

# **SVENSK BERGMEKANIKDAG 50 ÅR - EN HISTORISK TILLBAKABLICK**

## **50 Years of Swedish Rock Mechanics Day- a Historical Review**

*Ove Stephansson, Stephansson Rock Consultant, Berlin and GFZ German Research Centre for Geosciences, Potsdam*

### **Sammanfattning**

1960-talet var en brytningstid då bergmekanik blev en egen etablerad vetenskap och då International Society of Rock Mechanics, ISRM bildades 1962, Sverige höll sin första Bergmekanikdag 1965 i IVA:s regi och då den första ISRM-kongressen hölls i Lissabon 1966. Ett personligt urval av några bidrag till bergmekanikdagarna de första 30 åren lämnas och några historiska tillbakablickar presenteras. Vid en jämförelse av rapporterna till BM-dagen förr och nu finner man att teoretiska ansatser och lösningar av bergmekaniska problem har ersatts av modellering med dator, fält- och laboratorieundersökningar har tillförts avancerade mät- och registreringsutrustningar och presentationsmetodiken och publiceringen av resultaten har hela tiden förbättrats. Från och med denna årgång av BM-dagen 2016 pekar allt mot att innehållet presenteras och distribueras elektroniskt, att äldre årgångar blir tillgängliga elektroniskt och att publiceringen på sikt sker på engelska för att nå en internationell publik.

### **Summary**

During the 1960s Rock Mechanic became an own, independent branch of science and the International Society for Rock Mechanics, ISRM was established in 1962, the first Swedish Rock Mechanics Day was held in 1965 and the first ISRM Congress was held in Lisbon in 1966. A personal selection of contributions to the Swedish RM-Day from the first 30 years are commented. A comparison of the content at the start in 1965 and to-day shows that theoretical analyses and computation are replaced by mathematical modelling, field- and laboratory experiments have excess to and use advanced recording equipment and the way of publishing the results has improved.

### **Så började det - de första 10 åren mellan 1965 och 1974**

Sverige har en mycket lång tradition att falla tillbaka på när det gäller kunskapen om bergets mekaniska egenskaper och dess tillämpning på dimensionering, brytning och kontroll av bergrum och tunnlar, särskilt för det hårda och stabila granitiska berget. Kunskaperna var under lång tid empiriska och dimensioneringen och bergbrytningen skedde på empirisk väg och grundade sig på lång yrkesskicklighet och tradition. Under 1960-talets början skedde en brytning med det gamla och kraven på exaktare dimensioneringsmetoder ökade och de datorbaserade metoderna började att tillämpas för dimensionering av konstruktioner i berg både inom anläggningssektorn och gruvindustrin. Undervisning i bergmekanik hade tagit sin början vid Institutionen för gruvbrytning vid KTH under ledning av Professorn i gruvbrytning och gruvmätning Ingvar Janelid. Vidare skedde viss undervisning vid de byggnadstekniska och vattentekniska institutionerna vid de tekniska högskolorna.

Kunskaperna om bergmekanik och dess tillämpning inom gruv- och anläggningssektorn vid den aktuella tiden kom till stor del genom anställning och inflyttning av personer med bergteknisk och bergmekanisk utbildning och kunskap från de centraleuropeiska alpländerna, för att här nämna namnen på några av de mest färgstarka Hans Helfrich, Norbert Krauland,

Imre Hansagi, Rudolf Hiltcher, Rudolf Kvapil som alla hade kunskaper inom the tekniskt geologiska och gruvtekniska områdena. Åren kring början av 60-talet var tiden mogen att organisera det internationella intresset för bergmekanik och dess tillämpningar. Under en lång tid var personer och organisationer från alpländerna de mest pådrivande inom organisationsarbetet att samla och forma en internationell organisation som kunde stå i spetsen för att samla intressenterna inom bergmekanik. Den drivande kraften i det arbetet var Professor Leopold Müller från Salzburg i Österrike och 1962 bildades International Society for Rock Mechanics, ISRM och Müller blev vald till ISRM:s första president och verkade mellan åren 1962-1964. Sverige deltog aktivt i arbetet med att bilda ISRM och det arbetet drevs av personer i nära kontakt med Ingenjörsvetenskapsakademin, IVA.

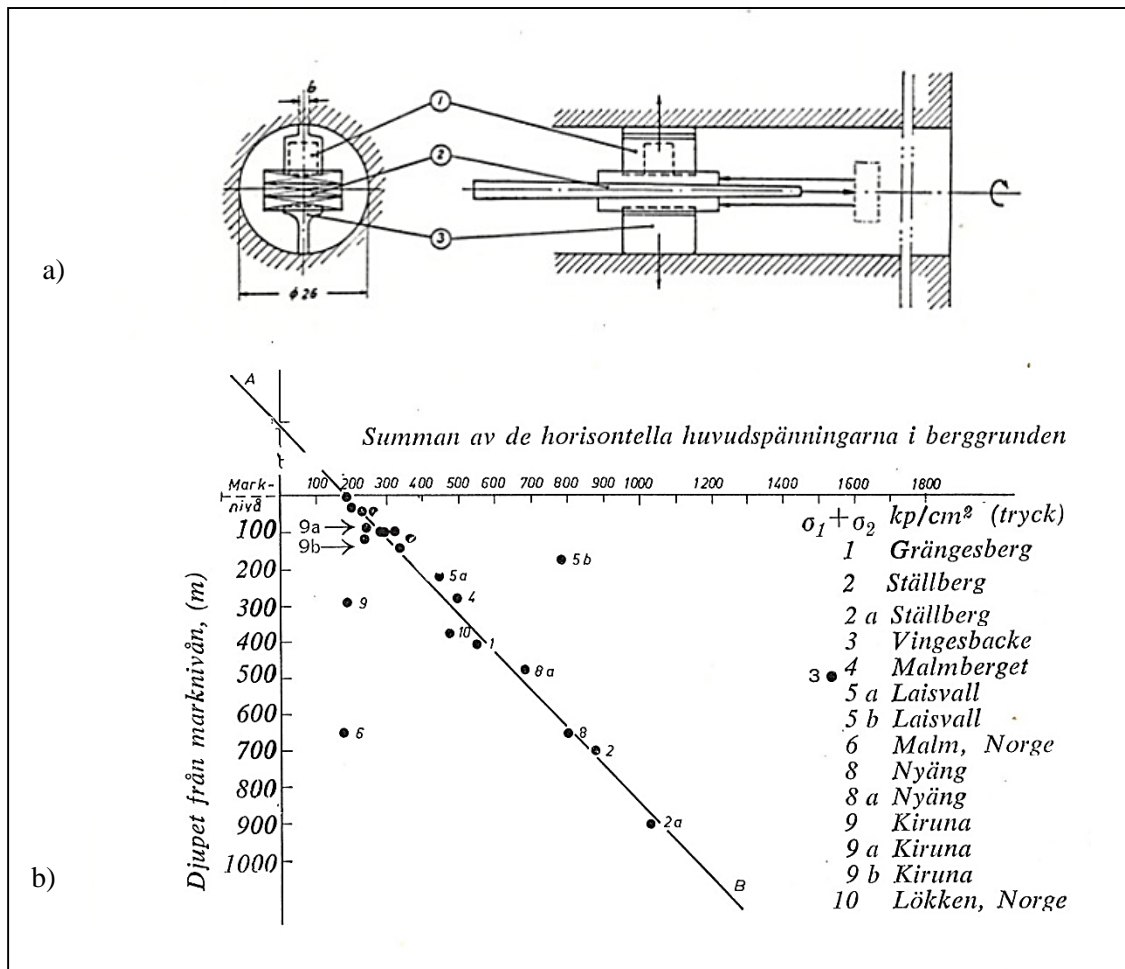
Det ökade intresset för bergmekanik i världen och i synnerhet i Sverige ledde till att IVA:s preses Sven Brohult tillsammans med Professor Ingvar Janelid vid KTH arrangerade IVA:s bergmekanikdagar den 4-5 februari 1965. Detta kom att bli startskottet för arrangemanget med årliga Bergmekanikdagen här i Sverige. Alltsedan 1965 och fram till idag har the årligen arrangerats en Bergmekanikdag med undantag för år 1966. Om man fyller ut det tomrummet med en bergmekanikdag så innebär det att år 2016 har det arrangerats 50 stycken bergmekanikdagar och därför firas detta jubileum med 50 Bergmekanikdagar just i år.

Publikationen från Bergmekanikdagen 1965 (IVA Meddelanden 142, 1965) innehåller en rad intressanta artiklar av de bergmekaniker och geologer som var mest tongivande den tiden. Professor Nils Hast presenterar sin överborrningsteknik - som han var upphovsman till - samt en sammanställning av resultaten som visar ett överskott på horisontella spänningar i de allra översta delarna av jordskorpan i de gamla sköldområdena, ett resultat som ledde till en stor vetenskaplig debatt, Figur 2. Hans resultat har senare kunnat beläggas i i flera sköldområden med hårda bergarter av hög ålder. Professor N Hast's mätmetod och tolkningen av resultaten ledde till en hög aktivitet inom bergspänningsmätningar och i IVA-publikationen redovisas flera artiklar med förslag till nya mätmetoder. Bidraget av Sten G A Bergman handlar om klassificering av bergmassan. Hans Helfrich redovisade de första försöken med mikroseismiska mätningar hos känsliga bergstrukturer från Bolidens gruvor. Publikationen ger ett gott tvärsnitt inom en lång rad olika delar av bergmekaniken vid den aktuella tiden.



