

BERGMEKANIKDAGENS PROGRAM

21 MARS 2023

08.30 *Registrering*
Morgonkaffe & fralla

09.00 **Hälsningsanförande**
Patrik Vidstrand, Forskningsdirektör, BeFo

INBJUDEN GÄSTFÖRELÄSARE

Rock engineering in 21st century mining

– a practitioner's perspective

Dr. Véronique Falmagne, Agnico Eagle Mines Ltd., Quebec, Canada

SESSION 1 - TÄTNING OCH OMGIVNINGSPÅVERKAN

Moderator: Lena Sultan, Trafikverket

Optimization of procedures for rock mass grouting in tunnelling

Helene Strømsvik, SINTEF Community

10.25 *FM kaffe*

Efterinjektering – gör det egentligen någon nytta?

Erfarenheter från delprojekt Korsvägen, Västlänken

Johan Thörn, Bergab

Magnus Zetterlund, Norconsult

Typinjekteringskoncept "Södermalm"

Jekaterina Jonsson, Region Stockholm, FUT

Richard Lindholm, Region Stockholm, FUT

PRESENTATION AV BÄSTA EXAMENSARBETET

Moderator: Fredrik Johansson, KTH

11.50 *Lunch*

13.00 **BEFO-MEDLEY**

Moderator: Karl-Johan Loorents, Trafikverket

Presentationer av BeFo-projekt i urval

SESSION 2 - BRYTNING NÄRA YTAN

Moderator: Matthias Wimmer, LKAB

Gränssnitt mellan jord och berg säkras med autogenererad modell

Johanna Nilsson, Region Stockholm, FUT

Ulf Brising, Region Stockholm, FUT

Process från förundersökning till utfört bergarbete i Episyenit

Catrin Edelbro, Itasca Consultants AB

Christer Andersson, Sweco

Tunnelbaneutbyggnaden Södermalm – geologens perspektiv och erfarenheter från byggskedet

Sofie Eskilander, Region Stockholm, FUT

14.35 *EM kaffe*

15.05 **Västlänken – passage med låg bergtäckning under brostöd och E6**

Märit Berglind-Eriksson, Sweco

SESSION 3 - BRYTNING PÅ DJUPET

Moderator: Lars Rosén, Chalmers

Alternativ för fortsatt brytning i Kiirunavaara gruva

Mikael Svartsjaern, Itasca Consultants AB

Från skadekartering till skadeförutsägelse i bergmassor med varierande geologi och spänningsförhållanden

Tristan Jones, LKAB

16.15 *Bensträckare*

16.20 **Utveckling av brytningsmetoden "Raise Caving" i LKAB:s gruvor**

Thomas Wettainen, LKAB

"Hollow bar" och flytande resin – hur svårt kan det vara?

Edwin Fjellner, Boliden

Peder Hallén, Boliden

UTDELNING AV PRIS TILL DAGENS BÄSTA PRESENTATION

17.00 ca Avslutning

17.00 - *Kvällsmingel*
19.30 Restaurang Cirkus

ARRANGÖR



PARTERFÖRETAG



SAMMANFATTNINGAR AV FÖREDRAGEN

SESSION 1 - TÄTNING OCH OMGIVNINGSPÅVERKAN

OPTIMERING AV TILLVÄGÅGNSSÄTT FÖR BERGINJEKTERING I TUNNEL

OPTIMIZATION OF PROCEDURES FOR ROCK MASS GROUTING IN TUNNELLING

Helene Strømsvik, SINTEF Community
Eivind Grøv, SINTEF Community

Förinjektering av bergmassa för att reducera inläckande vatten i tunneln är en viktig del av tunneldrivningen i urbana miljöer i både Norge och Sverige. Väl genomförd förinjektering är en förutsättning för omgivningshänsyn, samt har betydande påverkan på projektets resursanvändning, drivtid och totalkostnader. De geologiska förhållandena och utmaningarna mellan Norge och Sverige är relativt lika, trots det är det betydande skillnader på utförande av injektering och speciellt gällande stoppkriterier. I Norge är det primära stoppkriteriet knutet mot att uppnå ett angivet stående mottryck, medan i Sverige är det baserat på en angiven maxtid för injektering vid ett kontant angett tryck. Norge är känt för högt injekteringstryck, som ibland överstiger bergspänningarna. I Sverige används ett mer moderat tryck, med fokus på tid och mängd. Vad är mest effektivt med hänsyn på reducerad inläckage av vatten, resursanvändning, drivtid och totalkostnader? Det är en komplicerad frågeställning, som är svår att ge svar på. Det kan också vara projektspecifik, både till hänsyn på krav till uppnådd täthet och geologiska förutsättningar. Här presenteras ett objektiva perspektiv på möjliga negativa och positiva effekter av procedurerna, med speciell hänsyn på injekteringstryck och vilka metoder som kan användas för att bestämma fördelaktiga injekteringstryck.

