



STIFTELSEN SVENSK BERGTEKNISK FORSKNING
SWEDISH ROCK ENGINEERING RESEARCH

BERGTEKNISK FORSKNING

Ramprogram 1993-96



STIFTELSEN SVENSK BERGTEKNISK FORSKNING
SWEDISH ROCK ENGINEERING RESEARCH

BERGTEKNISK FORSKNING

Ramprogram 1993-96

STIFTELSEN SVENSK BERGTEKNISK FORSKNING
SWEDISH ROCK ENGINEERING RESEARCH
SveBeFo Rapport 1

BERGTEKNISK FORSKNING
Ramprogram 1993-96

Stockholm 1993
ISSN 1104-1773
ISRN SVEBEFO-R--1--SE

FÖRORD

Föreliggande ramprogram för Stiftelsen Svensk Bergteknisk Forskning - SveBeFo har utarbetats i samråd mellan de tidigare organisationerna BeFo:s och SveDeFo:s kanslier och de intressenter som står bakom den nya stiftelsen SveBeFo. Den nya organisationen verkar sedan den 1 juli 1993 och arbetar med ramprogrammet som bas. Programmet omfattar ett trettiotal projektförslag om totalt 31,8 Mkr för treårsperioden juli 1993 - juni 96. Forskningen kommer att genomföras i SveBeFo:s regi med externt engagerade forskarresurser, främst vid de tekniska högskolorna i Stockholm, Göteborg och Luleå, samt med egen forskningskompetens inom specialområdet sprängningsteknik.

Programmets inledande avsnitt ger en allmän bakgrundsbeskrivning och motiv för forskningsinsatser inom olika delområden. Därefter presenteras de olika projektförslagen områdesvis och med mer ingående motiveringar.

Enligt avtal mellan SveBeFo och staten genom NUTEK och BFR kommer programmet att finansieras till 60 procent av SveBeFo:s industriintressenter, delvis i form av egna resursinsatser från företagen ("naturainsatser"), medan resterande 40 procent finansieras av NUTEK och BFR.

En ny programstyrelse kommer att utses för att svara för programmets genomförande efter beredning vid SveBeFo:s kansli. Det bör påpekas att programförslaget anvisar ramar för de olika projekten, som i många fall kan komma att modifieras i samband med den mer detaljerade planeringen inför start av respektive projekt.

Stockholm i september 1993

Tomas Franzén

BERGTEKNISKT RAMPROGRAM 1993 - 96

INNEHÅLL

FÖRORD

HUVUDMÄN i SveBeFo juli 1993	3
------------------------------	---

SAMMANFATTNING	4
----------------	---

1	INLEDNING	6
1.1	Ny stiftelse för bergteknisk forskning- SveBeFo	6
1.2	Kortfattad marknadsöversikt	8
1.3	Motiv för bergteknisk FoU	11
1.4	Bergteknisk forskning i andra länder	14
2	FORSKNINGSPROGRAM 1993-96	16
2.1	Sammanställning av projektområden	17
2.2	Projektområden med projektförslag	18
	UNDERMARKEN I SAMHÄLLSBYGGANDET	18
	FÖRUNTERSÖKNINGSTEKNIK	20
	SPRÄNGVERKAN I BERG	23
	ORT- OCH TUNNELDRIVNING	26
	OMGIVNINGSPÅVERKAN VID SPRÄNGNING	29
	FRAGMENTERING I BERGTÄKTER	31
	FULLBORRNING AV TUNNLAR	33
	BERGFÖRSTÄRKNINGARS VERKAN	36
	INJEKTERINGSTEKNIK, TÄTNINGSEFFEKTER	39
	DETONIK OCH SPRÄNGÄMNESTEKNIK	42
	FÖRSTUDIER OCH FÄLTUPPFÖLJNING	46
	INFORMATION, INTERNATIONELL SAMVERKAN	47

Bilaga 1: Sammanställning av projektförslag

Bilaga 2: Projekt Brinnmodell. Samarbete mellan SveBeFo och FOA

HUVUDMÄN i SveBeFo juli 1993

Byggtreprenörernas bergforskningsgrupp

Skanska

NCC

Siab

JM Bygg

WP-System

BESAB

Stabilator

BPA Bygg (PEAB)

Kraftbyggarna

Geosigma

Golder Geosystem

J&W Bygg- och Anläggning

Scandiaconsult

TYRÉNS

VBB VIAK

Vattenfall Hydropower

Atlas Copco

Nitro Nobel

LKAB/Kimit

Banverket

Vägverket

Sydkraft

Svensk Kärnbränslehantering (SKB)

Grus- och Makadamföreningen (GMF)

SAMMANFATTNING

SveBeFos ramprogram för bergteknisk forskning under perioden juli 1993 - juni 96 har tagits fram vid de tidigare BeFo:s och SveDeFo:s kanslier i samråd med intressenterna bakom den nya stiftelsen SveBeFo, som är i verksamhet sedan den 1 juli 1993.

Att bygga i berg är en speciell uppgift i och med att byggnadsmaterialet finns "på plats" och måste accepteras sådant det är, sedan man väl valt placering eller sträckning av ett bergrum eller en tunnel. Det ställs därför stora krav på att i förväg kunna förutsäga vilka förhållanden som råder i "bergmassan" och att dimensionera anläggningen med hänsyn till dessa. Förstärkningsinsatser och tätningsåtgärder måste baseras på förundersökningar i ett planeringsskede och observationer i anläggningen under byggandet. Bergmekanik inklusive fragmenteringsförlopp, geofysik och geohydrologi liksom materialteknologi är viktiga vetenskapsgrenar som måste behärskas i kombination med en väl utvecklad produktionsteknik för brytning och byggande i berg.

Ramprogrammet utgår från en marknadsbedömning, som främst tar fasta på utvecklingsbehoven i samband med utbyggnaden av den tekniska infrastrukturen och därmed sammanhängande miljökrav. Särskilt de planerade väg- och järnvägsutbyggnaderna innehåller betydande bergarbeten, både ovan och under jord, delvis under svåra förhållanden. En fortsatt kunskapsutveckling är nödvändig för att dessa anläggningar ska kunna utföras med god kvalitet och beständighet på lång sikt. De kommer också att vara viktiga referensanläggningar för de nu ökande satsningarna på utlandsmarknaden, där nya förutsättningar kommer att råda i Europa i och med att marknaden blir öppen för konkurrens över gränserna.

Specialiteten att bygga i hårt berg måste vidmakthållas och utvecklas, samtidigt som andra bergförhållanden också måste behärskas. Sprängningstekniken kommer alltför att vara viktig, även om många tunnelprojekt numera drivs med sk fullborrningsteknik.

Bergtäkter svarar för en allt större del av produktionen av ballastmaterial för olika ändamål. Fragmenteringstekniken för krossmaterial behöver utvecklas för en bättre kontroll över kvaliteten på slutprodukten, som trots sitt förhållandevis låga förädlingsvärde också har en exportpotential.

Gruvföretagens bergbrytning sker till stor del på stora djup, vilket ställer höga krav på att behärska bergmekanik och förstärkningsteknik.

Programmet innehåller ett trettiotal projekt fördelade inom områdena Undermarken i samhällsbyggandet, Förundersökningsteknik, Sprängverkan i berg, Ort- och tunneldrivning, Fragmentering i bergtäkter, Fullborrningsteknik samt Förstärknings- och tätningsteknik. Därtill planeras en större insats för vidareutveckling inom sprängämnestekniken i nära samarbete med FOA.

Programmet omfattar för treårsperioden projekt om totalt 31,8 Mkr , med en planerad finansiering om 60 procent från stiftelsens industriintressenter och 40 procent från staten genom NUTEK och BFR. Forskningen kommer att genomföras i SveBeFo:s regi med externa forskningsresurser, främst vid de tekniska högskolorna i Stockholm, Göteborg och Luleå, samt med egna forskare inom området sprängningsteknik.

1 INLEDNING

1.1 Ny stiftelse för bergteknisk forskning - SveBeFo

Genom Stiftelserna Bergteknisk Forskning (BeFo) och Svensk Detonikforskning (SveDeFo) har ett antal svenska företag sedan några år bedrivit gemensam forskning inom området bergteknik och undermarksbyggnad. Området är en internationellt erkänd svensk specialitet, som fått förnyad aktualitet i samband med de nya satsningarna på landets infrastruktur. Banverkets utbyggnader och de s k storstadspaketen är väl kända exempel inom trafikområdet med betydande inslag av undermarksutnyttjande; därtill kommer anläggningar inom energisektorn, annan teknisk försörjning, avfallshantering m fl. Samtliga områden är starkt relaterade till dagens och framtida krav på miljön.

Forskningen inom BeFo och SveDeFo har representerat fältet från grundläggande bergteknik till projekt av mer tillämpad karaktär och finansierats av de drygt tjugo företag som ingått i stiftelserna samt staten genom industriforskningsavtal med NUTEK och BFR.

Inom BeFo:s ramprogram har främst institutioner vid de tekniska högskolorna i Stockholm, Göteborg och Luleå medverkat i olika grad med hänsyn till aktuell profilering och kompetens. Höga krav på kvalitet och relevans i förhållande till industrins behov har alltid varit en utgångspunkt för verksamheten, med syftet att forskningsresultaten ska bidra till företagens konkurrensförmåga, men också att forskarna själva skall få en kunskapsprofil som gör dem attraktiva för senare anställning inom industrin.

Inom SveDeFo har ett tiotal forskare arbetat i nära samverkan med sina intressenter och ofta med betydande inslag av fältförsök. Utöver företagens engagemang i ramprogrammets forskningsprojekt har man också utnyttjat forskarnas kompetens genom att lägga forskningsuppdrag vid stiftelsen.

För att koncentrera och effektivisera verksamheten, har de båda organisationernas huvudmän under våren 1993 bildat Stiftelsen Svensk Bergteknisk Forskning - SveBeFo, för att börja verka fr o m den 1 juli. Den nya stiftelsens ändamål är *"att främja och bedriva forskning och utveckling inom området bergteknik inklusive sprängnings- och sprängämnesteknik, med tillämpning på berganläggningar ovan och under mark"*. Verksamheten kommer att bedrivas *"genom projektadministration och utnyttjande av externa forskningsresurser samt med egen forskningskompetens inom sprängning och detonik"*.

Inför perioden juli 1993 - juni 1996 har man utarbetat föreliggande förslag till ramprogram avsett att genomföras enligt tidigare modell med gemensam finansiering från industriintressenter och staten genom NUTEK och BFR.

Vid sidan av ramprogrammet, som utgör basen för SveBeFo:s verksamhet, kommer särprojekt att bedrivas med särskild finansiering. Det finns också planer på vidgade satsningar inom undermarksbyggandet, där ett ytterligare utvecklat samarbete med högskolor och andra forskningsinstitutioner ska ingå enligt det mönster som regeringen har föreslagit för nya s k kompetenscentra. Ett sådant "centrum för avancerat undermarksbyggande" kommer att arbeta med forskning och utveckling av ny teknik för byggandet under mark men också ta upp andra forskningsområden av betydelse för ett rationellt utnyttjande av undermarken som resurs i infrastrukturen. Liksom andra byggnader måste undermarksanläggningar utformas med stor hänsyn till den omgivande miljön, både i byggnadsskedet och i bruksstadiet, och "tvärvetenskapliga" forskningsområden vid sidan av den avancerade byggnadstekniken kan gälla exempelvis undermarkens roll i samhällsplaneringen, fastighetsrättsliga frågor, säkerhetsaspekter och omgivningspåverkan samt "människan under mark".

SveBeFo kommer också att ha en viss uppdragsverksamhet inom specialområdet detonik och sprängteknik. Uppdragen ska ha forskningskaraktär och ses som ett komplement till forskningen inom ramprogrammet.

Vid sidan av forskningsverksamheten har SveBeFo också en viktig roll som ett samlande forum för bergbrytning och bergbyggande och svarar för konferensdagar, seminarier, internationella samarbeten mm.

1.2 Kortfattad marknadsöversikt

Bergarbeten ingår som en viktig del i anläggningsverksamhet, både ovan och under jord. Bergsprängning är fortfarande den dominerande tekniken för att forma berggrunden efter aktuella behov, även om mekanisk avverkning med hjälp av tunnelbormaskiner (TBM), s k fullbörning, på senare tid har blivit ett alternativ för tunneldrivning, också i hårt berg. Vertikala schakt och stigorter i gruvor fullböras nästan uteslutande sedan en längre tid.

Marknaden för bergarbeten följer i stora drag konjunkturen för anläggningsbyggande i allmänhet men är givetvis också beroende av andra faktorer. Som exempel kan nämnas den omfattande utbyggnaden av stora bergtrum för oljelagring under sjuttioalet, som var en följd av oljekrisen och en teknikutveckling, som gjorde det tekniskt och ekonomiskt intressant att välja just denna lösning för energilagring. Efter en mycket aktiv period för bergbyggandet under sjuttioalet har det legat på en lägre nivå under större delen av åttiotalet. I samband med de påbörjade satsningarna på utbyggnad av vägar och järnvägar har volymerna åter börjat öka och några exempel på aktuella projekt ges i följande översikt.