Figur 1. Bild från Bergmekanikdag 1965. Från vänster Direktör Tor Hagerman, Hagkonsult, Professorerna Nils Hast och Ingvar Janelid, KTH och direktör Tore Nilsson, Vattenfall. Efter Svenska Dagbladet, September 1965.

*Figure 1. Picture from Rock Mechanics Day 1965. After Svenska Dagbladet.*

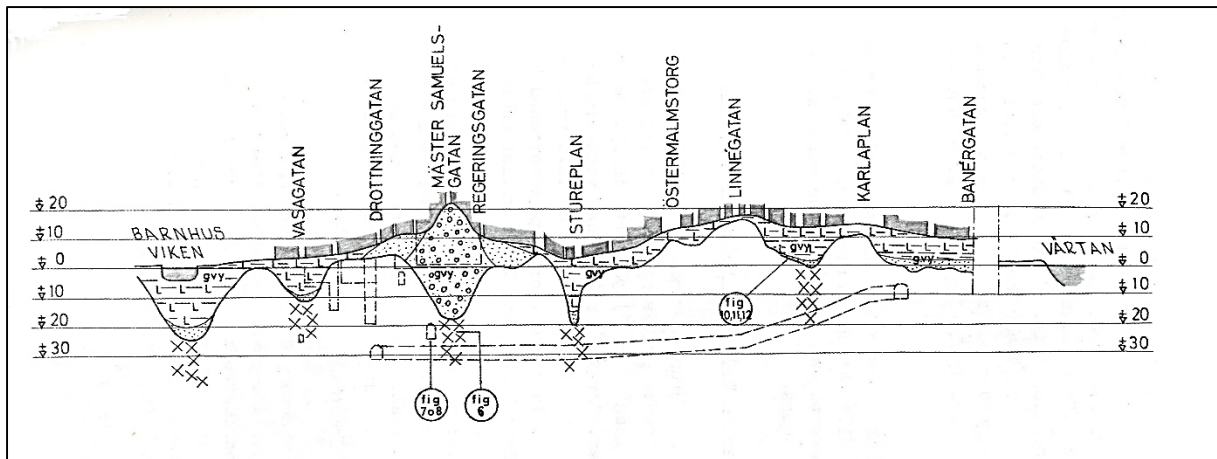


Figur2. Bergspänningsmätning med överborrningsteknik enligt N. Hast (IVA Meddelande 142, 1965). a, överborrningsteknik med magnetostruktiv mätcell; b, resultat från spänningsmätning i Norden med överborrningsmetod.

Figure 2. Rock stress measurements with overcoring method according to Nils Hast  
a) magnetostrictive cell; b) measurement results from Norway and Sweden. IVA Report 142, 1965.

År 1966 arrangerades ingen Bergmekanikdag. I stället tillsatte IVA en kommitté med uppgift att utreda hur man bäst skulle organisera den bergmekaniska aktiviteten i Sverige. Ordförande för kommittén var Professor I Janelid. Arbetet i den nya IVA-kommittén redovisades vid Bergmekanikdagen 1967. Vid det mötet redovisades Carl-Olof Morfeldt resultaten från grundvattensänkningarna i lersjöarna i Stockholms City till följd av de omfattande tunnelarbetena. Det gav klara signaler till konstruktörerna och tunnelentreprenörerna om det stora behovet att tätta tunnlarna bättre för att minimera sättningsskadorna.

IVA fortsatte att arrangera Bergmekanikdagarna de kommande åren och gjorde 1969 uppvaktningar hos Styrelsen för Teknisk Utveckling, STU med begäran om ett statligt stöd för att tillsammans med industrin kunna fortsätta driva den bergmekaniska forskningen.



Figur 3. Det klassiska problemet med läckage i centrala Stockholms bergtunnlar i samband med passagen av svaghetszoner och ovanliggande lersvackor och åtföljande sättningsskador på byggnader. Efter C. O. Morfeldt (IVA meddelande Bergmekanikkommittén, 1967).

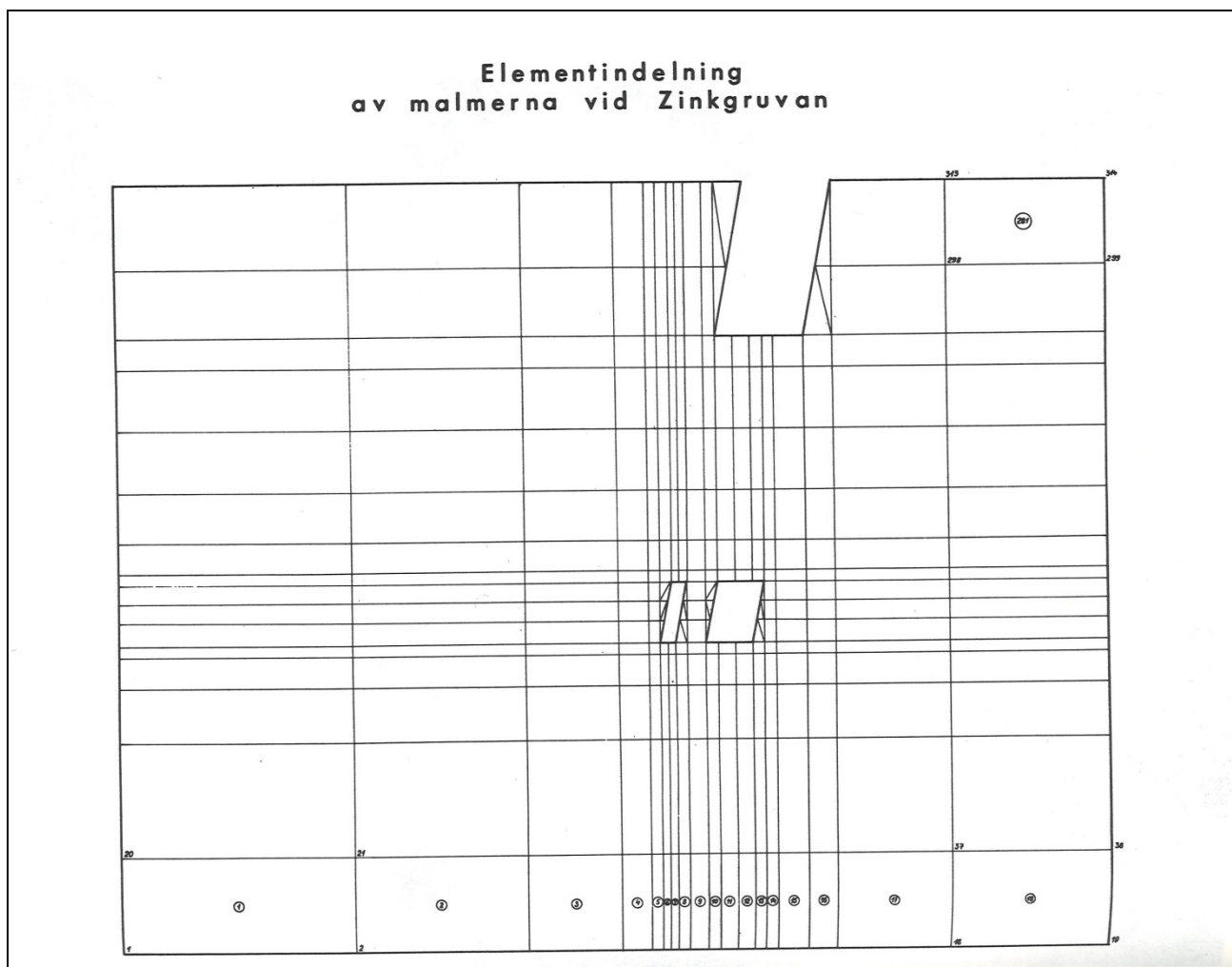
*Figure 3. The classical problem with leakage in the tunnels of Central Stockholm when the tunnel cross the shear zone in rock and a depression filled with glacial clay. After IVA Report, 1967.*

Den 3 december 1970 bildades Stiftelsen Bergteknisk Forskning BeFo och stiftarna var:

- Svenska Gruvföreningen
- Svenska Byggnadsentreprenörföreningen
- Sveriges Konsulterande Ingenjörers Förening
- Statens Vattenfallsverk
- Nitro Nobel AB

Vid IVA:s Bergmekanikdagar 1969 och 1970 redovisades för första gången resultat från finita elementberäkningar för svensk bergmekanisk publik. Tommy Groth, som var assistent vid institutionen för gruvbrytning vid KTH, vistades en tid vid University of California, Berkeley i slutet av 1960-talet och hämtade hem programvaran till Sverige för den version av FEM-programmet som kunde simulera sprickor i bergmassan. Tommy Groth redovisade resultaten från beräkningar av spänningstillståndet kring olika öppningsgeometrier i berg och gjorde en jämförelse med spänningsoptiska undersökningar i Vattenfalls laboratorium med mycket god överensstämmelse och naturligtvis samtidigt med förtret hos användarna av spänningsoptik för dimensionering av öppningar i berg. Figur 4 visar ett finit elementnät från en tillämpning av FEM-metoden för en stabilitetsanalys av brytningsgeometrin i Zinkgruvan.