EFTERINJEKTERING – GÖR DET EGENTLIGEN NÅGON NYTTA? ERFARENHETER FRÅN DELPROJEKT KORSVÄGEN, VÄSTLÄNKEN

POST GROUTING – DOES IT HAVE ANY USE? EXPERIENCES FROM SUB-PROJECT KORSVÄGEN, VÄSTLÄNKEN

Johan Thörn, Bergab
Magnus Zetterlund, Norconsult
Sofia Löseth, Bergab
Nhung Le, Tyrens

Efterinjektering utförs i de flesta tunnelprojekt. Detta trots att tunnarna är kontinuerligt förinjekterade, så varför behövs det? När efterinjektering utförs, gör det egentligen någon nytta,

eller ”flyttar vi bara vatten”? Har vi andra skyddsåtgärder att tillgå? Utgående från dessa frågeställningar har utförda efterinjekteringar på delprojekt Korsvägen, Västlänken i Göteborg analyserats.

De delar som hanteras är beslutsprocess, underlag, genomförande och bedömd effekt av efterinjekteringar. Beslutsprocessen avser det som ligger till grund för att identifiera behovet av efterinjektering. Detta kan utgöras av en oönskad omgivningspåverkan, ett ökat inläckage eller av byggledningen identifierat lokalt läckage. Efter att behovet identifierats tas underlag fram för att bedöma de geologiska och hydrogeologiska förutsättningarna och inte minst bedöma varför förinjektering inte lyckats. Här övervägs även andra skyddsåtgärder såsom infiltration. Genomförandet avser design av injekteringsutförande samt själva utförandet av borrhning och injektering. Efter utförd efterinjektering görs en bedömning av uppnådd effekt. Erfarenheterna från delprojekt Korsvägen visar att effekten varierar och i artikeln diskuteras i vilka situationer en större effekt uppnås och i vilka situationer som en lägre effekt uppnås.

TYPINJEKTERINGSKONCEPT ”SÖDERMALM”

TYPICAL GROUTING SOLUTION ”SÖDERMALM”

*Jekaterina Jonsson, på uppdrag av FUT
Richard Lindholm, på uppdrag av FUT*

Bygghandlingarna för Nya tunnelbanan innefattar ett typinjekteringskoncept för hela sträckan Akalla-Barkarby i norr, Arenastaden och Södermalm-Söderort-Nacka längst i söder. Förutom den geografiska variationen finns även olika förutsättningar med krav på inträngande grundvatten och omgivningens känslighet för grundvattenavsänkning. Inom delen Södermalm station Sofia byggs tunnlar på 70-100 m djup under tätbebyggt område med känslig grundläggning och förhållandevis högre krav på täthet med villkor för både bygg- och drifttid.

Tidigt i projektet noterades att föreskrivet volymskriterium troligen var för snävt. Den iakttagelsen gjordes vid en oavsiktlig förväxling mellan stoppkriterier som föreskrivits för två olika förhållanden - en specifik injekteringslösning för zonberg tillämpats i förhållanden med normalberg. Volymskriteriet för den specifika lösningen var 10 gånger högre än för typinjekteringskoncept. Därefter utvecklades ett reviderat injekteringskoncept baserat på observationer vid borrhning, antal sambandshål, injekteringsbruksåtgång, analys av injekteringsförloppet, uppmätta inläckage i tunneln och statistik över tidigare utförd injektering för att precisera geologiska förutsättningar och anpassa tätningsinsatsen.

Nya stoppkriterier, villkor för bruksblandningsbyte och kriterier för kompletteringar har arbetats fram, vilket resulterat i förbättrad tätningseffekt trots färre kompletterande omgångar.