Infrastruktur i Sverige och Europa

I en tid av ekonomisk stagnation i stora delar av världen framhålls betydelsen av satsningar på "infrastrukturen" för att "bädda" för kommande bättre tider. Investeringar görs framförallt i förbättrade kommunikationer, det gäller Sverige men också Europa i övrigt. Inom EG har investeringar i infrastrukturen hög prioritet med hänsyn till den fortsatta utvecklingen av den gemensamma marknaden med avsikten att stärka regionens konkurrenskraft, främst i förhållande till USA och Japan. Anläggningsbyggande är fortfarande till stor del en lokal, "skyddad marknad" inom respektive land, men de nya reglerna för offentlig upphandling av större projekt inom EG-området kommer att leda till ökande konkurrens över gränserna och därmed allt större krav på den tekniska kompetensen hos såväl beställare som leverantörer.

Järnvägsutbyggnader på kontinenten innehåller betydande tunnelarbeten i skiftande geologiska miljöer och ofta i tätt bebyggda regioner. Bland vägtunnelprojekt kan nämnas det mest spektakulära, nämligen den nyligen beslutade 50 km långa tunnelförbindelsen under Alperna.

I Sverige innefattar Banverkets utbyggnader ett flertal tunnlar, varav några byggs under svåra förhållanden. De två, åtta kilometer långa, parallella tunnlarna genom Hallandsåsen drivs med en nykonstruerad tunnelbörningsmaskin i delvis svår geologi och med stora täthetskrav, för att inte grundvattenbalansen i området skall rubbas.

Landets storstadskommuner planerar "paketlösningar" för biltrafik och kollektiv trafik med omfattande undermarksarbeten, speciellt i Stockholm, där utbyggnaden av den s k Ringen innehåller (dubbla) bergtunnlar om ca 12 km, delvis under känslig bebyggelse och även här med stora krav på täthet mot grundvatteninläckning. Bergrum för arkiv under Kungliga Biblioteket i Stockholm är ytterligare ett i stadsmiljö där störningar på omgivningen måste begränsas, både vad gäller vibrationer och påverkan på grundvatten.

Svensk Kärnbränslehantering, SKB, kommer om något år att ha nått ned till fullt djup, ca 500 m, vid det s k berglaboratoriet på Äspö, norr om Oskarshamn. De speciella kraven med hänsyn till kärnavfallens speciella karaktär har lett till att man genomför mycket avancerade undersökningar av bergmassan med nyutvecklade metoder, som rätt tillvaratagna kan ge en mängd "spinn off"-effekter för övrigt bergbyggande. Av särskilt intresse är geofysiska förundersökningstekniker och ett utvecklat geohydrologiskt kunnande.

De under några år mycket intensiva satsningarna på ett omfattande naturgasnät i Sverige har mattats och för tillfället nästan helt avstannat, detta som en följd av en politisk uppgörelse om den framtida energipolitiken och ett allmänt mindre behov av energi under den rådande lågkonjunkturen. Likafullt kan i framtiden förutses en fortsatt utbyggnad och därmed ett behov av bergförlagda lagringsanläggningar för naturgas. Utförda storskaliga experiment har visat på flera tekniskt möjliga lösningar.

Avfallshantering är ett annat område som kommer att kräva nya lösningar, när ekonomin i allmänhet expanderar och resurser kan avsättas för att lösa problemen med ökande mängder avfall, krav på sortering och särskild hantering av olika typer av avfall. Bergrum och bergschakt kan här bli viktiga komponenter. Exempel finns i Finland, där utsprängning och tätning av bergkonturen av ett stort öppet schakt måste ske med särskild omsorg för att förhindra läckage av föroreningar från upplaget.

Bergtäkter för ballastmaterial är en mycket stor och växande verksamhet på grund av allt större restriktioner när det gäller att utnyttja naturgrus för byggnadsändamål (betong och vägbyggen). Av en total grus- och makadamproduktion om mer än 100 ton årligen är numera 25% krossberg. Inom branschen satsar man på forskning i strävan efter att öka det ekonomiska utbytet, bl a genom en mindre finandel i produktionen och genom att anpassa kvaliteter till gällande europeiska normer.

Bergbrytning i gruvor

Malmproduktion i Sverige sker för närvarande vid LKAB med två gruvor, Boliden ett drygt tiotal samt vid Zinkgruvan och ett par ytterligare mindre fyndigheter. Metallpriserna har varit låga under en längre period och företagen strävar efter att hålla nere alla kostnader för att klara ekonomin i avvaktan på stigande priser.

Bergarbeten i gruvorna sker för närvarande på flera håll under krävande förhållanden, i och med att brytningen går ned på stora djup, omkring 900-1000 m, exempelvis vid järnmalmgruvorna i Kiruna och Malmberget, och i sulfidmalmgruvorna i Kristineberg och Zinkgruvan. Erfarenheter från det nyligen avslutade forskningsprogrammet i MITU:s regi, Gruvteknik 2000, har beaktats i programplaneringen, speciellt inom bergförstärkningsområdet och den mer praktiskt orienterade sprängningstekniken.

Internationellt bergbyggande

Bland pågående större utlandsprojekt i svensk regi, skall speciellt nämnas det stora kraftverksbygget i Kashmir (Uri-projektet), som bl a innefattar bergtunnlar genom ännu tektoniskt aktiva rörelsezoner i Himalaya. Därtill byggs bl a oljelager i berg i södra Afrika, en kraftverksdam i Panama och tunnlar på Island. I och med den kraftiga nedgången i hus- och industribyggandet på hemmamarknaden strävar företagen åter mot en ökande andel utlandsbyggande, där stora anläggningsprojekt är en viktig marknad, särskilt i länder där vi från svensk sida kan bistå med att finna finansieringslösningar.

I den internationella konkurrensen är det av största betydelse att det svenska kunnandet finns dokumenterat, i form av byggda anläggningar på hemmamarknaden och utomlands, men också i form av forskningsverksamhet på en sådan nivå att den kan mäta sig med vad som presteras från de viktigaste konkurrentländerna. Det betyder bl a att vi också måste behärska "svagt berg" vid sidan av vår traditionella specialitet, att bygga i hårt berg.

1.3 Motiv för bergteknisk FoU

Som nämnt är bergarbeten viktiga inslag i en mängd projekt i den pågående utbyggnaden av infrastrukturen. Dessa stora investeringar görs i anläggningar, som ska brukas i femtio år eller mer. För att de ska kunna byggas med god kvalitet och beständighet på lång sikt krävs hög ingenjörskompetens hos producerande företag och rådgivare. För att upprätthålla och utveckla kunnandet måste byggandet åtföljas av FoU-insatser i rimlig proportion till den pågående verksamheten. Den industrigemensamma forskningen tjänar syftet att samla branschens engagemang för forskning med en inriktning och kvalitet, som kan hävda sig väl internationellt och samtidigt på sikt gagnar det praktiska bergbyggandet.

Ämnet bergteknik förknippas i Sverige som regel med bygga i "hårt berg", och vi är onekligen internationellt och med rätta kända för att vara specialister på det området. Även forskningsmässigt gör man ofta en gränsdragning mellan den hårda berggrunden och lösa, kvartära avlagringar som lera, morän och andra jordlager. Likafullt innefattar "bergbygga" även i Sverige på många håll passager av svagare partier som kross- och lerzoner eller vattenförande spricksystem, som kan vara svåra att tackla, särskilt på större djup. Metoder för bygga i svagt berg måste därför utvecklas ytterligare, inte minst med hänsyn till utlandsmarknaden, vilket tidigare har påpekats.

Samtidigt måste specialiteten och kunnandet att bygga i det hårda berget vidmakthållas. Det är viktigt att vidareutveckla sprängningstekniken, som volymsmässigt och under överskådlig framtid rimligen kommer att vara dominerande, även om den på senare år fått stimulerande konkurrens av fullborrningstekniken. Inom sprängningstekniken måste exempelvis möjligheterna hos de nya "exakta", elektroniska tändarna utnyttjas som en komponent för att optimera hela sprängningscykeln, både för att driva skonsamt, dvs att skapa en tunnelkontur med minimal påverkan på det omgivande berget, och "försiktigt", dvs med minsta möjliga störningar på omgivningen i form av buller och vibrationer.

Sprängningstekniken bygger på kunskaper om sprängämnens verkan i sig (detonationsfysik eller "detonik") samt deras verkan i borrhål i berg. Teknikutvecklingen inom området sker dels i form av direkt produktutveckling på kommersiell basis hos de större sprängämnestillverkarna, Nitro Nobel och Kimit, medan användarnas behov i kombination med tillverkarnas intressen kommer till uttryck i SveBeFo:s forskningsprogram. Den mer tillämpade sprängningstekniken kan därvid ses som en del av byggnadsprocessen från planerings- och projekteringsstadiet till ett färdigt, utbrutet, tätat och förstärkt bergutrymme. De mer grundläggande forskningsinsatserna inom detoniken utgör en bas för de tillämpade projekten och beskrivs i en särskild bilaga, som även redovisar planerat nära samarbete med FOA.

Bergtäkter för produktion av ballastmaterial till väg- och järnvägsbyggen, betongtillverkning mm har fått allt större betydelse i och med alltmer begränsade möjligheter att utnyttja naturgrus. Det är dels en faktisk brist på täkter inom rimliga avstånd från aktuella byggplatser, dels visar det sig svårt att efter en miljöprövning få tillstånd att öppna nya grustäkter. Ett ökande intresse för forskningsinsatser från producenterna har inneburit att man har tagit fram omfattande forskningsplaner avsedda att genomföras på olika håll och där man funnit SveBeFo vara en lämplig organisation för att driva en del av projekten och ta visst samordningsansvar.

Svensktillverkade maskiner för bergbrytning innefattar numera inte bara över världen välkänd utrustning för borrhning och sprängning, utan också avancerade fullborrningsmaskiner för tunnlar i hårt berg med diametrar upp till tio meter. Under våren 1993 har Atlas Copco också förvärvat den främste konkurrenten, Robbins, och därmed ytterligare stärkt sin ställning inom fullborrningsområdet. För att göra tekniken mera komplett krävs en vidareutveckling av förstärknings- och tätningmetoder som speciellt anpassas till denna drivningsteknik.

Utöver högteknologisk maskinutrustning finns andra tekniskt avancerade inslag i bergbyggandet, bl a i förundersökningstekniken, där elektronik och datorbaserade tolkningsmetoder har gett nya möjligheter, till stor del tack vare insatser i samband med forskningen kring kärnavfallsförvaring. Dessa metoder har en stor, i dag alltför lite utnyttjad, potential för översiktliga undersökningar och som komplement till dyra punktvisa provborrningar. Inom kärnavfallsforskningen framtagna metoder bör kunna anpassas ytterligare för användning vid annat bergbyggande och har då också en betydande exportpotential, dels i form av undersökningsinstrument för försäljning, men framförallt också i kombinationen avancerad utrustning och specialister för fältarbeten och tolkning av undersökningsresultat som del i förundersöknings- eller projekteringsuppdrag.

Vid bergmekanisk design används idag datormodeller som ett normalt hjälpmedel för beräkningar och för att åskådliggöra ibland svårfångade tredimensionella geometrier. De alltmer eleganta och kraftfulla programmen och presentationsmöjligheterna medför dock en risk att de grundläggande frågorna om relevans hos indata och den använda beräkningsmodellen kommer i bakgrunden. En god bergmekanisk insikt och förståelse för exempelvis samverkan mellan berg och förstärkningselement är en növärdig förutsättning för projektören, oberoende av vilka beräkningshjälpmedel som står till förfogande. Man efterfrågar i bygghandlingar i dag alltmer ingående specifikationer och dokumentation av exempelvis förstärkningsinsatser, vilket i sin tur kräver ständigt bättre kunskapsunderlag för dimensioneringen. Förstärkningars verkan är med andra ord fortfarande ett viktigt forskningsområde, där vi har goda förutsättningar att gå vidare för att även fortsättningsvis ligga i den internationella forskningsfronten. Bättre kunskaper ger också ökade förutsättningar för kvalitetssäkring enligt den nya praxis som är på väg att etableras inom byggsektorn.

Beslutsprocessen för anläggningsverksamhet innefattar bygglovsprövning enligt plan- och bygglagen (PBL), och i många fall måste projekten också prövas enligt naturresurslagen och vattenlagen. För att bedöma omgivningspåverkan av olika slag upprättas miljökonsekvensbeskrivningar, där eventuella effekter på grundvattenförhållanden är ett viktigt moment. Att behärska de geohydrologiska förhållandena i bergmassan är därmed en central punkt. De mycket omfattande undersökningarna vid SKB:s berglaboratorium i Äspö har inneburit stora framsteg när det gäller att förstå och förutsäga vattenrörelser i en sprucken bergmassa. Det har också givits tillfälle att pröva olika modeller för att täta berget runt en tunnel med hjälp av cementinjektering. De aktuella modellerna har tagits fram vid KTH i tidigare BeFo-projekt, och det finns nu goda möjligheter att fortsätta dessa försök för att ytterligare utveckla och anpassa modellerna till praktiken behov.