Ove Stephansson simulerade spänningar och deformationer hos skiktade tak i rum-och pelargruvor med en speciell version av FEM-programmet, särskilt med tillämpning på situationen i Bolidens blygruva i Laisvall. FEM-programmet var stort och krävde lång beräkningstid varför beräkningarna bara kunde genomföras under helger vilket försvårade arbetet och gav långa väntetider för resultaten. Idag genomförs med lätthet moderna FEM-beräkningar med långt större prestanda med vanliga persondatorer.



Figur 4. Elementnät från FEM-beräkningar av spänningar kring brytningsrum i Zinkgruvan. Efter Groth, 1972 (IVA Bergmekanikkommittén, rapport 45, 1972).

*Figure 4. Mesh of finite elements for a stability analysis of the mine openings in Zinkgruvan, Southern Sweden. After Groth, 1972 (IVA Report 45 of the Rock Mechanics Committee)*

Bergmekanikdagen 1972 och några år framåt arrangerades som ett gemensamt evenemang av IVA:s bergmekanikkommitté och den nybildade stiftelsen BeFo och en helt övervägande del av bidragen behandlade tillförlitligheten hos utförda bergundersökningar. Problemen med svällande lermaterial i bergmassan var ett annat problem som behandlades ingående vid denna tidpunkt. Det framgår av presentationerna att man vid den tiden inte hade tillgång till de avancerade förundersökningsmetoder (geofysik, optik, bormetoder och analysmetoder) som erbjuds idag.

Svenskt bergbyggnad skedde också utomlands och kunde ske genom de erfarenheter som svenska konsulter och entreprenörer hämtat in under utbyggnaden av den svenska vattenkraften. Ett av de utlandsprojekt om vattenkraft som redovisades vid Bergmekanikdagen 1972 behandlade konstruktionen och byggandet av den underjordiska kraftstationen Kafue i Zambies flodens biflöde i Zambia, se Figur 6. Projektet innehöll omfattande bergmekaniska mätningar och beräkningar.



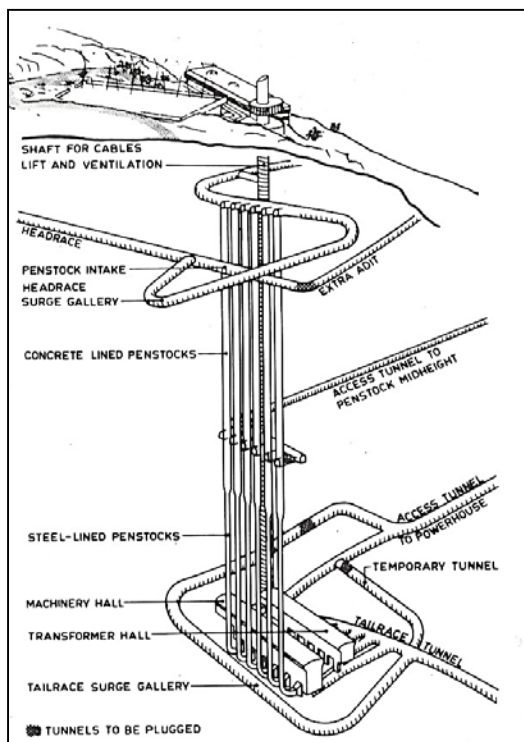


a

b

Figur 5. Rapporter från tidiga Bergmekanikdagar. IVA:s Bergmekanikkommitté:s diskussionsmöte 1972 (a) och BeFo Bergmekanikdag 1973 (b).

*Figure 5. Report from IVA Rock Mechanics Committee 1972 (a) and BeFo 1973.*



Figur 6. Kafue underjordiska kraftstation i Zambia, ett exempel på de internationella projekten som konstruerades och byggdes av svenska konsulter och entreprenörer med erfarenheten från utbyggnaden av den svenska vattenkraften. Efter O. Walter, 1972 (IVA Bergmekanikkommittén, rapport 45, 1972).

*Figure 6. Kafue underground power station, Zambia as an example of overseas projects conducted by Swedish consultants and constructing companies based on know-how from construction of power stations for Swedish electricity companies.*

Bergmekanikdagen 1974 innehöll ett intressant föredrag om bergmekanikens roll i ett gruvföretag och presenterades av Norbert Krauland, Boliden. Tankarna i föredraget innebar en förberedelse för Näslidenprojektet som kom att starta lite senare i tiden.

1974 utnämndes Ove Stephansson till biträdande professor i bergmekanik vid Tekniska Högskolan i Luleå och utbildningen och forskningen i bergmekanik kunde starta i Luleå, till en början utan egna lokaler. Genom ett föredömligt gott planeringsarbete av bl. a Imre Hansagi vid LKAB kunde något senare ämnet bergmekanik förfoga över utmärkta och stora lokaler vid starten på undervisningen och forskningen i bergmekanik. När staten under 1990-talet införde hyror för universitetens och högskolornas lokaler drabbades de bergtekniska ämnena i Luleå hårt och tvingades överge sina stora lokaler och krympa laborativ verksamheten.

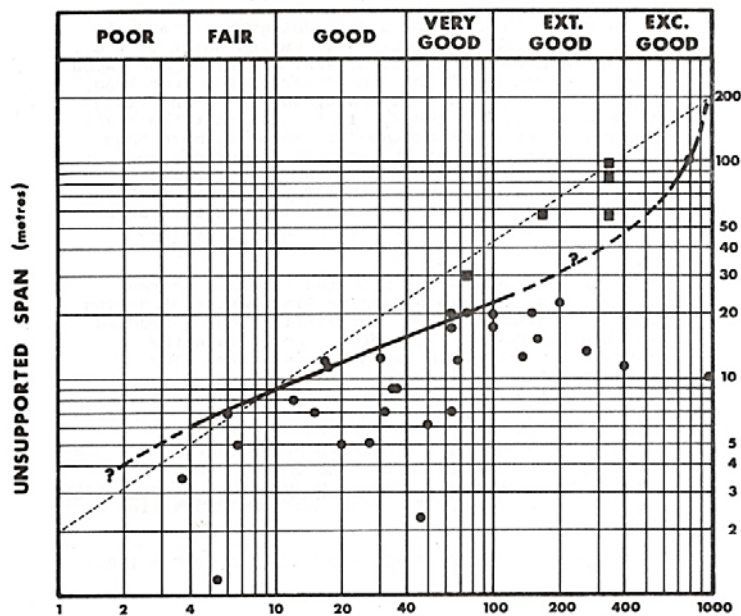
### **Bergmekaniska aktiviteter under andra decenniet av Bergmekanikdagarna, 1975 - 1984**

**1975** hade det gått 10 efter det att den första Bergmekanikdagen hölls i Stockholm. Något jubileum arrangerades inte utan man väntade med det ytterligare 10 år. Protokollet från Bergmekanikdagen 1975 är emellertid intressant att studera därför att det speglar en mycket hög aktivitet och resultaten som presenteras är av hög klass. Sten G A Bergman och Buster Sund redovisade resultat från tätning och fintätning av finsprickigt berg. Sten Bjurström redovisade resultat om bultförstärkning i fält och laboratorium med hjälp av bl a den stora skjuvbox som byggdes för ändamålet. Kauno Kangas från LKAB redovisade det första konventionella seismiska registreringssystem som installerades i LKAB:s gruvor i Malmberget. Samtliga bidrag ovan har stor aktualitet även idag och man kan konstatera en betydande utveckling som har skett sedan **1975** och fram till idag, t ex när det gäller registrering och tolkning av seismiska händelser under jord. I rapporten från **1975** finns också en intressant artikel av Håkan Stille och Anders Fredriksson om glidning och rotation av bergblock i slänter och med en tillämpning på de stora sprickor som förekommer längs vägsränningarna av Vätterns östra strand. Ett annat intressant bidrag som behandlar spänningsfördelning kring lerslag i berg presenteras av Bengt Broms.

Vid Bergmekanikdagen **1976** presenterar Nick Barton, NGI Q-systemet och dess tillämpning för första gången för svensk publik. Bidraget är 33 sidor långt och där grunderna för Q-systemet och hur man utifrån värdet på Q kan uppskatta möjliga spännvidden på stabila bergöppningar. Med ledning av resultaten från sina mätningar av spännvidderna i Carlsbad-kalkstenen i New Mexico samt kända dimensioner av stora bergöppningar upprättade Barton ett diagram som visar spännvidden hos oförstärkta bergrum som funktion av Q, Figur 7. De runda fyllda cirkelarna visar gjorda stabila öppningar i berg som rapporterats i litteraturen, fyllda fyrkanter visar resultaten från naturliga öppningar i Carlsbad. Den krökta linjen visar maximala spännvidden för permanenta, icke förstärkta, utsprängda öppningar i berg.