Typinjekteringskoncept anpassat för geologiska förhållanden för tunnelbanan del Södermalm station Sofia medförde en positiv trend för mängden inträngande grundvatten och en besparing av extra borrhnings-/injekteringsuppställ mot det ursprungliga typinjekteringskonceptet.

BeFo Medley

VARNING BERGRAS

Johan Carlsson, Ltu

Det saknas idag metoder för att utföra tillståndskontroll på redan installerade bergbultar samt för övervakning av förändringar i bultars funktion (dvs. lastupptagning) över tid.

Konsekvensen blir att äldre installationer av bergbultar antingen måste klassas utefter en okulär besiktning där endast synbara förändringar ligger till grund för statusbedömning, eller också måste samtliga bultar klassas som undermåliga. Detta innebär antingen en risk för

missbedömningar, eller mycket stora kostnader för att ersätta bultarna. I projektet har en metod baserad på maskininlärning utvecklats och utvärderats, för att bestämma last och töjning på bultar utifrån uppmätta ultraljudssignaturer. Metoden har utvärderats i labb och en prototyp har funktionstestats i fält.

TINGELING SPILING

Catrin Edelbro, Itasca Consultants AB

När bergets bärförmåga är otillräcklig på grund av dålig bergkvalitet, omfattande svaghetszoner, osv. kan en anpassad och omfattande förstärkningslösning med spiling (längre rör, stag eller bult) utformas för att säkra produktion, arbetsmiljö, omgivning och färdig tunnel. Det finns idag inga tydliga sammanställda råd, beräkningssätt eller anvisningar inom svenskt bergbyggnad för dimensionering av spiling trots att drivning genom komplexa passager innebär en stor kostnad. Internationellt finns heller ingen allmänt accepterad dimensioneringsprincip för spiling. Baserat på tidigare utförda samt pågående projekt där spiling använts har exempel på design och erfarenhet av temporär förstärkning med spiling sammanställts. Analytiska och numeriska designmetoder som används i svenska praktikfall presenteras, inklusive last- och elementarfall. Litteratur- och praktikfallsstudien har visat att det behövs en tydlighet angående nomenklatur och definition av vad som vi benämner som spiling. Baserat på förstudien har ett principiellt flödesschema som bör användas vid dimensionering av spiling tagits fram.

TIME AND COST ESTIMATION: TIME TO ACT!

Mohammad Mohammadi, KTH

Transport infrastructure projects, including tunneling, are often beset by significant delays and cost overruns. These issues have traditionally been attributed to deliberate misrepresentation and technical errors, with little consideration given to the role of uncertainty. To address this, probabilistic estimations can be utilized to better account for the impact of uncertainty. This PhD project aims to develop a probabilistic model that can effectively incorporate uncertainties in time and cost estimations for tunneling projects. The model takes into account various sources of uncertainty, such as geology, construction process, and disruptive events. The practical application of model is demonstrated through several case studies. The utilization of probabilistic time and cost estimation in transport infrastructure projects provides decision-makers in both client and contractor companies with a more comprehensive understanding of the risks involved in their decisions.

ATT SPRICKA, ELLER INTE SPRICKA, DET ÄR FRÅGAN

Erik Nordström, Vattenfall R&D

Krav på mycket långa livslängder (>100 år) för nya konstruktioner ställs idag och kunskapen om acceptabla sprickvidder i fiberarmerad sprutbetong har länge varit låg. 1997 startade därför ett fältexponeringsprojekt med sprucken stålfiberarmerad sprutbetong. 25 års exponering har gett en unik möjlighet att utvärdera förändringar i en miljö som till exempel motsvarar bergskärningar vid intag till vattenkraftverk eller trafikutrymmet för järnvägstunnlar.

Primärt fokus har varit att dokumentera eventuella förändringar av residualbärförmågan, fiberkorrosion, frostpåverkan och betongens kemi. Resultaten visar att fiberkorrosion förekommer även i miljön utan närvaro av klorider och residualbärförmågan har reducerats även vid måttliga sprickvidder. Sprutbetong utan sprickor uppvisar bara fiberkorrosion vid ytan. Slutsatsen blir därför att sprickbildning bör undvikas. Större fokus bör läggas på rimliga

krav på vattencementtal vilket ger lägre cementhalter och att säkerställa fullgod härdning för att minska sprickrisken. Lägre cementhalter ger också ett förbättrat klimatavtryck.