Stora investeringar i anläggningar med planerad lång livslängd måste göras med en teknik, där man har en god uppfattning om beständigheten på lång sikt. Erfarenheter från några inträffade ras i kraftverkstunnlar och från anläggningar där sprutbetongförstärkningar påverkats av inträngande salthaltigt vatten, motiverar forskningsinsatser kring förstärkningarnas livslängd. Samarbete planeras med andra forskningsinstitut, exempelvis Cement- och Betonginstitutet (CBI) och Korrosionsinstitutet.

1.4 Bergteknisk forskning i andra länder

Kort skall nämnas något om pågående aktiviteter i våra grannländer och Europa. USA, Kanada, Japan och Australien är andra länder som har bergtekniska utvecklingsprojekt av sådan standard och inriktning att de är av intresse att följa från svensk sida. Så sker också genom etablerade kontaktnät via internationella organisationer, konferenser och direkta personkontakter.

Inom EGs egna forskningsprogram har man ännu inga uttalade satsningar på byggsektorn, som allmänt betraktas som en konservativ bransch med liten andel avancerad teknik. Det är därför viktigt att utnyttja den stimulans till teknikutveckling som de pågående och planerade stora anläggningsprojekten i Sverige innebär och verka för att vi ska kunna få en stark position i kommande europeiska FoU-program. Många anläggningsprojekt innehåller bergbyggande som i vissa fall måste ske under svåra geologiska förhållanden, vilket innebär goda möjligheter att utveckla och pröva ny teknik och att ta fram nytt och mer fullständigt kunskapsunderlag för tekniska specifikationer, viktigt inte minst med tanke på pågående normarbeten i Europa. I det s k BRITE EURAM-programmet finns inom området mineralresurser vissa beröringspunkter med bergtekniken, varför man från SveBeFo:s sida har kunnat delta i projektansökningar för specialområden som fragmenteringsteknik vid bergtäkter och teknik för slitsning med högttrycksvatten. Det är klart angeläget att fortsättningsvis också bevaka alla möjligheter att delta via dessa stora program för att öka våra forskningsresurser och finna ingångar i det europeiska forskningssystemet.

I Finland pågår ett program Bergteknik 2000 (Rock Engineering 2000) under perioden 1991-95, koordinerat av finska civilingenjörsföreningen och finansierat på 50/50-basis genom industriinsatser och TEKES (motsvarighet till NUTEK). Inom sex programområden startas projekt successivt, vartefter intressenter är beredda att gå in med erforderliga medel i form av direkt finansiering av forskningen eller genom egeninsatser. Även utländskt deltagande i projekt kan förekomma. Flera projektförslag ligger nära områden som bearbetas i Sverige och samverkan planeras bl a inom tättningsområdet och fragmenteringsteknik för bergtäkter.

I Norge har ett treårigt bergbyggnadstekniskt program i stort sett avslutats och man planerar för en ny period. I det första programmet diskuterades till en början direkt samarbete med Sverige inom sprutbetongtekniken, men stora omprioriteringar gjordes hösten 1991 i och med att den stora berghallen i Gjøvik blev aktuell. Norska forskningsresurser koncentrerades därmed till detta pionjärprojekt, där spännvidden nästan fördubblades jämfört med tidigare utförda rum (61 m jämfört med tidigare som mest 30 - 35 m). I forskningsprogrammet för hallen deltar f ö även SveBeFo med en mindre andel, motiverat av det gemensamma intresset att få till stånd en referensanläggning av detta slag och speciellt med tanke på de undersökningar och den dokumentation som görs kring säkerhetsfrågor mm. Man studerar t ex

brandskydd, utrymningsvägar och psykologiska faktorer i samband med att hallen används vid stora sportevenemang och andra publika arrangemang. I Norge planerar man också för gemensamma forskningsprogram via BVLI, vilket närmast motsvarar Svenska Gruvföreningen, men även innefattar krossproducenter, täktägare m fl.

Sammanfattningsvis kan sägas att SveBeFo genom sina rötter i de tidigare organisationerna BeFo och SveDeFo har väl etablerade förbindelser med våra nordiska grannländer och att ett kontinuerligt informationsutbyte sker och i en del fall även närmare samarbete i konkreta projekt.

Internationellt samarbete sker också via arbetsgrupper inom exempelvis International Tunnelling Association, där vi deltar aktivt i grupper om planering, säkerhetsfrågor, sprutbetongteknik m fl. Inom International Society for Rock Mechanics har vi ett aktivt engagemang speciellt i arbetsgruppen för injekteringsteknik, där vår forskning ligger i den internationella fronten.

2 FORSKNINGSPROGRAM 1993 - 96

För perioden 1 juli 1993 - 30 juni 1996 har upprättats följande ramprogram om 31, 8 Mkr att genomföras med hjälp av externa forskarresurser, i första hand vid de tekniska högskolorna i Stockholm, Göteborg och Luleå, samt med projektledare och forskare vid SveBeFo inom specialområdet sprängningsteknik och detonik.

Programmet presenteras i form av ett antal projektområden med tillhörande projektförslag och kostnadsramar. Enligt tidigare mönster kommer en programstyrelse att utses med ansvar för att programmet genomförs enligt givna ramar och intentioner. Programstyrelsen utses i samråd mellan SveBeFo:s styrelse, NUTEK och BFR. Vartefter mer detaljerade projektplaner tas fram genom SveBeFo:s kansli har man att godkänna organisation och start av respektive projekt och följa verksamheten i stort. Man har också möjlighet att föreslå förändringar i programmet då så kan vara motiverat med hänsyn till ändrade förutsättningar i olika avseenden.

2.1 Sammanställning av projektområden

	tkr	varav naturainsats
Undermarksplanering och förundersökningar	3 600	800
Sprängverkan i berg	3 500	900
- modell för sprickbildning		
- fältexperiment		
Ort- och tunneldrivning	2 200	700
- sprängteknik		
Omgivningspåverkan vid sprängning	500	100
Fragmentering i bergtäkter	2 500	500
Fullborrning av tunnlar	1 900	400
- prognoser		
- förstärkning		
Bergförstärkningars verkan	3 500	900
Injekteringsteknik, tätningseffekter	2 600	600
Detonik och sprängämnesteknik	6 000	600
- brinnmodeller (samverkan FOA)		
- tryckverkan i laddade hål		
Förstudier, fältuppföljning	3 500	900
Projektberedning, internationell samverkan (ITA, ISRM, EG mm), information	2 000	
Totalt	31 800	6 400 (20 %)

Detaljerad sammanställning av projektförslag, se Bilaga 1

2.2 Projektområden med projektförslag (n betecknar "naturainsats" eller "resursbidrag")

UNDERMARKEN I SAMHÄLLSBYGGANDET (1 400 tkr varav n 200 tkr)

Ett växande intresse för att utnyttja undermarken i samhällsbyggandet har fört med sig ett ökat behov av rutiner för att hantera planfrågor och andra aspekter av undermarksanvändning än de rent byggnadstekniska. Enligt den nu gällande Plan- och bygglagen (PBL) krävs bygglov även för undermarksanläggningar, men rutiner för bedömning av bygglovsärenden saknas. Även i detalj- och översiktsplaner skall undermarkens användning beaktas. Då undermarksfrågorna behandlas måste ofta miljökonsekvenser bedömas och mer eller mindre ingående miljökonsekvensbeskrivningar upprättas. Utöver PBL krävs ofta tillstånd enligt bl a väglagen och vattenlagen för byggande under mark. Samspelet mellan lagarna är i många fall oklart.

Inom ramprogrammet föreslås att erfarenheter från genomförda projekt sammanställs för att kunna tjäna som ledning vid kommande arbeten.

Människors inställning till vistelse i undermarksförlagda utrymmen är endast i liten utsträckning kartlagd. Undermarksmiljön upplevs av många som skrämmande. Kunskapen om hur olika faktorer påverkar detta är dåligt utvecklad. Även internationellt har endast ett fåtal studier genomförts. Klart är dock att säkerhet, luftkvalitet, belysning och design är viktiga aspekter. Initiativ till attitydförändringar kan tas inom SveBeFo:s ram, medan genomförande och finansiering av större insatser föreslås ske via andra instanser.

Undermarken i planeringssystemet

(Projekt 111)

Syfte:

Att genomföra studier som kan förenkla och utveckla planerande och tillståndsgivande myndigheters rutiner för handläggningen av undermarksprojekt.

Genomförande:

Genomgångar av praktiska fall och jämförelser med gällande lagstiftning för att se eventuella hinder som behöver åtgärdas respektive finna goda exempel att sprida erfarenheter från.

Mål:

Att tillsammans med berörda myndigheter ge anvisningar för att hantera planering och tillståndsgivning vid undermarksanläggningar. Att redovisa eventuella behov av lagförändringar.

Kostnadsram: 400 tkr (varav naturainsats 100 tkr)
(Ev kompletterande finansiering via BFR)

Miljökonsekvenser vid undermarksbyggande

(Projekt 112)

Syfte:

Att föreslå lämplig uppläggning av miljökonsekvensbeskrivningar

Genomförande:

Genomgång av några aktuella fall och redovisning av sådana svårigheter, som är direkt förknippade med bedömningen av undermarksärenden, inklusive de krav som ställs då vattendom är aktuell. Genomförs av en mindre grupp av utredare med gedigen erfarenhet av ärenden från olika delar av landet.

Mål:

Kortfattad skrift med exempel på metoder och innehåll i miljökonsekvensbeskrivningar av undermarksanläggningar. Redovisning av några typiska miljökonsekvenser samt hur dessa kan åtgärdas.

Kostnadsram: 600 tkr (varav n 100)

Människan i undermarken

(Projekt 113)

Syfte:

Att klargöra vilka faktorer som kan upplevas som hotande vid vistelse under mark samt finna exempel på hur detta tacklats.

Genomförande:

En analys av olika orosfaktorer bör kunna ske genom litteraturstudier och kontakter med beteendevetare/psykologer samt kompletterat med intervjuundersökningar av nyttjare av undermarksanläggningar. Exempel på hur dessa frågor hanterats redovisas genom sammanfattning av erfarenheter från genomförda undermarksprojekt i andra länder. Bl a skall utnyttjas erfarenheter från arbeten vid Underground Space Center i Minnesota liksom resultat från Gjøviksprojektet i Norge.

Mål:

Att ge anvisningar för utformning av publika undermarksanläggningar.

Kostnadsram: 400 tkr

Byggande i berg föregås alltid av en bedömning av vilka bergförhållanden man kommer att träffa på i det aktuella bergpartiet. Det ligger i sakens natur att man aldrig kan få en hundra procentig kunskap om berget i varje punkt. Det är därför en grannliga uppgift att med hjälp av olika undersökningsmetoder bilda sig en tillräckligt god uppfattning om förhållandena för att kunna välja byggnadsmetod och göra en rimlig kostnadsberäkning. Kraven på dessa bedömningar ökar ständigt och det finns därför ett stort behov av fortsatt utveckling av rationella och tillförlitliga undersökningsmetoder, både för projekteringsskedet och drivningsstadiet. Det gäller både undersökningsmetoderna som sådana men också metodik för att tolka resultat och utifrån dessa ställa prognoser och göra riskbedömningar. Kraven är särskilt stora i samband med fullborrning, där oförutsedda svårigheter kan medföra mycket stora kostnader i och med den stora kapitalkostnad som ligger i maskinutrustningen och de begränsade möjligheterna att modifiera tunnelns läge eller form med hänsyn till variationer i bergförhållandena. Kvalificerad riskbedömning är också ett viktigt moment i olika besluts-skeden, där t ex kontraktsformer med totalansvar ställer extra höga krav på riskvärdering. Likaså ställs allt oftare krav på riskanalyser i samband med tillståndsgivning för undermarksarbeten.

Nya, mycket avancerade geofysiska undersökningsmetoder har utvecklats i samband med SKB:s arbeten för kärnavfallsförvaring med de speciella "beviskrav" man där har för att kunna uttala sig om det s k slutförvarets funktion under mycket lång tid. Metoderna har också till viss del kommit till användning vid konventionellt bergbyggnad. I det enskilda fallet blir dock en kostnadsavvägning avgörande för vilka metoder som kan komma i fråga. Inom BeFos tidigare program har utvärderingar gjorts med syfte att sprida kunskap om geofysiska undersökningsmetoder och deras möjligheter, och några pilotstudier i fält har också genomförts. För den kommande programperioden föreslås en allmän teknikbevakning som bas för nya initiativ och eventuellt för utbildningsinsatser på området.