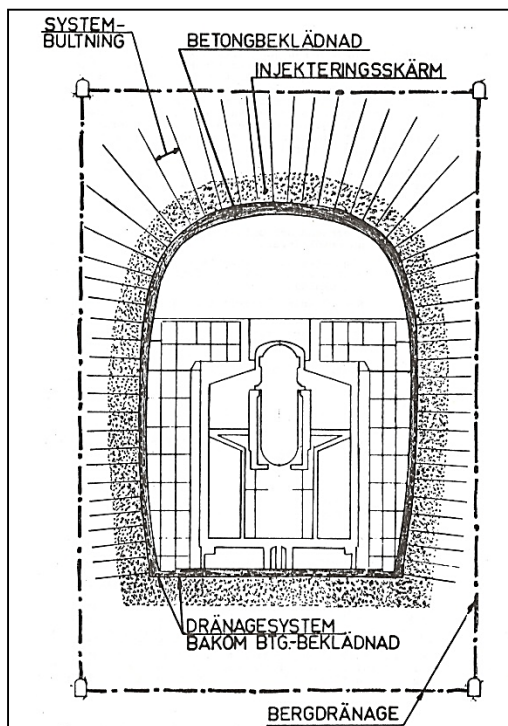
I mitten på 1970-talet var intresset stort för bergrum med stor spännvidd. Tord Lindbo vid Vattenfall hade avslutat ett projekt kring underjordsförlagda kärnkraftverk. För att säkerställa att det inte kan ske ett bergras i bergrummet för reaktorn presenterade utredningen ett förslag att bergrummet bör ha en spännvidd på ca 45-50 m och att bergtäckningen bör vara ca 40 m. Bergmassan förutsätts då vara av bästa kvalitet. Fördyringen av en bergförläggning uppskattades till 20 % och byggnadstiden kommer att förlängas med ca 1,5 år i jämförelse med en markförlagd reaktoranläggning. Resultaten av de svenska projekten om undermarksförlagda kärnkraftverk har förmedlats till ordföranden Professor Sakurai som är

president för ISRM Commission on Underground nuclear power station.



Figur 7. Spännvidden för icke bergförstärkta öppningar i berg som funktion av  $Q$ . Runda fyllda cirklar visar rapporterade mätresultat från litteraturen. Fyllda fyrkanter redovisar naturliga öppningar i Carlspad-kalksten i New Mexico. Diagrammet visar att en spännvidd på 200 m hos ett bergrum kan fås stabil för helt sprickfria bergmassor. Efter N Barton, 1976 (BeFo Bergmekanikdagen 1976).

Figure 7. Unsupported span as a function of  $Q$  for natural openings at Carlspad New Mexico.



Figur 8. Plan över underjordsförlagd kärnreaktor från en studie vid Vattenfall. Efter Lindbo, 1976 (BeFo Bergmekanikdagen 1976).

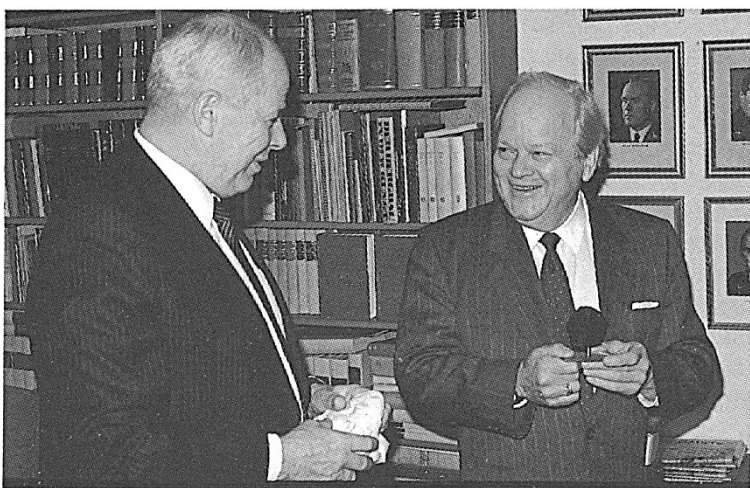
Figure 8. Plan of underground nuclear reactors from a Vattenfall study. After Lindbo, 1976.



I anslutning till projekten om underjordsförlagda kärnkraftverk presenterade Sten Bjurström resultaten av en studie om maximala spännvidder hos existerande och nedlagda svenska gruvor. Ett stort antal gruvor kan uppvisa oförstärkta bergrum med spännvidder kring 50 m.

Vid 1977 års Bergmekanikdag hade mötet som ett av sina tema bergbultning och vid mötet presenterade Sten Bjurström resultaten av en serie tester på glasfiberbultar och vid LTU hade Agne Rustan avslutat och rapporterade resultaten från testning av en instrumenterad bergbult med trådtöjningsgivare som senare testades i fält i LKAB:s gruvor.

Carl-Olof Morfeldt, med sin långa erfarenhet av tunneldrivning och tätning av berg, tog till orda och talade över ämnet "Är injektering i berg en svartkonst?". Man vågade vid den tiden nog hålla med honom därför att det fanns ingen teoribildning kring injektering att falla tillbaka på och praktiskt tillämpa, och antalet substanser som blandades i injekteringsmedlen var många och av vitt skilda slag och konsistens. Efter de stora insatser kring injektering som i sen tid gjorts vid institutionen för Jord- och Berg på KTH och vid Geologiska institutionen vid CTH har vi en helt annan kunskapsbas att falla tillbaka på. Boken om Rock Grouting - Theories and Applications av Håkan Stille (2015) redovisar på ett utmärkt sätt den nuvarande kunskapsbasen.

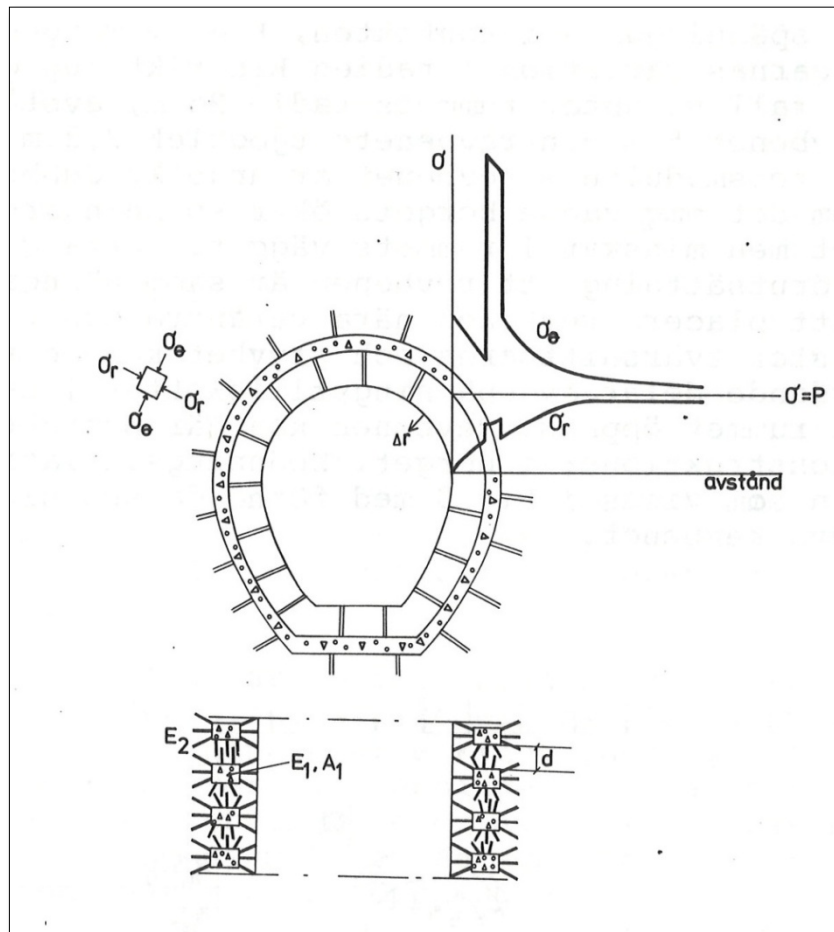


**Tekn dr Carl-Olof Morfeldt avgick hösten 1986 ur BeFos styrelse efter 15 år. Som tack för Morfeldts stora engagemang i BeFos verksamhet överlämnade BeFos ordförande Sven-Gunnar Bergdahl ett exemplar av "BeFo-klumpen".**

Vid Bergmekanikdagen 1977 presenterade Bengt Stillborg resultaten av sina fysiska modellförsök om revbensmetoden (rib in roc, upphovsman är Ivar Sagefors) för att förstärka bergrum med stora spännvidder. Metoden går ut på att i berget runt det kommande bergrummet driva stigorter från vilka berget runt den kommande öppningen kan förstärkas med kablar riktade in mot det kommande bergrummet. Därefter gjuts stigorterna igen med betong och det stora bergrummet kan säkert brytas ut. Metoden redovisas i Figur 9. En modifierad version av föredraget presenteras sedan vid den stora internationella konferensen Rockstore 77 i Stockholm. Vid Bergmekanikdagen presenterade Professor Bengt Åkesson, CTH en statisk analys av hållfastheten för utsprängt bergrum enligt revbensmetoden.

Det stora intresset för bergrum med stor spännvidd fortsatte även under 1978 och Tommy Groth presenterade resultaten av en serie FEM-beräkningar med BE-FEM koden vid KTH. I modellerna simulerades spricksystem i bergmassan med samma geometri som de

spricksystem som Nick Barton redovisade från sina fysiska modellförsök med så kallade giljotinsprickor och modeller som belastades enbart med gravitation.