NUMERICAL MODELLING OF BLAST-INDUCED DAMAGE AROUND ROCK TUNNEL USING LS-DYNA

Carlota R. San Migue, Ltu

In Scandinavia, tunnels are mainly excavated by drilling and blasting. This investigation aims to predict the damage (in form of cracks) that occur in rock masses during tunnel excavation. The blasting process causes damage that affects stability, safety, water inflow, and costs. The project involves small-scale experiments to calibrate the LS-DYNA model for predicting blast-induced cracks. The experiments use non-contact visual techniques to capture crack growth in rock samples, and the focus is on blast design parameters, particularly the decoupling ratio. The equipment used includes an ultrahigh-speed camera and flicker-free LED lights, and the samples are prepared for digital image correlation. The calibration and testing of the equipment are carried out in a controlled laboratory environment. The results from the trials are promising, providing reliable data for further analysis. The goal is to optimize blast design and improve the contour blasting of tunnels through a systematic numerical study based on reliable experimental data.

ATT MODELLERA ÖPPNA BORRHÅL I SPRICKIGT BERG – VARFÖR SÅ SVÅRT?

Jan-Olof Selroos, SKB

I många praktiska tillämpningar såsom miljökonsekvensbeskrivningar vill man med hjälp av en numerisk modell visa att man förstår det hydrogeologiska systemet. För att påvisa modellens användbarhet jämför man ofta uppmätta trycknivåer i öppna borrhål med modellerade trycknivåer. I sprickigt berg visar sig detta ofta vara mycket utmanande. I vårt projekt studerar vi på ett pedagogiskt sätt varför detta är fallet, och hur man i olika typer av numeriska modeller kan hantera frågeställningen. För att förstå problematiken och se vad som är gjort tidigare genomför vi en litteraturstudie. Därefter genomför vi generiska beräkningsfall, med olika numeriska koder och olika grad av komplexitet, för att belysa problematiken och presentera lösningar. Slutligen omsätter vi de presenterade lösningarna i två fallstudier. Den första fallstudien använder data och etablerade platsmodeller från Station Haga, Västlänken medan den andra använder data och platsmodeller från platsen för det planerade slutförvaret för använt kärnbränsle i Forsmark, Östhammar.

SESSION 2 - BRYTNING NÄRA YTAN

GRÄNSSNITT MELLAN JORD OCH BERG SÄKRAS MED AUTOGENERERAD MODELL

INTERFACE BETWEEN SOIL AND ROCK ENSURED BY AUTO GENERATED MODEL

Jekaterina Jonsson, på uppdrag av FUT

Johanna Nilsson, på uppdrag av FUT

Ulf Brisning, på uppdrag av FUT

Gränssnittet mellan jord och berg är ofta den svaga länken där inträngning av grundvatten förekommer. Vid FUT:s projekt Sofia byggs en av världens djupaste tunnelbanestationer med access via ett hisschakt från Stigbergsparken. Områdets topografi är brant lutande bergyta - berg i dagen i norr till mer än 20m djupa jordlager i söder. Projektet ställs inför utmaningen att skapa en tät konstruktion med kontinuitet genom jord och berg i storstadsmiljö med sättningskänsliga grundkonstruktioner. Stödkonstruktionen består av en sekantpålevägg och tätningen av berget utförs

med ridåinjektering genom sekantpålar. För att kunna visualisera dessa komplexa förutsättningar och identifiera eventuella problem med tätningen, skapas en modell baserat på produktionsdatat. Datasammanställning förs i tabellform i ett Excel-ark och lagras i en dokumentportal. Uppdatering i portalen aviseras för vidare bearbetning med programvaran FME genom att autogenerera geometrier för stödkonstruktionen med en centrumlinje som ”ledstång”. Geometrierna formas och färgas utifrån geografiska och geologiska förutsättningar och märks med pålens ID. Viss kvalitetssäkring av indata finns inbyggt i FME-scriptet, exempelvis rimlighetskontroll av koordinatvärden. Arbetsmetodiken utvecklas med aggregering av data i modellen från förundersökningar, handskrivna protokoll, borrhologar och observationer från fältet för autogenerering med FME. Denna ”kommunikationslösa” modellering av komplexa geologiska/topografiska variationer möjliggör observation av tex otillräcklig tätningseffekt.