För den speciella uppgiften att förutsäga geohydrologiska förhållanden har en förstudie genomförts under perioden 1990-93 med en allmän utvärdering av undersökningsstrategier vid några aktuella berganläggningar. Svårigheten och betydelsen av att förutsäga vattenförhållanden i berg har påtalats redan i det s k BeFo 18 - projektet om förundersökningars värde i slutet av sjuttio-talet. Kraven på att behärska vattensituationen har sedan dess successivt skärpts och man för numera omfattande diskussioner i samband med förstudier och beslutsprocedurer, där vattendom och miljökonsekvensbeskrivningar ofta ingår. Kraven gäller som regel att bibehålla nivå och kvalitet på befintligt grundvatten, exempelvis vid järnvägstunneln genom Hallandsås, berggrum under Kungliga Biblioteket i Stockholm eller de stora trafiktunnelsystemen i Stockholm och Göteborg. I andra fall är det av rent byggnadstekniska skäl nödvändigt att behärska vattenförhållandena, särskilt vid arbeten på stora djup som i Äspö-laboratoriet eller kraftverksbygget i Uri.

Vid projektering av berganläggningar med komplicerad geometri, stor spännvidd eller på stora djup är spänningsförhållandena i bergmassan viktiga för utformning och orientering av anläggningen. Spänningar mäts enligt två huvudmetoder, genom "överborrning", som medger att man bestämmer det treaxliga spänningstillståndet, eller genom "hydraulisk uppspräckning", som i princip endast ger spänningsförhållandena i två riktningar. I båda fallen får man i stort sett punktvis information, där variationer även inom relativt begränsade områden kan vara betydande, framförallt beroende av bergmassans geologi och sprickstruktur och knutet till den tektoniska situationen. De båda mätmetoderna har endast vid några få tillfällen jämförts under likartade förhållanden och då ansetts ge tämligen god överensstämmelse. Svårigheterna att tolka och utvärdera mätresultaten är dock fortfarande stora, och långtgående slutsatser dras ibland utifrån ett mycket begränsat underlag. Eftersom kraven på ingångsdata vid dimensionering av avancerade anläggningar är stora, föreslås nya forskningsinsatser för ökade kunskaper om bergspänningar och mätvärdens representativitet.

Geofysiska undersökningsmetoder

(Projekt 121)

Bevakning och koordinering av utvecklingsprojekt inom området

Kostnadsram: 200 tkr

Hydrogeologiska undersökningsmetoder

(Projekt 122)

Syfte:

Att vidareutveckla och anpassa geohydrologiska undersökningsmetoder för praktisk tillämpning i bergbyggandet

Genomförande:

Metodik som utvecklats inom SKB, främst i samband med Äspölaboratoriet, skall utvärderas och anpassas till behovet att före och under tunneldrivning bedöma vatteninläckning och tätningsbehov längs tunneln, inklusive inläckningens betydelse för omgivningen. Erfarenheter från användningen av Stockholms gatukontors anvisningar för bergarbeten skall utnyttjas liksom möjligheter till fältuppföljning vid pågående tunnelprojekt. Projektet grundas på resultaten av den tidigare nämnda förstudien om undersökningsstrategier.

Mål:

Metodanvisningar för hydrogeologiska undersökningar

Kostnadsram: 800 tkr (varav n 200)

Bergspänningars roll i bergbyggande

(Projekt 123)

Syfte:

Att utarbeta rekommendationer för utförande av bergspänningsmätningar och tolkning av mätresultat

Genomförande:

Utgående från kunskapsläget, dokumenterat vid den internationella konferensen 1986 i Stockholm, "Rock Stresses and Stress Measurements", och senare erfarenheter, bl a från SKB:s arbeten i Äspö och Underground Research Laboratory i Kanada samt "prefeasibility-studier" i samband med utlandsarbeten, skall de olika mätmetoderna ställas mot varandra och jämföras. Kompletterande mätinsatser kan också komma ifråga. Därtill skall tolkning och utvärdering av mätresultat granskas och rekommendationer för mätning och resultatredovisning tas fram.

Mål:

Rekommendationer för bergspänningsmätning

Kostnadsram: 600 tkr (varav n 100)

Risikanalys för undermarksarbeten

(Projekt 124)

Syfte:

Att pröva och utvärdera metodik för riskanalys i beslutsprocessen för undermarksarbeten

Genomförande:

Stora anläggningsarbeten bedrivs ofta med begränsad kännedom på förhand, exempelvis om jord-, berg- och vattenförhållanden. Beslutsgången innefattar därmed mer eller mindre medvetna riskbedömningar i olika skeden, där val av teknik får betydande ekonomiska konsekvenser. Inom projektet skall prövas i vilken mån etablerad beslutsteori kan tillämpas vid bergbyggande. Metodiken bör ingå som ett element i den "aktiv design"-filosofi som ofta tillämpas vid tunnelarbeten. Metodiken utvecklas inledningsvis som en generell och allmänt tillgänglig datorbaserad modell. Därefter tillämpas modellen på något större pågående undermarksprojekt.

Mål:

Utvärdering med förslag till användning av beslutsteori vid större undermarksarbeten

Kostnadsram: 600 tkr (varav n 300)
(Projektet inom ramprogrammet förutsätter en första, allmän del, finansierad med andra medel)

Om sprängskador i det kvarstående berget utanför den sprängda konturen kan minskas eller helt elimineras, minskar kostnaderna för skrotning och förstärkning, för uttag av överberg och eventuell betonggjutning samt för framtida underhållsarbeten i tunnlar och vägskärningar etc. En ökad produktivitet innebär också en snabbare avkastning på investeringarna.

Överbergsvolymererna kan bli mycket stora vid sprängning av höga vägsränter och pallkanter i dagbrott. Av kostnadsskäl vill man oftast göra väggarna så branta som möjligt, men detta försvåras genom sprängskadorna som försämrar den lokala stabiliteten.

För tunnlar och orter har en besparingspotential om upp till ca 2 000 kr per meter uppskattats, vilket för en årlig produktion om 40-60 km tunnlar i Sverige skulle motsvara 100 Mkr per år. Denna potential har varit utgångspunkten för arbetet med det nedan föreslagna projektområdet "Ort- och tunneldrivning".

I Västsverige finns ca 200 vägskärningar med ett bedömt reparations- och underhållsbehov om ca 1 Mkr vardera vart sjätte till åttonde år. Radikalt minskade sprängskador i slänterna skulle kunna innebära en fördubbling av nuvarande underhållsintervall. Västsverige har ca en tredjedel av landets vägskärningar. För landet som helhet kan därmed den totala besparingspotentialen uppskattas till 40-50 Mkr per år.

Boliden Minerals gruva i Aitik producerar årligen ca 27 Mton malm och gråberg. Gruvan är unik i Sverige genom sin storlek. Produktionssprängningar görs med 300-375 mm språnghål i salvor om upp till 1,8 Mton berg med 600 ton sprängämne. Det har uppskattats att en ökning av dagbrottets släntvinkel med en grad skulle innebära ett minskat gråbergsuttag om ca 7 Mton ner till nivån 400 m. Besparingspotentialen i detta skulle vara ca 50-60 Mkr och det bör vara möjligt att branta upp slänten ytterligare.

En hög precision i utsättning, borrhning och laddning är nödvändig om man vill uppnå bra sprängningsresultat. Även om utsättningen är noggrant gjord kan en dålig borrhning utöver stora överbergsvolymer ge onödiga sprängskador och en försämrad stabilitet. Detta kan ge stora utslag i t ex slänter där hålen borraras till 30 m djup.

Under perioden 1990-93 har SveDeFo drivit projektet "Sprängskador i slutlig slänt" med målet att fastställa orsakerna till sprängskador i berg och att utveckla lämplig teknik för att minimera skadorna. Huvuddelen av insatserna har gällt fältförsök i Vånga stenbrott i norra Skåne med studier av sprickbildningen runt borrhål med diametrarna 38-64 mm och frikopplade laddningar, dvs laddningar med mindre diameter än borrhålets. Resultaten visar att "frikopplingsgraden" är avgörande för storleken på de längsta sprickorna och att detonationshastigheten påverkar antalet kortare sprickor som bildas vid hålranden. Genom ökad håldiameter vid konstant ladd-

ningsdiameter kan man minska såväl spricklängden som uppmätta vibrationsamplituder.

Traditionella formler för beräkning av sprängskador tar inte hänsyn till de nämnda faktorerna på ett bra sätt och försöksunderlaget är ännu otillräckligt för nya prognosmodeller. Erfarenheter som presenterades vid BeFo-seminariet "Skadezonen vid tunneldrivning" i oktober 1992, bl a från sprängning av ortkonturer i LKAB:s Malmbergsgruva, visar att också in-spänningen och bergspänningarna är av stor betydelse för sprickbildningen. Inte heller dessa parametrar finns med i nuvarande prognosmodeller.

En del av projektet "Sprängskador i slutlig slänt" rörde skonsam sprängning av slänter med grova hål, vilken delvis finansierades med särskilt stöd från Bolidens Aitikgruva, Nitro Nobel AB och NUTEK. Resultaten visade på goda möjligheter att nå de av Boliden uppställda målen för geometrin på slänten med hjälp av ökad noggrannhet i borrhningen och en skonsam sprängning. En fortsättning är motiverad för att närmare undersöka hur de vertikala sprängskadorna skall kunna styras och hur man skall spränga för att uppnå en acceptabel bakåtbrytning. Då Boliden sedan januari 1993 inte deltar i ramprogrammet måste en eventuell fortsättning drivas som särprojekt eller uppdrag.

Modell för sprickbildning runt borrhål

(Projekt 131)

Syfte:

Att utveckla bättre sprängskad modeller så att inverkan av faktorer som frikopplingsgrad, detonationshastighet, spänningseffekter mm på sprickbildningen kan förutsägas.

Genomförande:

Utgångspunkten för arbetet skall vara fältförsöken i projekt 132 nedan och andra i litteraturen verifierade effekter. Ett samarbete med Colorado School of Mines planeras, framför allt vad avser teoribildningen.

Arbetet kan förslagsvis genomföras i följande steg:

1. Genomgång av befintliga teorier i avsikt att komplettera befintliga prognosformler.
2. En kontroll av hur väl dessa stämmer med resultaten från hittillsvarande fältförsök i Vånga.
3. Om de nya formlerna ger en god överensstämmelse så skall de användas för att styra de fortsatta fältförsök som föreslås nedan.
4. Formlerna kompletteras så att de beskriver resultaten av de fortsatta fältförsöken.

Mål:

En utvecklad teoretisk modell för sprickbildning runt borrhål

Kostnadsram: 500 tkr (varav n 100)

Sprickbildning runt borrhål, fältförsök och rekommendationer för skonsam sprängning

(Projekt 132)

Syfte:

Att fortsätta undersökningarna av orsakerna till sprängskador och att utveckla teknik för att minimera dessa.

Genomförande:

Orsakerna fastställs genom undersökning av de sprickor i kvarstående berg som laddningar av olika slag åstadkommer. Projektet är en fortsättning på och utvidgning av undersökningarna inom ramprogram 90-93, där enstaka skonsamt laddade klenhål skjutits i stenbrott och sprickorna sedan frilagts och fotograferats. Arbetet genomförs i nedanstående etapper som inriktas på olika faktorerers inverkan och följaktligen har olika delmål.

Inverkan av sprängämnestypen

Komplettering av tidigare resultat från enhålsskjutningar.
Motsvarande försök i berg med annorlunda strukturer.

Inverkan av spräng- och laddparametrar

Sprängämnets egenskaper såsom laddningskoncentrationen, detonationshastigheten, den specifika gasmängden och stötvågsenergin.

Laddparametrar såsom frikopplingsgraden, förladdningen, bottenladdningen och försättningen.

Undersökning i verkliga salvor

Sprickbildningen vid sprängning av flera hål i nära tidsföljd undersöks i syfte att efterlikna verkliga förhållanden, vilket sannolikt är nödvändigt för att bra rekommendationer skall kunna utfärdas.

Rekommendationer för skonsam sprängning

Resultaten från tidigare steg utnyttjas till att ta fram rekommendationer som kan användas ute på sprängarbetsplatserna.

Mål:

Rekommendationer för skonsam sprängning grundade på utvecklad teoribildning, verifierad med fältförsök.

Kostnadsram: 3 000 tkr (varav n 800)

Under perioden 1990-93 har SveDeFo arbetat med forskning för effektivare ort- och tunneldrivningsteknik. Arbetet har innefattat försök med drivning av långa salvor med nya öppnings och kontursprängningsmetoder. Bl a har man prövat konturhål med sprickanvisningar i form av längsgående slitsar som tagits upp med högtrycksvattenstrålar. Upptändningen av konturhålen har delvis skett med elektroniska sprängkapslar.

Dessa arbeten har främst bedrivits inom det s k Sofiaprojektet hos LKAB i Kiruna, där flera av SveDeFo:s intressenter medverkade. I projektet drevs över 1200 m ort och vissa av metoderna infördes sedan i den ordinarie tillredningen i Malmbergsgruvan. Där har nu medelindrifter om 7 m regelmässigt erhållits för salvor som laddats med ANFO.

Förutom Sofiaprojektet har några följdprojekt genomförts, bl a ett ytterligare prov med elektronisk sprängkapslar och vattenslitsade konturhål. I det senaste projektet utvecklades ny öppningsteknik för långa salvor laddade med bulkemulsion i syfte att nå jämnare och bättre indrifter.