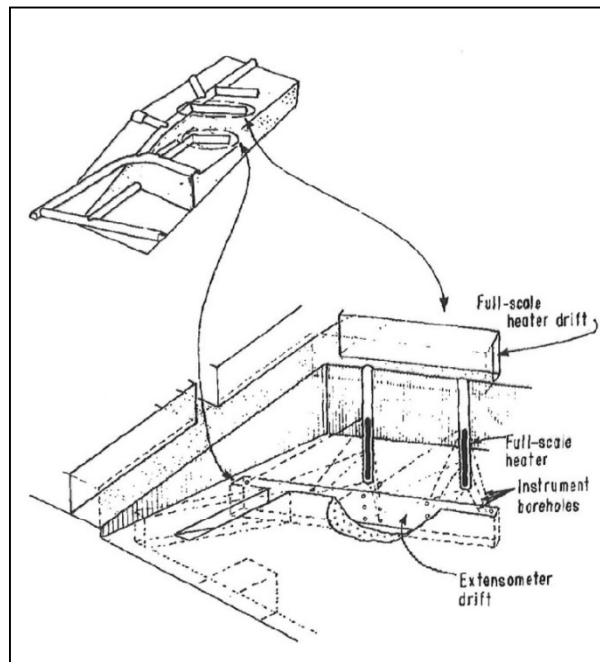


Figur 9. Principen för bergförstärkning av stora bergrum med revbensmetoden (rib-in roc). After Stillborg och Stephansson 1978 (BeFo Bergmekanikdagen 1978).

*Figure 9 Reinforcing large rock caverns with the rib in roc method. After Stillborg et al 1978.*

**1978** började det Svensk-Amerikanska samarbetsprojektet om forskningen för slutförvaringen av det utbrända kärnbränslet och radioaktiva avfallet i den nedlagda järnmalmshugget i Stripa. Samarbetet skedde mellan Svensk kärnbränsleförsörjning SKBF och Department of Energy i USA och med en forskargrupp från Lawrence Berkeley National Laboratory, University of California, Berkeley (UCB), USA som genomförde forskningen i samarbete med svenska forskare. Projektet tillkom genom ett möte mellan Professor Ingvar Janelid KTH och Professor Paul Witherspoon (UCB) under en flygresor har det berättats för mig. I projektet deltog även Professor Nevil Cook vid UCB, en av de mest namnkunniga bergmekanikerna vid den tiden. I Stripaprojektet genomfördes en stor värmetest som simulerade värmeflödet från en avfallsbehållare med temperatur kring 250 grader, som var amerikanarnas koncept vid den aktuella tidpunkten. Vidare genomförde man en nerskalad värmetest som simulerade effekten av ett större antal avfallskapslar samt en lång rad olika geohydrologiska ventilationstekniska experiment. Forskarna vid UCB flög in all forskningsutrustning från Kalifornien, installerade en stor, kraftfull dator i ett bergrum under jord, drog modern fiberkabel från gruvan upp genom schaktet och sände alla experimentella data on-line till Berkeley för analys och skickade dokument via fax (som var helt ny teknologi den aktuella tiden) till och från Stripa. Det var ett nytt, avancerat, teknologiskt sätt att driva forskning som visades upp för oss svenskar. Många

svenska studenter och tekniker fick möjligheten att delta i de svensk-amerikanska experimenten i gruvan och forskningen fortsatte senare i internationella Stripa projektets regi.



Figur 10. Layout av försöksorterna i det Svensk-Amerikanska samarbetsprojektet i Stripa gruva. Detaljer kring utformningen av försöksplatsen för stora värmetesten.

*Figure 10. Lay-out of tunnels in the Swedish-American radwaste cooperation in Stripa Mine.*

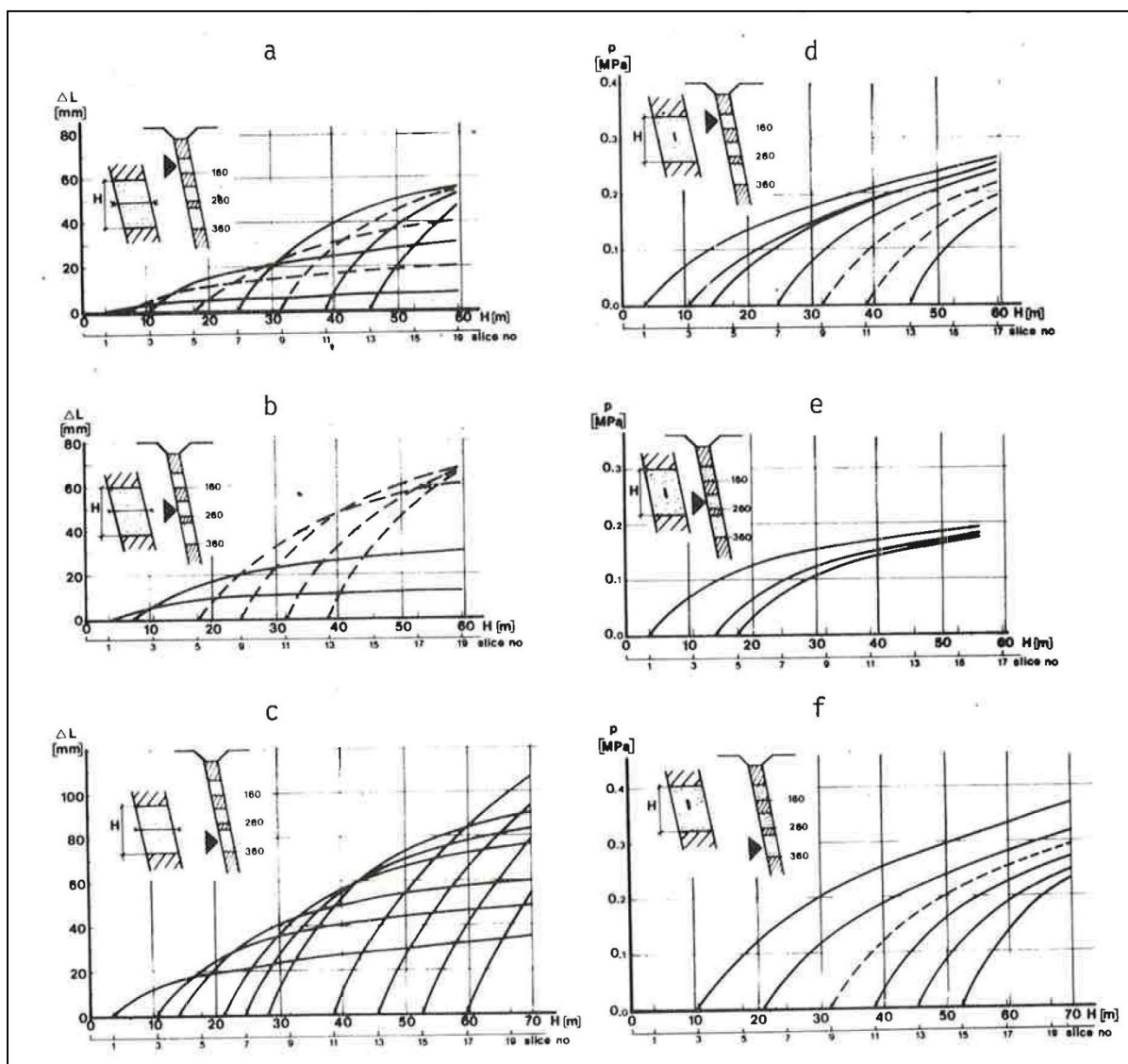
1977 införde den svenska regeringen den s.k. 'villkorlagen' som säger att innan ny kärnkraftreaktor får laddas skall reaktorinnehavaren visa hur och var utbrända kärnbränslet helt säkert skall förvaras. Vid 1979 års Bergmekanikdag presenterade Anders Bergström, SKBF den svenska KBS-metoden. Det är i stort sett samma koncept idag som det koncept som presenterades på mötet 1979. SKBF och senare SKB-projekten har betytt och betyder ännu mycket för svensk bergmekanisk forskning vid de svenska tekniska högskolorna.

1980 slutredovisades Näslidenprojektet med gott resultat och LTU anordnar den internationella konferensen Application of Rock Mechanics to Cut and Fill Mining i Luleå i juni 1980. Vid Bergmekanikdagen 1981 redovisas Näslidenprojektet av Norbert Krauland och Ove Stephansson för svensk publik efter det att en internationell utvärderingsgrupp granskat och kommenterat och gett projektet slutresultatet berömligt.



Figur 11. Internationella utvärderingsgruppen av Näslidenprojektet besöker Näslidengruvan.

*Figure 11. International evaluation group of the Näsliden project on visit to Näsliden Mine.*



Figur 12. Resultat av deformationsmätning (vänstra kolumnen) och trycket i fyllmassan (högra kolumnen) från observationerna i igensättningsgruvan i Näsleden. Krauland och Stephansson, 1981 (BeFo Bergmekanikdagen 1981).

*Figure 12. Results of deformation (left) and pressure (right) of filling in the Näsleden Mine.*

Vid mötet **1981** redovisades nya spänningsmättningsresultat från Finland och Norge. Resultaten visar som vanligt en relativt stor spridning. Det finns idag ett stort behov att revidera de gamla spänningsmätningarna och uppdatera de data som levererats till World Stress Map projektet vid GeoForschungsZentrum i Potsdam, Zang and Stephansson (2010). Från Sverige redovisar Juri Martna et al. (1981) resultaten av överbörningsmätningarna som gjordes i dagborrhålet i Stripa gruva i samarbete med Professor B. Haimson vid University of Wisconsin. Slutligen redovisar Jonas Holmgren, KTH intressanta försöksresultat från testning av stålfiberarmerad sprutbetong.