PROCESS FRÅN FÖRUNDERSÖKNING TILL UTFÖRT BERGARBETE I EPISYENIT

THE PROCESS FROM PRE-INVESTIGATION TO DESIGN AND EXCAVATION IN EPISYENITE

Catrin Edelbro, Itasca Consultants AB
Christer Andersson, Sweco Sverige AB
Shahin Shirzadegan, Ramboll

Vid detaljprojekteringen av tunnelbanesträckan Akalla-Barkarby identifierades 2015 den volym som senare kom att benämnas episyenitområdet. Episyeniten är en röd, fin- till medelkornig, spröd och hydrotermalt omvandlad bergart, där kvarts har urlakats vilket lett till mycket hög porositet. Eftersom det inom tunnelsidan i Sverige fanns begränsad erfarenhet av projektering och drivning genom denna ovanliga bergart utfördes ett omfattande projekteringsarbete.

En viktig del i arbetet var att identifiera kontroller och mätningar för byggskedet som skulle verifiera den konceptuella modellen. Artikeln beskriver inledningsvis det arbetssätt som använts för att projektera en teknisk lösning för en passage med stora geologiska osäkerheter. Ett klassiskt arbetssätt användes där projekteringen baserades på utformning av konceptuell modell, gradvis kompletterande undersökningar samt analytiska och numeriska analyser. De stora osäkerheter som identifierats i projekteringskedet, med hänsyn till geologi, strukturgeologi, bergkvalitet, och bergspänningar var till stora delar kvarstående i byggskedet år 2021.

Artikelns fokus kommer därför att ligga på det arbetssätt som utformades inom entreprenaden med syftet att optimera den projekterade lösningen. Beställare, entreprenör, granskare och projektör skapade en gemensam process för tät uppföljning och utvärdering av gjorda observationer. Genom denna process kunde den tekniska lösningen modifieras på ett mycket värdeskapande sätt.

TUNNELBANEUTBYGGNADEN SÖDERMALM – GEOLOGENS PERSPEKTIV OCH ERFARENHETER FRÅN BYGGSKEDET

EXTENSION OF METRO SOUTH SIDE OF STOCKHOLM – GEOLOGICAL ASPECTS AND EXPERIENCE DURING THE CONSTRUCTION

Sofie Eskilander, på uppdrag av FUT

Inom tunnelbaneutbyggnaden av Blå linjen från Kungsträdgården till Nacka och Söderort ingår Projekt Södermalm. Projekt Södermalm omfattar sträckan från station Kungsträdgården till station Hammarby kanal, samt ett ca 100 m djupt hisschakt i station Sofia. Geologerna är tillsammans med flera yrkesroller en del av teamet i bygget av tunnelbaneutbyggnaden. Föredraget kommer innehålla beskrivning av erfarenheter och nämna ett antal praktiska exempel.

Geologorganisationens grunduppdrag är att kartera frilagt berg, benämning av RMRbas och avrop av permanent förstärkning. En naturlig del under byggskedet är att geologerna anpassar sitt arbete och tar hänsyn till ständigt varierande spännvidder och geometrier (såsom stationer, hisschakt mm) i

anläggningen, samt ändringar av projekterade lösningar. Allt från tillägg av en pumpnisch till förlängning av lining. Förutsättningen för att geologernas jobb ska fungera är ett bra samarbete med projekteringsledare, projektör, byggledare, entreprenör, teknikstöd mfl.

Tunneldrivningen började 2020, i nuläget är berguttaget för Projekt Södermalm ca 40 %, två arbetstunnlar är klara och de tre huvudentreprenaderna är påbörjade. En översiktlig beskrivning av geologin, Kungsträdgården och Sofia (A-B = bra berg) medan Hammarby kanal (B-C = sämre berg). Projektets kommande utmaningar är bland annat tunneldrivning genom tre sjöpassager, dessa med varierande bergförhållanden, djup och förstärkningslösningar!

VÄSTLÄNKEN – PASSAGE MED LÅG BERGTÄCKNING UNDER BROSTÖD OCH E6

WEST LINK – PASSAGE WITH LOW ROCK COVER UNDER BRIDGE SUPPORT AND E6

Märit Berglind Eriksson, Sweco

Jonas Ivarsson, Sweco

Nhung Le, Tyrens

I projekt Västlänken pågår drivningen av dubbelspårstunneln söderut i Almedal mot påslaget. På en ca 50 m lång sträcka är det låg bergtäckning och passage under E6 och brostöd för E6. Bergtäckningen är mellan 4,5–5,5 m (2,2 m som lägst, ca 4,5 m under brostödet). Under brostödet fanns det enligt prognosen en ca 3,6 m bred svaghetszon. Sedan FU-projekteringen har ytterligare information erhållits och projekteringen har setts över.