Hittills erhållna resultat från försöken med elektronisk sprängkapslar och slitsning av konturer visar på klara förbättringar när det gäller konturjämnhet och överberg jämfört med konventionell teknik. Uppgifter från liknande försök i Japan bekräftar dessa erfarenheter.

Vad som ännu inte kunnat påvisas är en tydlig koppling till skrotnings- och förstärkningsinsatser. Den större omfattningen av skonsam sprängning borde resultera i mindre skrotning och minskat behov av bergförstärkning. I projektförslagen nedan är en huvuduppgift att undersöka effekterna på skrotning och förstärkningsbehov av en förbättrad kontursprängningsteknik.

I anslutning till det pågående programarbetet har SveDeFo medverkat i en projektansökan till EG:s forskningsprogram Brite-Euram II om provning av radiell vattenslitsning av hålbotten vid sprängning av vägskärningar. Målet är att åstadkomma stabila och underhållsfria slänter där sprängskadorna vid slänthöden inte är större än vid sprängkonturen i övrigt, och där slänternas stabilitet inte påverkas av sprängskador utan endast beror av den ursprungliga bergstrukturen.

Koordinator för EG-projektet är det engelska företaget BHR-Group som avser att ta fram ny utrustning för abrasiv vattenstråleslitsning. Denna skall sedan användas av SveDeFo för försök enligt ovan och av grupper i Portugal och Grekland för att effektivisera brytningen av prydnadssten.

Projektet med slitsade borrhål nedan ingår som en väsentlig del av den svenska insatsen i EG-projektet och kan därigenom generera resurser för fullskaleförsök i vägskärningar som annars inte ryms inom ramprogrammet.

Syfte:

Att ta fram en väl fungerande slitsteknik som kan användas till avsevärt skonsammare sprängning av konturer än dagens teknik medger.

Genomförande:

Arbetet är tänkt att i ett första steg verifiera bottenslitsars funktion genom kraterprov i halvskala. I detta steg skall lämpliga slits- och laddningsgeometrier utvecklas. Som stöd för försöken används numeriska simuleringar. I nästa steg skjuts enkelhål i pall eller tunnelkonturer i syfte att modifiera resultaten från det första steget så att de kan användas i praktikens salvgeometrier. I ett tredje och sista steg skjuts en eller ett par salvor i pall eller tunnel för att utröna om kontursprängning med bottenslitsar kan utföras som del i en salva eller om den måste utföras separat.

Med dessa steg som bakgrund bör de fältprov kunna genomföras som planeras i EG-projektet. Om detta godkänns, kan projekten samordnas och de ökade resurserna medföra en snabbare teknikutveckling.

Mål:

Att inom ramprogrammet ha prövat och utvärderat bottenslitsars användbarhet i praktiken

Kostnadsram: 750 tkr (varav n 250)

Syfte:

Att utveckla ort- och tunneldrivning mot högre framdrivningstakt och lägre kostnader med bibehållen eller höjd kvalitet genom införande och anpassning av metoder som utvecklats under föregående ramprogram och i det s k Sofiaprojektet.

Genomförande:

Vid inledande diskussioner med referensgruppen för ort- och tunneldrivning har framkommit att rena kvalitets- och utbildningsfrågor främst bör drivas internt inom företagen, men att en fortsatt utveckling med sikte på att införa de nya metoder, som tagits fram inom Sofiaprojektet, bör kunna ske inom SveBeFo:s ram, exempelvis enligt följande :

1. Fortsatta försök med slitsteknik, främst försök med bottenslitsar men även längsgående slitsning av konturhålen.
2. En utvärdering av nya tekniker för att höja noggrannheten och precisionen vid utsättning och borrning.
3. Prov med alternativ skrotningsteknik, exempelvis skrotning med högtrycksvattenvattenstrålar i stället för med tunga hydraulspett på mekaniserade bärare som avverkar onödigt stora bergvolymmer.
4. Fortsatta studier av emulsionsprängämnets funktion i kontur och öppning.

Även tätningsfrågor kan komma att beaktas i en strävan att undersöka totalbilden.

Mål:

Effektivare ort- och tunneldrivning genom införande och systematisk uppföljning av konturborrning och laddning med ny teknik och med hög precision. (Uttryckt i kvantitativa termer skulle ett mål kunna vara att nå minst 95% indrift i 90 % av antalet salvor med en största hålavvikelse i konturen inom 10 cm utanför teoretisk profil, samt att kostnaderna för skrotnings- och förstärkningsåtgärder skulle sänkas med 50 %.)

Kostnadsram: 1 450 tkr (varav n 450)

Bland de byggprojekt som för närvarande planeras i utbyggnaden av landets infrastruktur ingår betydande mark- och bergsprängningsarbeten, ofta nära befintliga anläggningar som kan innehålla vibrationskänslig utrustning. För att klara vibrationsstörningarna utan onödiga extrakostnader behövs realistiska byggregler och normer, kompetent personal och arbetsplatsanpassade mätutrustningar.

Fastställda normer för högsta tillåtna vibrationsnivåer kan ha en stor teknisk och ekonomisk betydelse. Arbetet med normerna måste vara långsiktigt och baseras på ett fackmässigt underlag. Det måste utföras i aktiv samverkan mellan forskare och praktiker. Svenska normer måste i huvudsak knyta an till internationella s.k. ISO-standarder. I den pågående europeiska integrationen blir vi än mer bundna av internationellt antagna normer. Det är därför viktigt att ta del i eller helst leda delar av det internationella arbetet så att vi kan påverka arbetet och undvika att normer införs som inte passar oss.

Sverige har, bl.a. genom SveDeFo, en internationellt erkänd position inom normarbetet. Tidigare har Roger Holmberg deltagit aktivt från svensk sida och under senare tid Gösta Rundqvist. Arbetet har delvis finansierats med särskilda medel från industrin, bl.a. genom Svenska byggbranschens utvecklingsfond, SBUF.

I detta arbete har en rad normer tagits fram, bl a om riktvärden för sprängningsinducerade vibrationer i byggnader, om mätning och riktvärden för bedömning av komfort samt om vibrationskänslig utrustning, därtill om "heltkroppsvibrationer" (då hela kroppen utsätts för vibrationer från underlaget) som nu anpassas till svensk praxis osv. En viktig uppgift har i dessa sammanhang varit att förklara och hävda den avgörande skillnaden mellan effekter av kontinuerliga vibrationer och tillfälliga störningar från exempelvis sprängning.

I och med samgåendet mellan BeFo och SveDeFo har en än bredare och väl branschtäckande, partsneutral organisation bildats, väl lämpad att ta ansvar för delar av normarbetet vad gäller störningar från bergarbeten. Uppgiften är framförallt att se till att normarbetet bedrivs utifrån ett korrekt och välgrundat kunskapsunderlag och att ta initiativ till forskning inom områden som är bristfälligt utredda. Av särskilt intresse i detta sammanhang är de möjligheter att styra sprängningsvibrationerna som användningen av sprängkapslar med elektroniska, exakta fördröjningselement ger.

Underlag för vibrationsnormarbete

(Projekt 135)

Syfte:

Att bidra till utvecklingen av samhällsekonomiskt motiverade normer för acceptabla störningar och komfortgränser till följd av vibrationer från bergarbeten.

Genomförande:

Fortsatt bevakning av pågående normarbete, initiativ till lämpligt organiserat deltagande i aktuella normgrupper (nationellt och internationellt) samt utredningar och förslag till forskningsinsatser för bättre underlag i normarbetet, där så behövs.

Mål:

Att bidra till samhällsekonomiskt rimliga normer för tillåtna vibrationer och andra störningar från bergarbeten

Kostnadsram: 500 tkr (varav n 100)

Ballastproduktionen i Sverige är vida större än malmproduktionen i de svenska gruvorna. Intresset och storleken på forskningsinsatserna inom gruvbranschen är historiskt dock väsentligt större än inom ballastbranschen. Dagens läge med ett minskande antal, men större täkter, kombinerat med att kraven på produkterna ökar, innebär att ballastbranschen måste utvecklas kunskapsmässigt. Av detta skäl har ett antal FoU-projekt påbörjats under de senaste åren. GMF (Grus & Makadamföreningen) har tillsammans med KTH initierat "Ramprojekt Ballast" med målsättning att förbättra branschens materialteknik och produktionsteknik med beaktande av naturvård, täktreglering, miljöskydd, byggnadsbestämmelser samt arbetarskydd. Vidare har SBUF (Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond) tillsammans med CTH initierat projektet "Stenmaterial" i syfte att studera de geologiska parametrarna på det ingående materialet och hur dessa påverkar den slutliga produktens kvalitet.

BeFo har inom föregående ramprogram tillsammans med Nitro Nobel och CTH påbörjat FoU-projektet "Fragmentering av ballastmaterial" med syfte att ta fram lämplig metodik att styra och kontrollera fragmenteringen (sprängningen) med hänsyn till den slutliga produktens kvalitet och användningsområde. Målsättningen är att projektet skall ge kunskaper om hur man spränger ut tillgängligt täktmaterial på bästa sätt så att resultatet i den efterföljande krossningen blir optimalt. Projektet fokuserar sig mot att testa och verifiera (i fullskala) de slutsatser som erhållits från forskningen på spräng- och detoniksidan i olika geologiska miljöer för att studera geologins betydelse för sprängningsresultatet med avseende på kornfördelning och kvalitet på det fragmenterade (sprängda) berget. Resultaten bedöms ha goda möjligheter att bidra till en optimering av hela ballastproduktionen och höja kvaliteten på slutprodukten. Syftet är också att möta de kvalitetskrav, som redan idag gäller för leveranser till EG-staterna.

SveBeFo, och andra berörda, ser det som önskvärt att det nämnda projektet, "Fragmentering av ballastmaterial", samordnas med övriga FoU-projekt på området så att den totala FoU-insatsen i landet innefattar hela kedjan "geologi-sprängning-krossning-färdig produkt". Därmed blir möjligheterna större att utnyttja resurser och resultat på bästa sätt för en optimering av hela fragmenteringsprocessen, via sprängning, krossning och separation till den slutliga produkten, som skall uppfylla ställda krav för olika användningsområden. Onödigt dubbelarbete kan därigenom undvikas. Konkret skulle detta innebära att SveBeFo-projektet "Fragmentering av ballastmaterial" till vissa delar samordnas med KTHs "Ramprojekt Ballast" och CTHs projekt "Stenmaterial", och med ett eventuellt efterföljande projektet med inriktning på att optimera krossningen av bergmaterialet. Förslag till ett sådant projekt bereds för närvarande men ligger utanför SveBeFo:s ramprogram och förutsätter annan finansiering.

Syfte:

Att studera sprängningstekniska parametrars betydelse för fragmenteringsresultatet i bergtäkter med hänsyn till kraven på slutprodukten.

Genomförande:

Sprängningsresultatet med avseende på styckefall, finandel och framkast, samt kvaliteten på det fragmenterade berget undersöks genom fältförsök i täkter i Göteborgsområdet. Projektet fokuseras på att jämföra resultat från ett antal sprängningar med två olika sprängämnen, där så många parametrar som möjligt hålles konstanta, och i första hand undersöka i vilken grad som sprängämnets detonationshastighet påverkar sprängningsresultatet.

Mål:

Att behärska fragmenteringsprocessen i bergtäkter så att det slutliga materialet, efter sprängning och krossning, uppfyller ställda krav på kornfördelning och kvalitetsparametrar för olika produkter samt att mängden finmaterial minimeras.

Kostnadsram: 2 500 tkr (varav n 500)

I tidigare forskningsprogram vid BeFo och Tekniska Högskolan i Luleå, delvis med särskilt stöd från dåvarande STU, har prognosteknik för fullborrning i hårt berg utvecklats och prövats vid ett antal tunnelarbeten. Systematisk uppföljning har skett av de borrarade tunnarna vid Wölla i Österrike, Kymmen i Värmland, Saltsjötunneln och den s k Ormentunneln i Stockholm. För närvarande följs också Klippenprojektet i Västerbotten. En betydande utveckling av maskinutrustningen har skett under de senaste tio åren, då allt större och kraftigare tunnelborrmaskiner (TBM) har tagits fram av tillverkarna. Maskinerna har också fått kompletterande utrustning för att klara förinjektering där stora krav har ställts på täta tunnlar.

Tekniken att fullborra tunnlar även i hårt, skandinaviskt berg kan numera anses väl etablerad och i många fall konkurrenskraftig i jämförelse med konventionell borrning och sprängning. Erfarenhetsbaserade prognosmetoder för att förutsäga framdriften tillämpas av konsulter, entreprenörer och maskintillverkare. Interna utredningar jämförs med t ex den prognosteknik som utvecklats vid högskolan i Luleå i samband med de ovan nämnda projekten.

