna varierar i spännvidd mellan 22 – 35 m och kommer vara belägna på platser med mellan 40 – 100 m bergtäckning. Anläggningarna en komplicerad geometri, framförallt på grund av dess korsning med projektets huvudtunnlar, en takhöjning för traverser samt ett anslutet vertikalschakt.

Framtagandet av luftutbytesstationernas förstärkningslösningar har gjorts genom 3D-numerisk modellering i FLAC3D samt analytiska beräkningar. I beräkningarna har förstärkning i form

av bultar och sprutbetongbågar analyserats. Med hjälp av analysernas resultat har förstärkningsklasser ner till  $Q = 0,05$  tagits fram. I läge för varje vertikalschakt har även kärnborrhål borrats för att optimera luftutbytesstationernas läge.

De numeriska beräkningarna har genomförts i två skeden, innan och efter utförd bergspänningsmätning på Lovön. De initialt utförda analyserna påvisade att förstärkningens kapacitet i sämre berg starkt påverkades av bergspänningarnas storlek. Därmed gjordes en bergspänningsmätning i närområdet och det konstaterades att bergspänningarna var betydligt lägre än tidigare antaget på det aktuella djupet. De nya analyserna som efterföljde ledde till en minskning i luftutbytesstationernas förstärkningsbehov.

Under hösten 2020 påbörjades uttagen av de första luftutbytesstationerna på Lovön och är i dagsläget ett pågående arbete. Resultatet från det utförda arbetet samt en jämförelse mot beräkningsresultaten presenteras.

---

## **SESSION 4 - DESIGN & ANALYS I**

**Moderator:** Miriam Isaksson Mettäväinö, AFRY

### **ULTRALJUDSMETOD FÖR MÄTNING AV BELASTNING PÅ BERGBULTARULTRASOUND**

#### **METHOD FOR MEASUREMENT OF LOAD ON ROCK BOLTS**

*Johan E. Carlson, Luleå tekniska universitet*

*Anton Jansson, Swerim*

Inom både gruvindustri och infrastrukturprojekt är tillståndskontroll av bergbultar av stort intresse. Det finns dedikerade mätbultar som kan installeras för att detektera och följa förändringar över tid. Det finns även metoder för att kontrollera ingjutningen av bultar vid installation. Däremot saknas idag mätmetoder för att följa tillståndet hos generiska bergbultar över tid, eller för att detektera avvikelser bland sedan tidigare installerade bultar. I detta projekt utvecklas en metod baserad på ultraljud för att följa förändringar i mekaniska egenskaper över tid och för att kunna detektera avvikande bultar i en population av redan installerade bultar. Metoden bygger på en kort ultraljudspuls skickas in i bulten från den fria änden och att en reflekterat ljud från hela bultens längd samlas. Detta fingeravtryck av bulten kan sedan jämföras emellan bultar eller följas för en enskild bult över tid. För att demonstrera principen visar vi hur uppmätta ultraljudssignaturer kan användas för att modellera hela dragprovskurvan (kraft mot töjning), från vila till brottgräns för en ca 3 meter lång dynamisk bergbult.

---

### **BERGMEKANISKA ANALYSER OCH PRODUKTIONSUPPFÖLJNING FÖR VÄSTLÄNKENS KORSANDE AV GÖTATUNNELN**

#### **ROCK MECHANICAL ANALYSIS AND PRODUCTION FOLLOW-UP FOR CROSSING AREA BETWEEN VÄSTLÄNKEN AND GÖTATUNNELN**

*Sara Suikki, Itasca Consultants (tidigare AFRY)*

*Mattias Sjölander, Itasca Consultants (tidigare AFRY)*

*Ivan Edeblom, AFRY*

*Bernhard Gervide-Eckel, Norconsult*

*Sid Patel, Norconsult*

Vid Götatunnelns norra påslag ska Västlänkens etapp Kvarnberget passera ovanpå den

befintliga Götatunnelns ena tunnelrör. I och med passagen behöver en stor del av Götatunnelns befintliga tak fällas ner i tunneln och själva tunneln behöver breddas.

En projektering av detta utfördes under 2020 av AFRY och Norconsult och bergarbetena i området påbörjades i början av 2021. En uppföljning av arbetets resultat görs löpande och jämförs med den projekterade lösningen.

Projekteringen för området har gjorts med hjälp av 3D-numeriska analyser i FLAC3D. En av de stora projekteringsutmaningarna var att kunna utföra de omfattande bergarbetena i det ena tunnelröret samtidigt som trafik skulle kunna passera oberört några meter bort i det andra tunnelröret. En annan utmaning var att effektivisera berguttaget och förstärkningsarbetet under stängningstiden för att möjliggöra utförandet på den bestämda tidplanen. Analyserna syftade även till att studera hur Västlänkens last samt avsmalningen av pelaren mellan tunnelrören påverkar bergets stabilitet i området och att bedöma förstärkningsbehovet.

Områdets höga krav på små rörelser och låga vibrationer som begränsas av det intilliggande tunnelröret samt stadsmiljön påverkade även uttagsmetoden rent bergtekniskt. För att genomföra arbetet har takfällning och tunnelbreddning utförts med hjälp av vajersågning och spräckning som har detaljplanerats och följts upp tillsammans med entreprenören.

---

## **TUNNEL PÅ TVÄRSEN BYGGS – STOCKHOLMS FRAMTIDA AVLOPPSLEDNING**

### **TUNNEL ACROSS IS BEING BUILT – STOCKHOLM'S FUTURE SEWAGELINE**

*Siri Knape Hansén, Ramboll Sverige*

*Mikael Bergman, Ramboll Sverige*

*Anna Buder, Ramboll Sverige*

*Stefan Eklund, Ramboll Sverige AB*

Ramboll är delaktig i Stockholms största miljöinsats, nämligen Stockholms framtida avloppsrening. Ramboll har specifikt projekterat bergtunneln i SFAL projektet åt Stockholm vatten och avfall (SVOA) och är delaktiga under byggskedet som teknikstöd och med geologisk kartering.

En 15 km lång bergtunnel som sträcker sig tvärs över Stockholm från Åkeshov via passage under Mälaren vidare till Sickla håller på att byggas nu från 2020 till 2024. Tunneln drivs konventionellt och kommer att förses med ett antal vertikalschakt och anslutningar till befintligt VA-nät. Projekteringen har varit utmanande då åtskilliga tunnlar korsas och passagen under Mälaren är lång (500 m). Ytterligare utmaningar har varit att identifiera fem påslagslägen i en storstadsmiljö, samordna med utbyggnaden av nya tunnelbanan vid Gullmarsplan och befintliga anläggningar vid tex Liljeholmen.

En av de tekniska utmaningarna är passagen under Mälaren. Förundersökningar såsom geofysik, geoteknik och kärnbörning har gett information till projektörerna som har designat en lining av den undersjöiska passagen. Vid kärnbörning påträffades stora kärnförluster och självupplösande mineral (i kontakt med vatten) vilket indikerar att vi passerar en av Stockholms största svaghetszoner. Inom tio år har vi minst fyra undersjöiska tunnlar genom de stora öst-västrliga svaghetszonerna; Stockholm Förbifarts vägtunnel, Svenska kraftnäts ledningstunnel (TBM), FUTs tunnelbanelinje till Gullmarsplan och SFAL-tunneln.