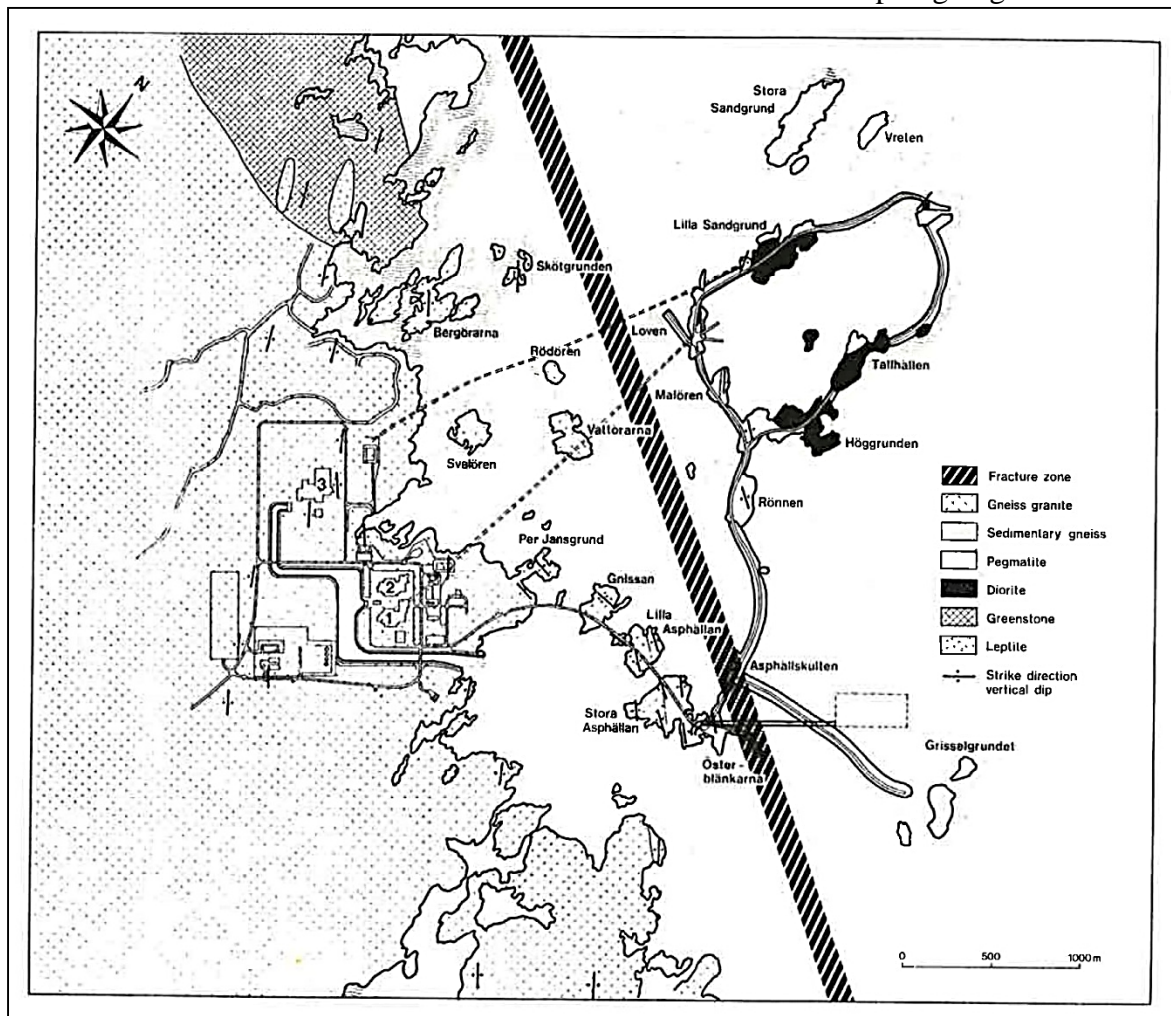
Per-Arne Lindqvist, LTU presenterade sina intressanta resultat av olika brottmekanismer som sker i berget i samband med fullbörning. Vid BM-dagen **1982** redovisar B. Skogberg och G. Wijk en stor teoretisk studie om prestanda och hållfasthet hos SWELLEX bergbulten.



Bergmekanikdagen **1983** besöktes av 290 personer vilket är ett mycket bra resultat och ger arrangörerna ett gott betyg. Programmet för Bergmekanikdagen har vid den tiden utformats så att de bidrag som presenteras samlas under ett fåtal tema. Vid 1983 års möte var dessa tema Förundersökningar och uppföljning, Beräkningar och byggande samt Berget som värmelager. I bidraget från Kurt Eriksson, Kennert Röshoff och Roy Stanfors presenteras de bergmekaniska undersökningarna, FEM-beräkningar och deformationsmätningar i Centrala lagret för använt kärnbränsle, CLAB på Simpevarphalvön.

Vid mötet **1984** var temat bl. a. Bergbultning och Folke Björnfot, Luleå redovisade resultaten från det stora bultprojektet i LKAB:s Kirunagruva. Samma bidrag presenterades under stor uppskattning vid the internationella Bergbultningssymposiet i Abisko 1983.

Tunneldrivningen genom Singölinjen i Forsmark var benämningen på det bidrag som presenterades av Anders Carlsson, Vattenfall. Som situationen ser ut för närvarande kommer SKB att driva ytterligare en tunnel genom Singöförkastningen i samband med den planerade utökningen av lagringskapaciteten i SFR. Det innebär att zonen kommer att korsas med totalt fem olika tunnlar. Ras har skett i en av tunnlar i samband med utsprängningen.



Figur 13. Geologisk översiktskarta över Forsmarksområdet med de fem kylvattentunnlarna samt tunnlar ner till slutförvaret för reaktoravfall, SFR. Den planerade tillfartstunneln till utbyggnaden av SFR kommer att innebära att Singöförkastningen kommer att korsas fem gånger med tunnlar. Efter A. Carlsson, 1984 (BeFo Bergmekanikdagen 1984).

Figure 13. Geological map over Forsmark area with four existing and one planned tunnel crossing the large Singö deformation zone. After A. Carlsson, 1984.



## **Bergmekanikdagen fyller 20 år och går in på sitt tredje sekel, 1985 - 1994**

Bergmekanikdagen **1985** firade sitt 20-årsjubileum och nestorerna på svenska bergmekanikdagen, Sten G A Bergman och Carl-Olof Morfeldt, höll var sitt hyllningstal. Bergman lämnade en exposé över gjorda insatser och deras fördelning mellan olika ämnesområden av bergmekaniken. Bergman finner att vi 1985 har mycket bättre baskunskaper, teorier och beräknings- och mätmetoder än 1965 och att kvalitén i brytnings- och byggprocessen har starkt förbättrats. Ove Stephansson och Håkan Stille lämnar vid mötet en redogörelse för forskningsaktiviteterna och undervisningen vid LTU respektive KTH. Värmelagring i bergrum var ett huvudtema vid mötet. Artiklarna som publicerades till mötet citeras ofta, även nu 30 år efter mötet. CTH och Ulf Lindbloms och Lars-O Erikssons grupper var aktiva inom bergvärmelagring den aktuella tiden i mitten på 1980-talet.

**1986** års BM-dag ägnades bl a åt en avrapportering av de olika delprojekten som genomfördes under utsprängningen av Bolmentunneln. Tunnelns nära läge vid randen på den skandinaviska urbergsskölden blottade en lång rad nya specifika problem vad gäller spricktektonik, spänningstillstånd och geohydrologi. Jag vill uppmäna alla som tar del av detta innehåll och som arbetar med tunneldrivning i starkt uppsprucket berg att studera Göran Bäckbloms bidrag till det årets protokoll från Bergmekanikdagen **1986** med titeln "Erfarenhet från 2500 förinjekteringar". Med hjälp av enkla modeller och principskisser bygger han upp ett system som kan användas tillsammans med den spricktektoniska bilden för att styra injekteringsarbetet. Hans avslutande 9 teser om att tänka över och kontrollera i arbetet med injektering är mycket bra och läsvärda även idag.