Den stora kapitalinsatsen vid fullborrning och maskinernas utformning innebär fortfarande att det krävs en viss tunnellängd med tämligen ensartad geometri för att fullborrning ska vara aktuell. En svaghet är också att de utbollarade bergmassorna sällan kan användas till annat än ren utfyllnad. Vid större projekt skulle det vara av stort ekonomiskt värde om dessa massor kunde användas för mer kvalificerade ändamål. Utöver ändrad verktygsutformning på maskinen skulle någon form av efterbehandling kunna tänkas för att höja kvaliteten på det utbollarade stenmaterialet. I ramprogrammet föreslås emellertid inga sådana undersökningar, då de sannolikt bättre bedrivs som interna projekt hos något företag. Ämnet finns för övrigt också upptaget inom "Ramprojekt Ballast" vid KTH.

Vid fullborrning får man en bergmekaniskt gynnsam tunnelform, vilken som regel innebär ett minskat behov av förstärkning. Några mer ingående, vetenskapliga utvärderingar av hur stor denna besparing kan bli har inte presenterats. I samband med borrningen av Hallandsåstunneln bör det vara möjligt att genom fältuppföljning och analys av kriterier för förstärkningsinsatser få en bättre bild av förstärkningsbehovet vid fullborrning.

Även behovet av tätningsinsatser vid fullborrning är möjligen mindre än vid sprängning, men sambanden mellan uppsprickning, spänningsfördelning och vattenflöden i sprickor etc, är ännu inte tillräckligt väl kartlagt för säkra uttalanden i detta avseende. Trots betydande insatser inom forskningen för kärnavfallsförvaring behövs ytterligare undersökningar av uppsprickningen runt tunnlar och dess betydelse för stabilitet och vatteninläckning.

Prognosteknik vid fullbörning

(Projekt 141)

Syfte:

Att redovisa samlade erfarenheter från de senaste tio årens prognoser och utfall vid uppföljning av fullborrade tunnlar i hårt berg

Genomförande:

Genomgång av prognoser och utfall i uppföljda projekt, sammanfattande redovisning av hur prognostekniken utvecklats och hur den används i dag. Jämförelser med andra prognosmodeller, bedömning av modellernas vetenskaplighet och utvecklingspotential med hänsyn till normalt tillgängliga data, beroendet av maskinspecifika faktorer etc. En mindre utvärderingsgrupp utses.

Mål:

Lägesrapport över prognosteknik för fullbörning

Kostnadsram: 300 tkr

Förstärkningar av fullborrade tunnlar

(Projekt 142)

Syfte:

Att via fältuppföljning pröva etablerade klassificeringssystem för bedömning av förstärkningsbehov i samband med fullbörning

Genomförande:

Projektet avser att belysa samband mellan karterade bergklasser och uppmätta deformationer i fullborrade tunnlar i "svagt berg", främst baserat på uppföljning av bergförhållanden och insatta förstärkningar i Hallandsåstunneln. Val av förstärkning i tunneln grundar sig på det sk Q-systemet, som har sitt ursprung i omfattande uppföljningar av konventionellt drivna tunnlar. Nu ges möjlighet att på teoretiska grunder och med hjälp av fältobservationer utvärdera systemet tillämpat på en fullbördad tunnel under delvis svåra geologiska förhållanden.

Mål:

Redovisning av möjligheterna att utnyttja klassificeringssystem för att bedöma förstärkningsbehov vid fullbörning

Kostnadsram: 900 tkr (varav n 200)

Syfte:

Att undersöka och jämföra uppsprickningen i närzonen runt en fullborrad tunnel med förhållandena vid konventionell borrning och sprängning

Genomförande:

Med utgångspunkt i kunskaperna om uppsprickning runt sprängborrhål (teorier och erfarenheter från Vångaförsök, Äspö m fl) skall inledningsvis tas fram förslag till fältundersökningar, som kan visa hur uppsprickningen runt en fullborrad tunnel kan se ut under "väl kontrollerade förhållanden". Teoretisk bedömning av sprickutvecklingen skall också föregå ett fullföljande av projektet med fältförsök i något utvalt avsnitt av en fullborrad tunnel. Projektet ska planeras i nära samband med projekt 163 "Störda zonens betydelse för inläckning och tätningsbehov".

Mål:

Att kunna förutsäga sprickutvecklingen runt en fullborrad tunnel i jämförelse med motsvarande (skonsamt) sprängda tunnel

Kostnadsram: 700 tkr (varav n 200)

Förstärkning av tunnlar och orter föreskrivs ofta på ofullständigt underlag beroende på bristfällig information om aktuella geologiska förhållanden och andra faktorer av betydelse, t ex spänningssituationen. Även med tillgång till mera omfattande data från förundersökningar med tätare provtagning bergmekaniska utvärderingar av borrhärdigheter etc är det en svår uppgift att specificera förstärkningsåtgärder, både vad gäller omfattning, när de ska sättas in och hur de ska kontrolleras. Svårigheten är givetvis störst vid "svagt berg", dvs där aktuella belastningar kan förväntas överstiga bergmassans hållfasthet. Flera av de nu aktuella, stora bergtunnelprojekten i landet rymmer svårbemästrade förhållanden vid passage av dåligt berg, ibland under höga tryck genom stor bergtäckning i svagt berg, i andra fall är svårigheten i stället förknippad med stora spännvidder eller komplicerade geometrier och liten bergtäckning.

Svenska anläggningsbyggare ökar åter sina ansträngningar på den internationella marknaden, där det är nödvändigt att behärska andra bergförhållanden än traditionellt skandinaviskt "hårt berg". I de svenska gruvorna arbetar man också på flera håll på stora djup, där förstärkningsproblem tenderar att få allt större betydelse.

Den omfattande forskningsinsatsen inom bergmekanik och speciellt bergförstärkning under de närmast gångna åren i Gruvteknik 2000 i samverkan med projekt inom BeFo:s ramprogram har lett till ett djupare kunnande om förstärkningars verkan. Det har ansetts väl motiverat att fortsätta dessa ansträngningar, som varit koncentrerade på bultars och sprutbetongs förstärkningsverkan för att ytterligare klarlägga förstärkningsmekanismerna och speciellt samverkan mellan bult, ytförstärkning och bergmassa enligt den grundläggande filosofin om "Ground Reaction Curve", eller bergets responskurva.

Utöver bergmekaniskt kunnande är det viktigt att utnyttja betongteknologins landvinningar, speciellt vad gäller fiberarmering i sprutbetong, som numera i Norden nästan helt har ersatt konventionell nätarmering. Det finns för närvarande också ett mycket starkt internationellt engagemang i sprutbetongtekniken, som ett effektivt och avsevärt billigare sätt att slutligt förstärka bergtunnlar än med konventionell platsgjuten betonginklädning, som fortfarande används på många håll, där vi med svensk tradition skulle valt sprutbetong. Sverige är också via SveBeFo aktivt arbetande i internationella grupper inom sprutbetongteknologin, där man också för diskussioner om eventuell standardisering inom EG:s normeringssystem (CEN).

Slutlig förstärkning med sprutbetong innebär också krav på beständighet i tunnlar med beräknade livslängder på femtio år och ofta mer. I trafiktunnlar med tät trafik (i järnvägstunnlar ofta även nattetid) blir återkommande underhåll mycket kostsamt, vilket ytterligare skärper kraven på tunnelns inklädning. Även vid bultförstärkning har frågor om

långtidsbeständighet diskuterats. Vissa undersökningar har tidigare gjorts i olika gruvmiljöer i Finland och i ett begränsat BeFo-projekt i Kvarntorp. I normala fall kan väl ingjutna kamstålsbultar betraktas som mycket beständiga. Kvalitetskontroll av bultsättning är viktig för att garantera god ingjutning och fullgott korrosionsskydd. En föreslagen uppföljning av kvaliteten vid olika typer av montage kan eventuellt genomföras som särprojekt med finansiering via Arbetsmiljöfonden.

Förstärkningars verkan i svagt berg

(Projekt 152)

Syfte:

Att beskriva vilka krav som skall ställas på en bergförstärknings deformationsegenskaper, hållfasthet och utformning vid olika belastningsfall med huvudinriktning mot svagt berg

Genomförande:

Fortsatt teoriutveckling och laboratorieförsök, som påbyggnad till tidigare försök med sprutbetong och teori för bultars verkan. Arbetet ska ske i steg, där först en analytisk modell ställs upp, grundad bl a på de uppföljningar som gjorts inom Gruvteknik 2000 i Laisvall, Kristineberg och Zinkgruvan. Modellen prövas därefter under kontrollerade förhållanden i laboratorieskala och i fält vid lämpligt pågående arbete, exempelvis kraftverkstunnlar i Uri. Slutligen kommer uppställda hypoteser att utvärderas i en avhandling, där riktlinjer ges för formulering av krav på förstärkningar.

Mål:

Riktlinjer för krav på bergförstärkningar i svagt berg

Kostnadsram: 1 800 tkr (varav n 200)

Fältuppföljning av bergförstärkning

(Projekt 153)

Syfte:

Att redovisa och tolka bergrörelser vid tunneldrivning under svåra bergförhållanden

Genomförande:

Utvalda avsnitt av tunnlar i svagt berg instrumenteras för ingående kartläggning av bergets rörelser i samband med drivning och förstärkning. Aktuella projekt kan vara Hallandsåstunneln eller kraftverkstunnlar i Kashmir.

Mål:

Dokumentation av bergrörelser som underlag för forskningsarbeten om förstärkningars verkan (projekt 152 och 142)

Kostnadsram: 900 tkr (varav n 500 tkr)

Sprutbetongs beständighet

(Projekt 154)

Syfte:

Att initiera och delta i undersökningar av långtidsbeständigheten hos sprutbetongförstärkning

Genomförande:

En grupp intressenter skall ta fram ett program för utvärdering av sprutbetongförstärkning som tagit skada i utsatt miljö (bl a saltvatteninträngning), föreslå och påbörja laboratorieprov för att utröna betydelsen av betongens sammansättning och speciellt risken för att ingående fiberarmering korroderar under olika omständigheter.

Mål:

Att under treårsperioden ha påbörjat ett större program för undersökning av sprutbetongs beständighet i olika miljöer

Kostnadsram: 400 tkr (varav n 100)
(kompletterande finansiering via SBUF m fl)

Krav på fibersprutbetong

(Projekt 155)

Syfte:

Att ta fram ett relevant underlag för specifikation av fiberarmerad sprutbetong som bergförstärkning

Genomförande:

Samverkan med CBI och internationellt arbetande grupper via arbetsgruppen "Shotcrete Use" inom International Tunnelling Association, ITA. Fortsatt aktivt engagemang för bevakning och deltagande i utvecklingen för att ta fram underlag för rekommendationer på sprutbetongområdet, speciellt med hänsyn till ev EG-normering.

Mål:

Rekommendationer för användning av fibersprutbetong

Kostnadsram: 400 tkr (varav n 100)

Kraven på tätning av undermarksanläggningar ställs i dag mycket högt, framförallt för att begränsa eventuell inverkan på grundvattnet, både vad gäller nivå och vattenkvalitet. Behovet av ökad kunskap om vattenflöden i berg för att bedöma tätningsbehov har berörts under rubriken förundersökningar. Pågående forskning vid KTH inom BeFo:s ram och i nära samarbete med SKB och CTH om injekteringsmedels egenskaper och inträngning i sprickor ligger vid internationell jämförelse mycket långt framme. Modeller och hypoteser har också med framgång kunnat prövas i praktiken i samband med tätningsarbeten för tunnelbanan i Stockholm med höga täthetskrav och vid passage av starkt vattenförande zoner under stort tryck i Äspölaboratoriet. Samarbetet med SKB planeras fortsätta, parallellt med att framtagna teoretiska modeller vidareutvecklas och prövas också i väl kontrollerade laboratorieförsök. I det finska forskningsprogrammet "Bergteknik 2000" kommer storskaliga fältexperiment att genomföras i samband med tätning av ett bergschakt för ett stort avfallsupplag utanför Helsingfors. Direkt samverkan och utbyte av kunskap mellan SveBeFo och det finska projektet planeras, där egenskapsbestämning kan göras i Sverige medan alla fältdata från Helsingfors görs tillgängliga för det svenska projektet.

Alternativa injekteringsmedel, vid sidan av konventionella, cementbaserade, bör också undersökas för att underlätta jämförelser av egenskaper och tätningskapacitet under olika förhållanden.

Frågan om injekteringens betydelse för en tunnels mekaniska stabilitet har av och till varit uppe till diskussion. Eventuellt kan någon av de planerade fältundersökningarna av förstärkningseffekter även belysa denna fråga.

Injekterings verkan

(Projekt 161)

Syfte:

Att vidareutveckla och verifiera framtagna modeller för injekteringsmedels inträngning och tätningsverkan

Genomförande:

Fortsatt teoriutveckling vid KTH i nära anslutning till fältprov för att anpassa och verifiera framtagna modeller för injekteringsmedels utbredning i sprickigt berg. Vissa laboratorieprov av injekteringsmedels egenskaper kommer att ingå, främst baserade på de mätmetoder som utvecklats under ramprogram 90-93. Fältundersökningar planeras i första hand vid Äspö-laboratoriet men också vid avfallsanläggningen Käringmossen i Helsingfors.

Mål:

En praktiskt användbar modell för att bedöma erforderlig injekteringsinsats för ett givet tätningsbehov, inklusive möjligheter att styra injekterings utbredning i omgivande berg.