Föredraget vill visa på svårigheten att projektera bergförstärkning när många osäkerheter föreligger. Vikten av tillräckliga undersökningar, vikten av känslighetsanalyser samt belysa att låga bergspänningar inte alltid är det rådande fallet vid låg bergtäckning. Vilken bergkvalitet och egenskaper på diskontinuiteter ska dimensioneringen utföras för, vilka bergspänningstillstånd och hur ska man hantera Q_{Bas} som SRF-korrigerats enligt Q-systemet när man projekterar förstärkning vid låg bergtäckning?

I FU-skedet hade en kraftig förstärkning projekterats med en bärande betonglining. Bergförstärkningen kunde med den tillkommande informationen minskas men betongliningen finns fortfarande kvar.

I nuläget har passagen under brostödet utförts och det visar sig att i stället för en sättning under brostödet som många förväntat sig så har en hävning på ca 6-7 mm uppstått. Hävningen är verifierad i tre olika mätningar, dubbar som sitter på brostödet, mätning av vertikaldeformation vid tre extensometrar installerade vid passagen av brostödet samt via InSAR.

SESSION 3 - BRYTNING PÅ DJUPET

ALTERNATIV FÖR FORTSATT BRYTNING I KIIRUNAVAARA GRUVA

OPTIONS FOR CONTINUED MINING AT THE KIIRUNAVAARA MINE

Mikael Svartsjaern, Itasca Consultants AB

Joel Andersson, Itasca Consultants AB

Theofanis Rentzelos, Itasca Consultants AB

Gurmeet Shekhar, LKAB

Mirjana Boskovic, LKAB

Erik Swedberg, LKAB

Jimmy Töyrä, LKAB

I maj 2020 skedde den största gruvinducerade seismiska händelsen i Sveriges historia vid LKAB:s skivrasgruva i Kiruna. Händelsen orsakade signifikanta skador längs flera hundra meter bergtunnlar och ortar. Efter händelsen har LKAB haft produktionsstopp i det berörda området benämnt block 22. Under 2020–2022 har två huvudsakliga åtgärdsplaner för området tagits fram. Åtgärdsplan 1 innebar att en temporär restpelare (mellanskiva) lämnades mellan nivå 1022 och 1079 m avv. Mellanskivan planerades att brytas upp och lastas ut som del av det återupptagna skivraset från nivå

1079 m avv. För att underlätta och styra uppbyggnaden av mellanskivan förlängdes befintliga produktionsortar in mot gruvans liggvägg på nivå 1079 m avv. Detta i syfte att öka nivåns fotavtryck samt att minska inspänningen läng mellanskivans mittlinje. Åtgärdsplan 2 innebär att malmbrytning i block 22 upphör och att området lämnas som en permanent pelare (barriärpelare) vilket delar Kirunagruvan i en nord- och syd-del. Barriärpelaren uppskattas få en utbredning på ca 600 (b) x 350 (h) m.

Denna artikel presenterar analysmetoderna och de bergmekaniska koncepten som legat till grund för de två åtgärdsplanerna.

FRÅN SKADEKARTERING TILL SKADEFÖRUTSÄGELSE I BERGMASSOR MED VARIERANDE GEOLOGI OCH SPÄNNINGSFÖRHÅLLANDE

FROM DAMAGE MAPPING TO DAMAGE PREDICTION IN VARIABLE GEOLOGIES AND ROCK STRESSES

Tristan H. Jones, LKAB

David Saiang, Luleå University of Technology

Empiriska analysmetoder representerar fortfarande ett av de mest kraftfulla verktyg som finns för att förstå beteendet hos tunnelkonstruktioner underjord. Detta gäller särskilt var bergarter med mycket olika kvaliteter ligga nära varandra. När dessa områden är i djupa, högt belastade områden och utsätts för mycket stora, inducerade spänningar, kan de resulterande skadorna på tunneln vara mycket svåra att förutsäga genom numerisk analys. Arbete som genomförts mellan LKAB och LTU, och delvis finansierat av BeFo, har utvecklat en ny metod för att förutse dessa skador.