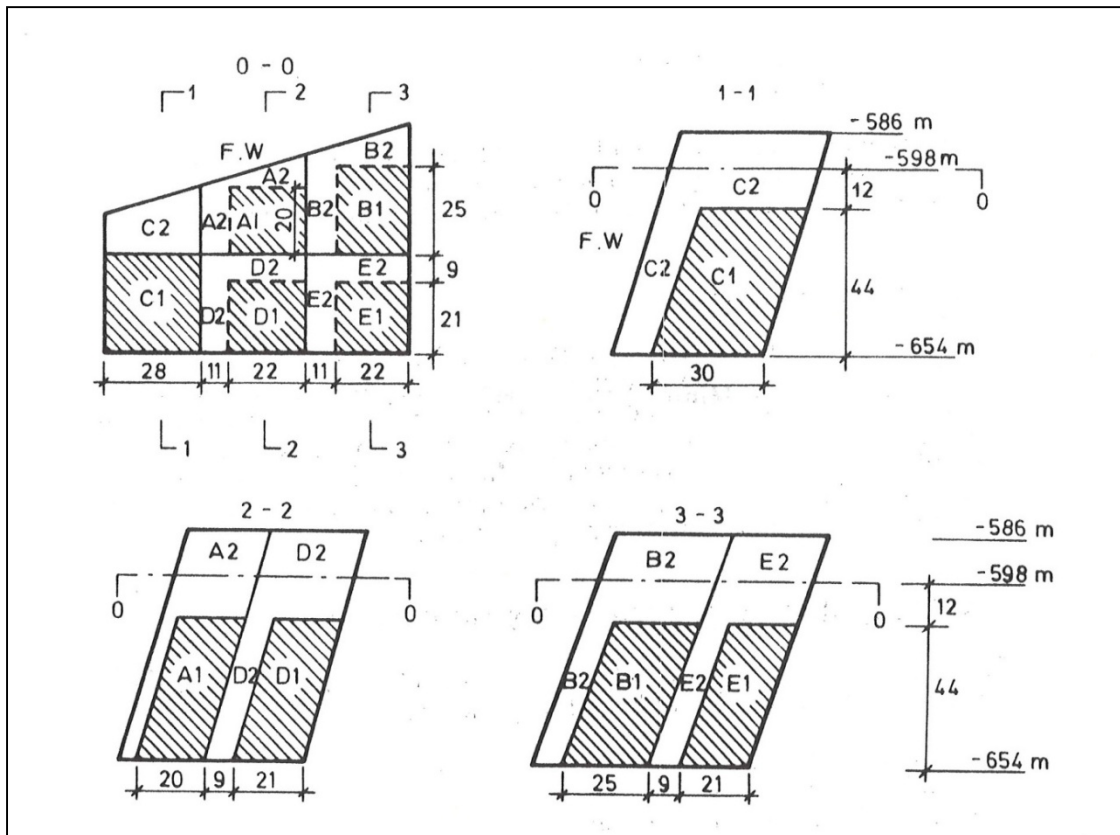
Djupborrningsprojektet och gasäventyret i Siljansringen för att belägga teorin om djupgas presenterades av Tord Lindbo, Vattenfall under BM-dagen **1986**. I djupborrningsprojektet genomfördes en lång rad intressanta delprojekt och studier med ett högt vetenskapligt innehåll men endast en begränsad del av resultaten nådde ut i den vetenskapliga litteraturen.

Sverige har fram till idag (2016) en nästan 60 år lång tradition av bergspänningsmätningar och bergspänningsforskning samt utveckling av nya och förbättrade metoder att mäta bergspänningar. Med den långa traditionen som bas och en rad nyheter att rapportera arrangerades det egentliga, första specialsymposiet om bergspänningar och bergspänningsmätningar i Stockholm. Ca 150 forskare och tekniker från mer än 20 länder deltog i det internationella mötet.

**1989** års Bergmekanikdag hade Vattenföring och Injektering som tema. Vid mötet presenterade Lars Hässler och Ulf Håkansson de första modellansatserna för injekteringens styrmekanismer som funktion av bergmassans egenskaper och injekteringsmedlens reologi. Resultaten av deras arbeten bildar en viktig del i den nyutkomna boken Rock Grouting av Håkan Stille (2015). Vid BM-dagen presenterade Eva Hakami resultaten av sina flödesmodeller för bergssprickor och metoden för sprickviddsmätning.

Vid **1990** års BM-dag presenterades det s.k. OSCAR-projektet om storskalig skivpallbrytning i Kiirunavaaragruvan. Ett avsnitt av gruvan avsattes för försöket med storskalig skivpallbrytning som en ny alternativ metod mot den gängse skivrasbrytningen. Avsikten var vidare att överföra kunskaperna om kabelbultning från Forskningsgruvan i Luossavaara till Kirunagruvan. En viktig del av projektet omfattade modellering. Det var första gången som programsystemet 3DEC tillämpades på ett sammanhållet forskningsprojekt för att bestämma

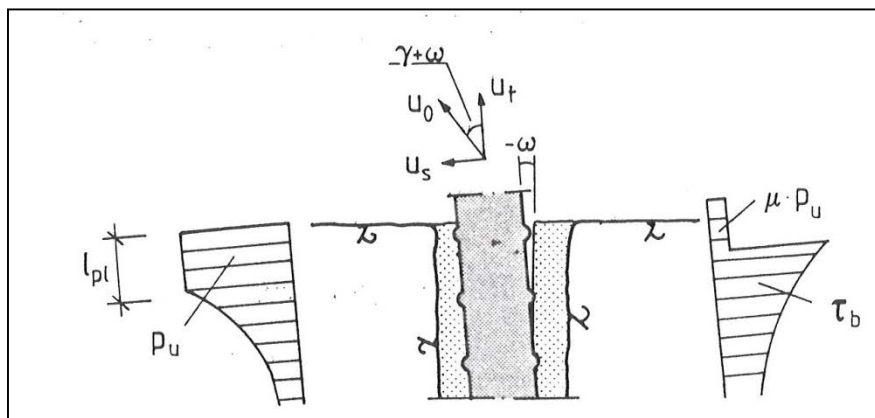
lämplig brytningsföljd och dimensionerna på brytningsrummen vid skivpallbrytningen. Figur 14 visar ett exempel på resultaten från modelleringen som utfördes av Jing Lanru vid KTH.



Figur 14. Rekommenderad utformning av brytningsrum och brytningssekvens för skivpallbrytning i brytningsområdet OSCAR i Kirunagruvan vid modellering med 3DEC. Efter O Stephansson och T Paganus, 1990 (BeFo Bergmekanikdagen 1990).

Figure 14. Recommended mining sequence and geometry for large open stopping in Kiruna Mine. 3-D modelling was performed with the 3DEC discrete element code by Lanru Jing.

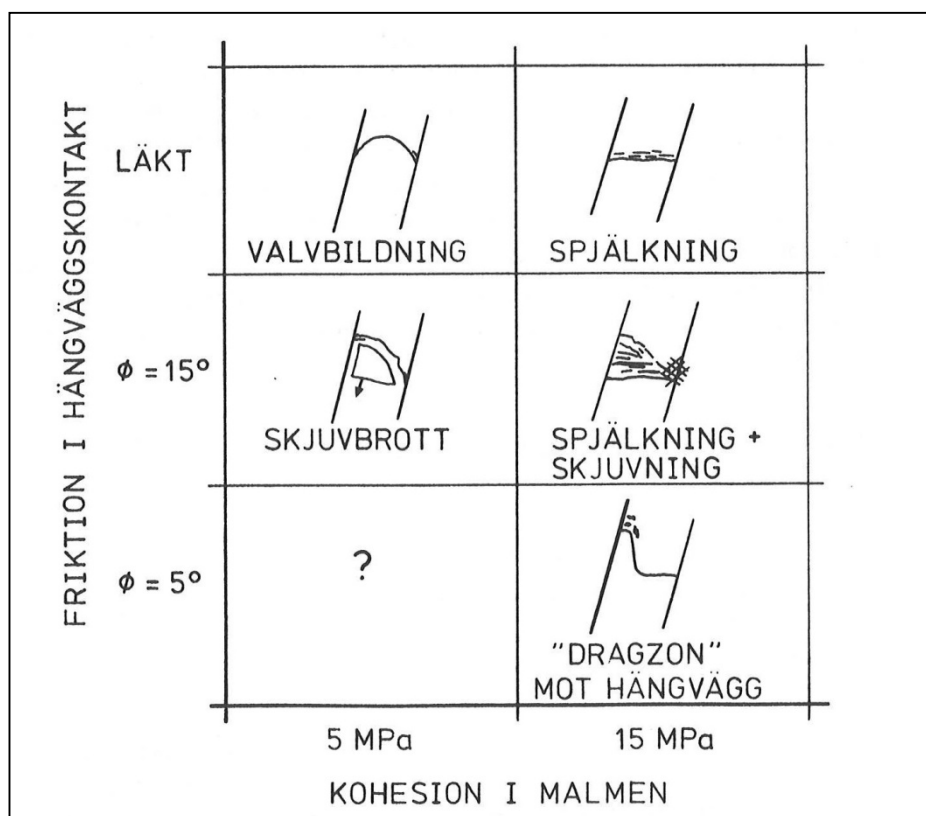
Från Bergmekanikdagen **1992** har jag valt att lyfta fram den sammanfattande artikeln av Mats Holmbergs (1990) avhandling som behandlade den samverkande funktionen hos bult, ingjutning och berg för en slak ingjuten bergbult. I artikeln beskrivs teorins giltighet och resultaten av skjuvförsök och en del praktiska tillämpningar.



Figur 15. Teoretiskt antagande om elastiska deformationer hos bergbult och flytning hos ingjutningen. Efter Mats Holmberg (1992), (BeFo Bergmekanikdagen 1992).

*Figure 15. Theoretical assumptions of interaction rock/bolt/grouting. After Holmberg (1992).*

Bergmekanikdagen **1993** hade som tema bl. a projektet Gruvteknik 2000. Jag har valt att lyfta fram ett bidrag av Bengt Lejon från det projektet. Utifrån de ofta smala och brant stupande malmkropparna i svensk berggrund fås ofta stabilitetsproblem i kontakten mellan malmen och hängväggen. I sitt bidrag till BM-dagen visar Lejon hur storleken på kohesionen och friktionen hos materialet i kontakten mellan hängväggen och malmen verkar på stabiliteten i brytningsrummet och främst i taket närmast hängväggen. Diagrammet i Figur 16 visar klart och enkelt var problemen uppkommer och för vilka värden på materialparametrarna.



Figur 16. Sammanställning av brottsformer i rumstak för några geologiska typfall som funktion av materialparametrarna i hängväggskontakten och malmen. Efter Lejon 1993 (BeFo Bergmekanikdag 1993).