Kostnadsram: 1 800 tkr (varav n 400)

Injektering med andra material än cementsuspensioner ("keminjektering").

(Projekt 162)

Syfte:

Att i en mindre undersökning belysa alternativa injekteringsmaterials egenskaper och kapacitet för tätning av finsprickor.

Genomförande:

Prov i laboratorium genomförs för bestämning av typiska egenskaper för några utvalda "keminjekteringsmedel" för jämförelse med konventionella cementbaserade injekteringsmaterial. Egenskapernas betydelse för inträngning och tätningsverkan skall värderas, liksom eventuella bieffekter på omgivande grundvatten och tätningens sannolika beständighet över lång tid.

Mål:

En sammanfattande rapport över "keminjekteringsmedels" egenskaper i jämförelse med cementbaserade medel

Kostnadsram: 500 tkr (varav n 100)

Störda zonens betydelse för inläckning och tättningsbehov (Projekt 163)

Syfte:

Att undersöka och jämföra uppsprickningens betydelse för tätheten vid sprängda respektive fullborrade tunnlar. (Jämför projekt 143)

Genomförande:

Uppsprickningens betydelse för inläckningen i en tunnel är en fråga av stort intresse, bland annat i samband med argumenteringen för eller emot fullbörning, som av många bedöms vara gynnsam i och med frånvaron av sprängskador. Samtidigt kan det visas med etablerade hydrogeologiska teorier att sprickzonens storlek har en ringa inverkan på inläckningen. Som en följdaktivitet efter det tidigare nämnda seminariet om den "störda zonen" föreslås en mindre utredning där bergmekanisk, hydrogeologisk och fragmenteringskunnig expertis sammanfattar sitt gemensamma kunnande i en "state-of-the-art"-rapport.

Mål:

Att redovisa hur uppsprickningen runt en tunnel påverkar inläckningen och därmed behovet av tätning.

Kostnadsram: 300 tkr (varav n 100)

Bergsprängning är ett våldsamt förlopp i ett material med mycket varierande och svårbestämda egenskaper. Både arbetsmiljön, omgivningens säkerhet och det tekniska resultatet ställer därför stora krav på att sprängningen utförs på ett kontrollerat sätt. Detta kräver framförallt att rätt förutsättningar föreligger och ett riktigt genomförande av sprängningarna.

Rätt förutsättningar innebär t.ex. att man har sprängämnen med rätt egenskaper, framför allt med hänsyn till avsedd verkan på omgivningen och motståndskraft mot oönskade effekter som "dödpressning", "kanaleffekt", oavsiktlig initiering, vatteninblandning etc.

Detonikgruppen inom SveBeFo har i sin tidigare tillhörighet vid SveDeFo arbetat med dessa frågor under lång tid och därmed bidragit till att företagen kunnat ta fram sprängämnen med passande egenskaper. Under 1990-93 har tyngdpunkten i forskningen legat på sprängämnens expansionsarbete under de förhållanden som råder för kommersiella produkter.

Kommersiella sprängämnen är oftast blandningar där spränggaserna kommer från olika komponenter, t.ex. nitrater som syregivare och kolväten som bränslen. Detta medför att omsättningen i detonationen sker på makroskopisk nivå, inte molekyllär, och att den kommer att bero av komponenternas kornstorlek och blandningens intimitet. Reaktionszonens längd i en cylindrisk laddning blir också så stor att gasernas radiella expansion kan störa omsättningen och därmed expansionsförloppet mycket kraftigt.

Under innevarande programperiod har en brinnmodell utvecklats för omsättningen i reaktionszonen i en typemulsion, där modellparametrarna har bestämts och grunden därmed är lagd för en avancerad datorsimulering av sprängningsförlopp.

Arbete har utförts i samarbete med FOA, i Ursvik, där SveBeFo:s försöksutrustning för detonik finns. I programförslaget avsätts resurser till ett utvidgat samarbete i syfte att öka slagkraften hos detoniken. Även FOA har ansökt om resurser för detta. Härigenom kan kvaliteten på forskningsresultaten höjas avsevärt. Samarbetet syftar också till att stimulera utbytet av sådana kunskaper och idéer inom fackområdet, som inte är sekretessbelagda av kommersiella eller militära skäl.

SveBeFo och FOA har enats om följande övergripande målsättning för detoniksamarbetet:

"Verksamheten syftar på längre sikt till att kvalitativt och kvantitativt kunna beskriva händelseförloppet i ett godtyckligt sprängämne med sådan noggrannhet att dess verkan på omgivande material, berg, metaller, keramer, vatten och luft m fl, kan förutsägas och beräknas med tillräcklig noggrannhet. Med förlopp avses både deflagration och detonation samt

övergången dem emellan liksom hur dessa påverkas av olika faktorer. Beskrivningen gäller följaktligen såväl traditionell fysik och kemi som blandningsförhållanden, transportfenomenens mm inverkan på förloppen."

Under 1993-96 kommer brinnmodelldata att tas fram för en bred grupp kommersiella sprängämnen med syftet att bättre kunna styra expansionsförloppen hos laddningar som detonerar. Vidare fortsätter de undersökningar om tryckpåverkan på sprängämnen och tändmedel som utförts under perioden 1990-93 och som ingår som en del i ett vetenskaplig avhandlingsarbete. Slutligen planeras utvecklingen slutföras av en unik metod att mäta borrhålstrycket hos spränggaserna i fulladdade borrhål.

Brinnmodelldata för kommersiella sprängämnen

(Projekt 181)

Syfte:

Att bestämma begränsningarna hos den under 1990-93 av SveDeFo och FOA framtagna brinnmodellen samt att använda denna för att styra energiutvecklingen hos sprängladdningar till önskad del av expansionsförloppet under olika bergförhållanden.

Genomförande:

Att ta fram en databas med brinnmodelldata för en bred grupp olika kommersiella sprängämnen. Med utgångspunkt i dagens kunskaper om emulsionsbrinnmodelldata, undersöks först en emulsion med aluminiumtillsats. Därefter väljs andra praktiskt intressanta sprängämnen som spänner över ett så stort beteendebeteendeområde som möjligt.

Arbetet är i stor utsträckning experimentell bestämning av detonationshastigheten och detonationsfrontens krökning som funktion av laddningsdiametern, det oreagerade sprängämnets egenskaper, ett lägsta initieringstryck osv. Data från dessa försök används för att bestämma brinnmodellparametrarna med hjälp av särskilt utvecklad programvara. Försöken struktureras i nödvändiga data och data som behövs för att kontrollera riktigheten i förloppen.

I slutet av projektet skall brinnmodellen utökas med studier av emulsions-sprängämnen där blandningsinitieteten samt storleksfördelningen hos tillsatta aluminiumkorn och eventuellt mikrosfärerna varieras.

När brinnmodellen verifierats kommer den i mån av tid att användas för att systematiskt välja och undersöka komponenter och utformningen av produkterna så att önskat utseende hos trycktid-kurvan i expansionsförloppet erhålls. I arbetet ingår datorberäkningar som en väsentlig del. Resultaten kontrolleras med mätningar av VOD och tryck-tidförloppet på sprängämnen i järnrör och sedan i borrhål. I planerna ingår studier av frikopplade laddningar och laddningar i hål som infodrats så att spränggaserna inte kan tränga in i berget.

Arbetet kommer att ledas av den speciella referensgruppen för detonik i vilken representanter för Nitro Nobel AB, Kimit AB och FOA deltar.

Kostnadsram: 3 200 tkr (varav n 300)

Vidareutveckling av brinnmodell i samverkan med FOA (Projekt 182)

Syfte:

Att utveckla den av SveDeFo och FOA framtagna brinnmodellen så att den längre fram uppfyller den övergripande målsättningen för detonikforskningen.

Genomförande:

Arbetet är SveBeFo:s del av ett samarbete med FOA som motiveras av en gemensam övergripande målsättning, se ovan, och en samordning av var för sig små resurser inom området detonik.

I det gemensamma arbetet förutses FOA ha huvudansvar för den teoretiska beskrivningen av främst detonationsförloppen och utvecklingen av tillhörande datormodeller. SveBeFo förutses ha ansvar för den experimentella bestämningen av relevanta storheter och utveckling av nya mätmetoder. I SveBeFo:s ansvar ingår också att anpassa brinnmodellerna till praktikens krav på större enkelhet. Det planerade samarbetsprojektet beskrivs närmare i bilaga.

Arbetet leds av referensgruppen för detonik.

Kostnadsram: 750 tkr (egna resurser)

Tryckverkan på kommersiella sprängämnen och tändmedel (Projekt 183)

Syfte:

Att ge underlag till användning och utveckling av sprängämnen och tändmedel som är mindre känsliga för tryckpåverkan före initieringstidpunkten, med särskild inriktning på gasade emulsioner.

Genomförande:

Systematiska undersökningar i laboratorium och under kontrollerade fältförhållanden av

1. Trycköverföringsmekanismer mellan borrhål i berg; mätning av tryck under sprängning när kopplingsgrad, laddningskoncentration, hålavstånd och bergförhållanden varierar.
2. Tryckkänsligheten hos emulsionssprängämnen, särskilt gasade sådana, mätt under välkontrollerade förhållanden i järnrör.
3. Dödpressnings- och återhämtningsmekanismer genom simulerad komprimering i fallhammare och studium av sprängämnets mikrostruktur; krossning av mikrosfärer, kristallisation hos matrisen, gasbubblors upplösning i vätska osv.
4. Simulering av initiering och detonation i tryckpåverkade sprängämnen med en verifierad brinnmodell.
5. Tryckverkan på sprängkapslar under statiska och dynamiska förhållanden samt bestämning av orsakerna till felfunktion.

Arbetet leds av referensgruppen för detonik.

Kostnadsram: 1 500 tkr (varav n 150)

Tryckmätning i fulladdade sprängborrhål

(Projekt 184)

Syfte:

Att åstadkomma en metod att mäta hela tryck-tidförloppet hos spränggaserna i en detonerande laddning i ett fulladdat borrhål.

Genomförande:

Arbetet fullföljer den utveckling av ett givarsystem som baseras på principen om den hydrostatiska mätkoppen och som påbörjats inom SveDeFo:s forskningsprogram 1990-93. Givarsystemet skall sedan användas i de olika projekten ovan.

För närvarande pågår utvecklingen av den lägesbestämda hydrostatiska mätkoppen, LHM, som skall skydda tryckgivaren. En första provserie med tryck-tidmätningar beräknas vara klar vid ramprogrammets slut. De aktiviteter som återstår är sedan en fortsatt provning av mätkoppsmodellen i fält, prov med signalöverföringen från givaren samt ett genomtänkt praktiskt sätt att montera givaren och LHM i spränghålet. Därefter kan metoden användas i de övriga projekten.

Kostnadsram: 550 tkr (varav n 150)

Under programperioden kommer flera större bergbyggnadsprojekt att pågå eller påbörjas inom landet och med svensk medverkan även på några håll i utlandet. För att ta tillvara olika möjligheter att följa upp och anknyta forskningsprojekt till den praktiska verkligheten är det viktigt att inom ramprogrammet ha visst utrymme för att kunna organisera fältundersökningar eller andra speciella projekt, som visar sig lämpliga att initiera under den pågående programperioden. Fältuppföljningar förutsätter alltid att forskningen kan planeras i samförstånd med berörda parter, i första hand aktuell beställare och den engagerade entreprenören. Under programarbetet har vissa sonderingar gjorts som förberedelser för fältanknuten forskning, men ytterligare förankring är som regel nödvändig innan projekten kan påbörjas.

Förstudier, fältuppföljning**(Projekt 200)**

Utrymme för beredning och förstudier, speciellt för forskningsmässig fältuppföljning vid anläggningar som byggs under programperioden, inom- och utomlands och med anknytning till det övriga forskningsprogrammet (Exempelvis Hallandsås, kraftverket i Uri, trafiktunnlar i Stockholm, Göteborg m fl)

Ett väl fungerande allmänt informationsutbyte och insatser för resultatöverföring är avgörande för att SveBeFo:s industriintressenter och "samhället" skall få fullt utbyte av sina insatser i verksamheten. Den ordinarie skriftliga avrapporteringen av projekt bör ofta kompletteras med andra åtgärder, t ex särskilda seminarier, som normalt skall planeras och finansieras inom respektive projektbudget. Därtill krävs mera övergripande insatser för att hålla god kontakt med "samhället", forskarvärlden, olika branschorgan m fl, såväl inom landet som internationellt. Den pågående integrationen i Europa kräver särskild uppmärksamhet, bl a med hänsyn till pågående eller planerade standardiseringsarbeten. Eventuellt engagemang i direkt normarbete förutsätts finansierat på annan väg men viss bevakning bör rymmas inom ramprogrammets budget.

Information och internationell samverkan**(Projekt 250)**

Allmänna informationsaktiviteter och särskilt kontakter med internationella organisationer av betydelse för SveBeFo:s forskningsområde, exempelvis International Tunnelling Association (ITA), International Society for Rock Mechanics (ISRM), Society of Explosives Engineering m fl. Initiering av speciella aktiviteter för att sprida svenskt kunnande internationellt. Bevakning/initiering av normarbeten inom exempelvis EG.