I denna studie installerade instrumentering samlade in data om de brytningsinducerade spänningsförändringarna som påverkade tunnarna och den deformation som orsakas. Detta kompletterades med en noggrann skadekartering av tunneltak, golv och väggar. I kombination med kunskap om de geotekniska egenskaperna hos de olika geologierna i tunnarna var det möjligt att skapa ett verktyg för att förutsäga framtida skador på en tunnel beroende på geotekniska data och modellerade spänningar.

UTVECKLING AV BRYTNINGSMETODEN "RAISE CAVING" I LKAB:s GRUVOR

DEVELOPMENT OF RAISE CAVING MINING METHOD IN LKAB MINES

Tobias Ladinig, LKAB

Matthias Wimmer, LKAB

Michal Grynienko, LKAB

Thomas Wettainen, LKAB

Raise caving är en ny brytningsmetod som bygger på principerna om aktiv stresshantering och raise mining. I ett första steg, den s.k. avlastningsfasen, utvecklas ett system av långa slitsar som skiljs åt av massiva pelare vid kontakten med hängväggen. Syftet med slitsarna är att skapa spänningsskuggor för efterföljande storskalig mineralutvinning och syftet med pelarna är att kontrollera spänningar och seismicitet. I det andra steget, den så kallade produktionsfasen, påbörjas den storskaliga mineralutvinningen. Nödvändig produktionsinfrastruktur byggs ut med fördröjning i avlastat berg och malmen utvinns med hjälp av raise mining i en botten-uppsävs. Pelarna krossas så småningom på ett kontrollerat sätt och utvinns också. Hängväggen tillåts att falla ihop och fylla ut de utvunna tomrummen.

Syftet med raise caving är att möjliggöra säker och kostnadseffektiv massbrytning på stora djup. Därför utvecklar LKAB gruvmetoden raise caving. Förutom teoretiska studier planeras fullskaliga in-situ-tester av bergmekaniska aspekter och en nyutvecklad maskin. I denna artikel diskuteras raise caving-metoden och nyckelfrågor för metodens framgång kortfattat. Dessutom beskrivs det aktuella läget, framstegen och de tekniska landvinningarna i metodutvecklingen.

”HOLLOW BAR” OCH FLYTANDE RESIN – HUR SVÅRT KAN DET VARA?

HOLLOW BAR BOLT & PUMPABLE RESIN – HOW HARD CAN IT BE?

Edwin Fjellner, Boliden

Peder Hallén, Boliden

Patrik Hansson, Boliden

Anton Bergman, Boliden

Kelvis Pérez Hidalgo, Boliden

Robert Penczek, DSI Underground

Federico Scolari, DSI Underground

Marcus Svanberg, DSI Underground

Boliden har undersökt möjligheten att införa ”hollow-bar” bult med flytande resin som ingjutningsmedel i Renströmgruvan för att öka effektiviteten och kvaliteten vid bultning. Inför försöket var kravet att bulten skulle fungera som en direkt ersättning av nuvarande plastingjutna standardbult (kamstålsbult, stålqualität B500, ø20 mm, längd 270 cm) för att undvika förändringar och sammanblandningar med existerande förstärkningsplaner.

Vid de initiala labbtesterna och försöken år 2020 med en standard R25 ”hollow-bar” från DSI (ø25 mm diameter, 5% töjningskapacitet) framkom att brottlasten var tillräckligt bra och erforderlig förankringslängd var något längre än en standardbult. Deformationsförmågan var dock för låg.

Till fältförsöken 2022 levererade DSI en bult med modifierade stålegenskaper (Ductile R25, 15% töjningskapacitet) som i labbförsök vid NTNU uppvisade önskade deformationsegenskaper och styrka i samverkan med ingjutningen. Vid fältförsöken lyckades man inte upprepa resultaten och den önskade förankringslängden uppnåddes inte. Felsökning påbörjades och alternativa lösningar prövades.

Försöken visade att flera faktorer var viktiga för att uppnå önskad förankringslängd. För ersätta nuvarande standardbult krävdes minst 50 cm ingjutningslängd för ”hollow-bar” och därför kunde en 290 cm lång bult användas.

Detta föredrag beskriver de undersökningar, förändringar och lärdomar som gjordes i samband med dessa försök, bl.a avseende erforderlig förankringslängd, brinntid, temperaturens påverkan, inställningar osv.