*Figure 16. Collection of different failure modes at the hanging wall - ore contact of the roof in steeply dipping ore bodies versus rock parameters of ore and hanging wall. After Lejon, 1990.*

Bergmekanikdagen **1994** genomförs med den nybildade organisationen **SveBeFo** som huvudman. Den nya organisationen SveBeFo:s uppgift är att aktivt bidra till kunskapsutvecklingen i ett nationellt samordnat forskningsprogram av gemensamt intresse för avnämarna i industrin och samhället i övrigt.

Vid den första BM-dagen i den nya organisationens regi hade man bjudit in som huvudtalare Professor John Hudson vid Imperial College i London. Han presenterade sitt Rock Engineering System (RES) som erbjuder att på ett systematiskt sätt studera och analysera komplexa system och sammanhang. Ett sådant system är bland annat slutförvaring av det

utbrända kärnbränslet. SKB har också använt RES i sitt arbete med att upprättade s.k. FEP listorna som avser Features, Events and Processes i det totala systemet för slutförvaringen av det utbrända kärnbränslet. I Figur 17 visas ett exempel på en interaktionsmatris för ett bergsystem.

<b>Rock Structure</b> <b>F<sub>ij</sub></b>	Fractures affect the values and orientations of the stresses	The fracture network governs the secondary permeability	Fractures can influence the size and orientation of excavations
Stresses can open or close fractures, and also create them	<b>Rock Stress</b> <b>σ<sub>ij</sub></b>	In general, the higher the normal stress, the lower the permeability	High rock stresses can cause construction failures
Continual water flow in fractures affects their properties	Normal stresses reduced by water pressure	<b>Water Flow</b> <b>K<sub>ij</sub></b>	Grouting and drainage may be required during construction
Blasting can damage old fractures and create new fractures	In the vicinity of excavations the principal stresses are altered	An excavation will always become a sink for the water flow	<b>Const- ruction</b> <b>C<sub>ij</sub></b>

Figur 17. Rock Engineering System. Interaktionsmatris för ett bergsystem med interaktion mellan bergstruktur, bergspänningar, grundvattenflöde och utsprängning. Efter Hudson, 1994 (SveBeFo Bergmekanikdagen 1994).

*Figure 17. Rock Engineering System. Interaction matrix of a rock system. After Hudson 1994*

### Ännu ett sekel har gått och vi är nu framme vid decenniet 1995 -2004 samt 2005 - nu

I sitt inledningsanförande till 1995 års bergmekanikdag påminner Tomas Franzén, SveBeFo om de 30 år som gått sedan den första Bergmekanikdagen gick av stapeln. Årets gästföreläsare var nestorn inom risk och riskanalys för berg och bergmaterial, Professor Herbert Einstein, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge.

I det avslutande föredraget på BM-dagen 1995 redovisade Lanru Jing, KTH det internationella projektet DECOVALEX som behandlar modellering av kopplade termo-hydro-mekaniska processer för berg med särskild tillämpning på slutförvaringen av utbränt kärnbränsle och kärnavfall. Projektet startade 1992, förnyas var tredje år med nya och tidigare intressenter och forskargrupper och nya aktuella problem att lösa. DECOVALEXprojektet pågår alltjämt. Projektsekretariatet har fram till detta år legat vid avdelningen för teknisk geologi på KTH.

Tiden och utrymmet tillåter inte en fortsatt detaljpenetrering av bidragen till varje enskild Bergmekanikdag. Istället har jag valt att välja några godtyckliga årgång av rapporterna inom tidsavsnitten senaste två decennier, och det blev Bergmekanikdag 2000 och 2015. Jag har försökt spegla och jämföra innehållet och kvalitén hos de skriftliga bidragen gentemot tidigare årgångar som jag granskat och kommenterat och lyft fram i detta bidrag.

## **Försök till en jämförelse förr och nu samt några tankar om framtiden för rapporterna från Bergmekanikdagarna**

Inbjudan av en välkänd, duktig och bra internationell bergmekaniker och föredragshållare för att presentera ett något länge och ingående huvudföredrag med stor aktualitet är ett utmärkt sätt att från början på BM-dagen fånga åhörarnas intresse och nyfikenhet och det ger också en bra utdelning när det gäller att skapa internationella kontakter och samarbeten. Det är i mitt tycke en bra modell att följa i framtiden också. Valet av Professor T.R. Stacey från Sydafrika för årgången **2000** och R.J. Durrheim för år **2015** är bra exempel på huvudföredragshållare.

Att samla föredragen tematiskt har tillämpats under lång tid och sättet att utse en forskare med goda kunskaper i ämnet att introducera ämnesområdet och leda diskussionen av de presenterade föredragen är också en bra metod. Vad man kanske kan önska är att inledaren ägnar en kort tid åt att introducera temat och ge det en struktur som senare kan nyttjas i den efterföljande diskussionen. Bergmekanikdagen **2000** hade följande tema; Kyla och värme, Dimensionering och beständighet samt Tätning. Många av bidragen under respektive rubrik är typiska projektbeskrivningar där man beskriver mer eller mindre ingående de olika stegen i projektet i stället för en problemformulering följt av en ansats och analys och en resultatpresentation och diskussion av resultaten samt slutsatser. Det senare håller jag för att vara bättre. Vidare kan jag konstatera att mer teoretiska och analytiska föredrag har minskat under senare åren. Det borde inte vara svårt att ändra på, annars finns en risk att den typen av bidrag helt faller bort.

Varje enskild rapport från föredragen som presenteras på bergmekanikdagarna har ett unikt innehåll och ´ett eget liv´. När man bläddrar igenom ett stort antal av rapporterna känner man igen strukturen och presentationssättet i innehållen. Vad jag finner vid min genomgång är att kvalitén i materialet som presenteras och sättet att presentera innehållet lay-out-mässigt och grafiskt hela tiden blir bättre och bättre för varje decennium fram till nu. Införandet av färg på illustrationerna och ett mindre rapportformat förhöjer också läslusten.

Från och med denna årgång av Bergmekanikdag **2016** pekar allt mot att den tryckta versionen kommer att försvinna och ersättas av elektroniska meddelanden som distribueras till deltagarna via ´USB sticks´ eller andra elektroniska media. Det finns många positiva fördelar med en sådan utveckling som t.ex. lättare att framställa och sprida innehållet, billigare, större spridning än med tryckta rapporter, och innehållet i rapporterna kan spridas till andra databaser och elektroniska media. Nästa steg i processen kommer med säkerhet bli att de enskilda bidragen författas på engelska och med en svensk sammanfattning för att få en även större spridning och läsbarhet utanför de nordiska länderna. En sådan utveckling appellerar säkert starkt till den unga generationen bergmekaniker. Om BeFo väljer den elektroniska vägen i framtiden bör man kanske överväga att ´scanna in´ de rapporter som idag inte finns i elektroniskt format för att dessa skall finnas tillgängliga för medlemmarna i den svenska nationalgruppen av ISRM samt ISRM och deras systerorganisationer. Dessutom är innehållet i rapporterna ett värdefullt undervisningsmaterial för universitet och högskolor. BeFo och dess föregångare har ansvarsfullt tillsett att samtliga rapporter från 50 år av bergmekanisk kunskap finns i arkivet på BeFo. Den kunskap och information som finns samlad i rapporterna är väl värda att nå en större publik.

## **Tack**

Ett stort tack till Eva Friedman BeFo för benägen hjälp vid framställning av denna resumé.



## Referenser

- Barton, N. and Stephansson, O. (Eds.) 1990. Rock Joints. Proceedings of International Symposium, Loen, Norway. Balkema, Rotterdam, 814 p.
- BeFo, 1990. Bergmekanikdaggar 1965 - 1989. Register. Stiftelsen Bergteknisk Forskning - BeFo, 105p.
- Finkel, M. (Ed) 1985. Swedish Rock Engineering. Selected Papers from Proceedings of the Rock Mechanics Meetings in Stockholm (1979 - 1984). Swedish Rock Engineering Research Foundation -BeFo, Stockholm, 268 p.
- IVA Meddelande 142 1965. Bergmekanik. Föredrag vid IVA:s bergmekanikdaggar den 4-5 februari 1965, 240 sidor.
- Jing, L. and Stephansson, O. 2007. Fundamentals of Discrete Element Method for Rock Engineering. Theory and Applications. Elsevier, Amsterdam, 546 p.
- Stephansson, O and Jones M.J. (Eds.) 1981. Proceedings of the Conference on the Application of the Rock Mechanics to Cut and Fill Mining, Luleå June 1-3 1980. Institution of Mining and Metallurgy, London, 376 p.
- Stephansson, O. (Ed.) 1983. Rock Bolting. Theory and Application in Mining and Underground Construction. Proceedings of International Symposium in Abisko, 28 Augusti - 2 September, Abisko, Sweden. Balkema, Rotterdam, 630 p.
- Stephansson, O. (Ed.) 1985. Fundamentals of Rock Joints. Proceedings of the International Symposium, Björkliden, Sweden, 15-20 September 1985. Centek Publisher, Luleå, 582 p.
- Stephansson, O. (Ed) 1986. Rock Stress and Rock Stress Measurements. International Symposium, Stockholm, Sweden, Centec Publisher, Luleå, Sweden.
- Stille, H. 2015. Rock Grouting - Theories and Applications. BeFo, Stockholm, 139 p.
- Zang, A. and Stephansson, O. 2010. Stress Field of the Earth's Crust. Springer, Dordrecht, 322 p.