Kostnadsram: · 2 000 tkr

Sammanställning av projektförslag (tkr)

	Kostnadsram	varav n insats
UNDERMARKEN I SAMHÄLLSBYGGANDET		
111 Undermarken i planeringssystemet	400	100
112 Miljökonsekvenser vid underm. byggande	600	100
113 Människan i undermarken	400	0
FÖRUNTERSÖKNINGSTEKNIK		
121 Geofysiska undersökningsmetoder	200	0
122 Hydrogeologiska undersökningsmetoder	800	200
123 Bergspänningars roll i bergbyggande	600	100
124 Riskanalys för undermarksarbeten	600	300
SPRÄNGVERKAN I BERG		
131 Modell för sprickbildning runt borrhål	500	100
132 Sprickbildn runt borrhål, fältförsök mm	3 000	800
ORT- OCH TUNNELDRIVNING		
133 Slitsade hål för kontursprängning	750	250
134 Effektivare ort- och tunneldrivning	1 450	450
OMGIVNINGSPÅVERKAN VID SPRÄNGNING		
135 Underlag för vibrationsnormarbete	500	100
FRAGMENTERING I BERGTÄKTER		
136 Fragmentering av ballastmaterial	2 500	500
FULLBORRNING AV TUNNLAR		
141 Prognosteknik vid fullborrning	300	0
142 Förstärkningar vid fullborrning	900	200
143 Störda zonens utbredning	700	200
BERGFÖRSTÄRKNINGARS VERKAN		
152 Förstärkning i svagt berg	1 800	200
153 Fältuppföljning av bergförstärkningar	900	500
154 Sprutbetongs beständighet	400	100
155 Krav på fibersprutbetong	400	100
INJEKTERINGSTEKNIK, TÄTNINGSEFFEKTER		
161 Injekterings verkan	1 800	400
162 "Keminjektering"	500	100
163 Störda zonens betydelse	300	100
DETONIK OCH SPRÄNGÄMNESTEKNIK		
181 Brinnmodelldata för kom. sprängämnen	3 200	300
182 Vidareutveckling av brinnmodeller	750	0
183 Tryckverkan på sprängämnen	1 500	150
184 Tryckmätningar i fulladdade borrhål	550	150
FÖRSTUDIER OCH FÄLTUPPFÖLJNING		
200 Förstudier, fältuppföljning	3 500	900
INFORMATION, INTERNATIONELL SAMVERKAN		
250 Information och internationell samverkan	2 000	0
Totalt	31 800	6 400

PROJEKT BRINNMODELL 1993-96

Samarbete mellan SveBeFo och FOA inom sprängämnesteknik.

Henrik Almström, FOA och Finn Ouchterlony, SveDeFo

1. Målsättning

Projektet är en utveckling av pågående samarbete mellan FOA och SveDeFo och har till uppgift att öka slagkraften hos de relativt små detonikresurser som var för sig riskerar att bli underkritiska.

Verksamheten syftar på längre sikt till att kvalitativt och kvantitativt kunna beskriva händelseförloppet i ett godtyckligt sprängämne med sådan noggrannhet att dess verkan på omgivande material, berg, metaller, keramer, vatten och luft mfl, kan förutsägas och beräknas med tillräcklig noggrannhet.

Med förlopp avses både deflagration och detonation samt övergången dem emellan liksom hur dessa påverkas av olika faktorer. Beskrivningen gäller följaktligen såväl traditionell fysik och kemi som blandningsförhållanden, transportfenomenens mm inverkan på förloppen.

Förutom konkreta resultat har projektet också till uppgift att stimulera utbyte av kunskaper och idéer inom fackområdet som inte är sekretessbelagda av kommersiella eller militära skäl.

2. Tillämpningar

2.1 Militära tillämpningar

Följande problemställningar kan analyseras när brinnförloppet för aktuella sprängämnen kan beskrivas:

2.1.1 Tändöverföringen av en detonation vid tändkedjan i en laddning.

2.1.2 Bedömning av effekten på ammunition vid:

- a. beskjutning,
- b. belastning i samband med utskjutning (defekt ammunition),
- c. brand.

2.1.3 Utformning av stridsdelar, särskilt vid okänslig ammunition.

2.1.4 Efterförbränning av stridsdelar i slutna rum samt efterförbränning vid undervattensladdningar.

2.2 Civila tillämpningar

De främsta civila tillämpningarna finns inom bergsprängningstekniken. Inom Sverige konsumeras idag ca 30000 ton sprängämnen för att bryta ca 30 miljoner fasta m³ (Mm³) berg, främst inom gruv-, mineral- och anläggningsindustrin. I gruvorna används tekniken både för tillredning och brytning. Av anläggarna används den för tunneldrivning, för produktion av krossberg, vid

vägbyggen osv. Utsprängda bergvolymen i Sverige är ungefär fördelade som följer; järngruvor 7 Mm^3 , andra gruvor 7 Mm^3 , mineralindustrin 3 Mm^3 , krosstäkter 7 Mm^3 och övriga anläggningsändamål 5 Mm^3 .

I SveDeFo:s och det kommande SveBeFo:s intressentkrets finns de flesta gruvor och anläggare representerade. Deras behov av forskning inom sprängämnestekniken finns uttryckt de projektförslag som ingår i SveBeFo:s anslagsframställning till NUTEK och BFR, se bilaga 1.

Anledningarna till att det även är intressant att studera deflagrationer och övergången från deflagration till detonation, s.k. DD-övergång, hos ett sprängämne är flera

- 2.2.1 Säkerheten vid sprängämnestillverkningen. När sprängämnen transporteras mellan de olika leden i tillverkningsprocessen, t.ex. genom pumpning, tillförs värme och olyckstillbud har inträffat där sprängämnet deflagrerat eller åtminstone detonerat ofullständigt.
- 2.2.2 Säkrare och störningsokänsligare funktion hos tändmedel. De första kommersiella sprängkapslarna har just kommit ut på marknaden, Nitro Nobels NPED-kapslar vilka inte innehåller primärsprängämne. Upptändningen åstadkoms genom en DD-övergång i PETN. Utvecklingen har hittills varit helt försöksbaserad och kan troligen drivas väsentligt längre om en god teoretisk beskrivning av DD-övergången finns tillgänglig.
- 2.2.3 Ett explosivämne som deflagrerar ger lägre tryck än om det detonerar. Härigenom åstadkoms vid kontursprängning mindre skador i det kvarstående berget. Detta kan ha stor ekonomisk betydelse såväl vid tunneldrivning som i vägslänter. Den totala besparingspotentialen i Sverige vid tunneldrivning bedöms vara ca 75-115 MSEK/år och vid släntunderhåll 38-50 MSEK. För att utnyttja den krävs givetvis också andra åtgärder.

3. Beskrivning av dagsläget

3.1 Teoretisk beskrivning av förloppet vid icke-ideal detonation

Numerisk modellering av brinnförloppet vid detonationer blev först aktuell då hydrodynamiska datormodeller hade utvecklats. En av de första (1978) var modellen *Forest Fire*, som beskriver stötvågsinducerad förbränning i militära sprängämnen. *CPEX-modellen*, samt vidareutvecklingar av denna modell, togs fram under 80-talet för beskrivning av civila sprängämnen. Genomgående för dessa är att man utgående från lämpliga experimentella resultat söker efter den brinnmodell som bäst simulerar de utförda försöken. Vi definierar här begreppet brinnmodell enligt nedan.

Givet ett heterogent sprängämne som är vårt starttillstånd. Förbränns sprängämnet erhålls ett sluttillstånd som beror av de kemiska jämvikterna. Vid brinnmodelleringen utgår vi från att detta sluttillstånd är fixerat till det i sammanhanget mest lämpliga. Antag att vi har ett sprängämne med densiteten $m_0 \text{ kg/m}^3$. Omsättningsgraden av förbränning ges av $\lambda = m/m_0$ där m är mängden omsatt sprängämne vid en viss tidpunkt.

Brinnmodellen anger hur fort λ ändras som funktion av:

1. aktuella storheter som omsättningsgraden, trycket och den specifika volymen,
2. den ursprungliga viktsfördelningen av olika ämnen, kornstorlekar, fördelningen av "hot spots", tryck och den specifika volymen vid "von Neuman-spiken".

Det centrala steget i brinnmodellutvecklingen är vilka experimentella mätningar som skall ligga till grund för modellen. Vid *Forest Fire-modellen* används ett "wedge test" där ett kilformat sprängämnesprov stötvågsbelastas. Man observerar den nödvändiga uppbyggnadssträckan för att uppnå detonation vid olika stötvågsbelastningar. Vid *CPEX-modellen* studeras detonationshastighetens beroende av laddningsdiametern samt detonationsfrontens forms beroende av laddningsdiametern.

Vid FOA har brinnmodeller studerats teoretiskt. Ett utvärderingsprogram för detonationsfrontens form har tagits fram. Ett datorprogram enligt CPEX-modellen är under utveckling.

3.2 Experimentella metoder

Under innevarande forskningsprogram 1990-93 håller SveDeFo på att ta fram brinnmodelldata för en typemulsion för civilt sprängningsbruk som känsliggjorts med mikrosfärer av glas. Detta arbete utförs till största delen på Ursvik i byggnad 137 där SveDeFo:s detonikutrustning, sprängtank och höghastighetskamera finns uppställd.

Det arbete som utförts och pågår är i stort sett som följer

- 3.2.1 Bestämning av detonationshastigheten (VOD) för friliggande laddningar som funktion av laddningsdiametern. VOD bestäms med fiberoptisk mätmetod. Utfört.
- 3.2.2 Bestämning av detonationsfrontens krökningsradie för friliggande laddningar som funktion av laddningsdiametern. Krökningsradien bestäms med höghastighetsfotografering. Utfört.
- 3.2.3 Bestämning av minsta initieringstryck med barriärprov och Numerisk simulering. Hittills har provet utförts på laddningar med 38 mm diameter och en kalibrering av den kritiska barriärtjockleken uttryckt i kritisk partikelhastighet eller tryck med elektromagnetiska mätningar har påbörjats.
- 3.2.4 Bestämning av partikelhastigheten i reagerande sprängämne med elektromagnetiskt inducerad emk i folieslingor. En metodutveckling på nitrometan har genomförts liksom testskott på emulsionsladdningar. En slutlig mätserie om ca 25 skott saknas ännu och skall utföras innan sommaren. Data kommer att användas till en jämförelse med beräknade värden på detonationszonens tjocklek i friliggande laddningar.
- 3.2.5 Bestämning av Hugoniotdata för oreagerat sprängämne med partikelhastighetsmätningar. En metodutveckling har utförts och en mätuppställning för slutlig mätserie konstruerats. En första sådan serie om 10 skott har påbörjats.

- 3.2.6 Bestämning av "Grüneisen gamma"-värden. Data saknas och troligen kommer en ingenjörsmässig uppskattning baserad på kända data att göras som kompletteras med en känslighetsanalys. På sikt är det dock angeläget att kunna experimentellt bestämma Grüneisen gamma vid tryck kring 1 GPa.

4. Modellutveckling

4.1 Teoretisk beskrivning av förloppen samt utveckling av datormodeller

Målsättningen med detta arbete är att beskriva brinnförloppet i fysikaliska och kemiska termer.

I dagsläget är brinnmodeller i hög grad fenomenologiska.

Ett först steg är att, vid heterogena sprängämnen, isolera de olika stegen som förekommer vid förbränningen och att studera dessa var för sig. Delproblemet blir då att studera ändförbränning av ett explosivämne vid olika tryck och tätheter hos reaktionsprodukterna. Studien har härvid koppling till DD-övergångar.

I dagsläget är kopplingen mellan brinnmodellens parametrar och uppmätta storheter mycket indirekt. Genom att istället utföra initieringsstudier där sprängämnet belastas av en kolv, som rör sig med en approximativt konstant hastighet som är större eller lika med partikelhastigheten vid CJ-tillståndet, kan brinnmodellens parameterar mycket mer direkt kopplas till uppmätta reaktionszonstjocklekar. Den teoretiska grunden för detta tillvägagångssätt är under utarbetning. I direkt anslutning till det teoretiska arbetet sker framtagningen av datormodeller.

4.2 Utveckling av nya mätmetoder och experimentell bestämning av relevanta storheter

Målsättningen med detta arbete är att utveckla ett minsta nödvändigt antal väldefinierade experiment så att bestämningen av brinnmodelldata blir snabbare, enklare och exaktare än idag.

Arbetet utgår från erfarenheterna av innevarande forskningsprogram och skall komplettera förslag till nya försöksmetoder som kommer fram i samarbetet med FOA. Ett sådant exempel är förslaget att bestämma detonationszonens tjocklek genom direkta försök där en aluminiumplatta kastas mot en sprängämneskil med sådan hastighet att efterförbränningen bakom CJ-planet i stort sett saknas. Se punkt 4.1 ovan.