



Snabbare och bättre tunneldrivning

November 2005

Etapp 2: Maskinutrustningar och andra tekniska hjälpmedel

Rapport titel: Snabbare och bättre tunneldrivning - Etapp 2: Maskinutrustningar och andra tekniska hjälpmedel

Författare: Mikael Andersson, Boliden Mineral AB
Mats Olsson, Swebrec
Jan Carlsten, LKAB
Åke Kruukka, LKAB
Graham Swan, Falconbridge Ltd
Bo Ekefjärd, Boliden Mineral AB
Thomas Dalmalm, NCC
Janne Malmtorp, JLM Tunnelkonsult

Uppdragsgivare:

Godkänt av: Göran Bäckblom

Rapport till: Se sändlista

Sammanfattning till: -

Får publiceras:

Innehållsförteckning

INNEHÅLLSFÖRTECKNING	3
1 INLEDNING	5
1.1 BAKGRUND	5
1.2 FÖRELIGGANDE ARBETE	6
1.3 MÅL	6
1.4 ORGANISATION OCH UTFÖRANDE	6
1.5 OMFATTNING	7
1.6 REDOVISNING	8
2 UTRUSTNING FÖR SALVBORRNING	10
2.1 SYFTE	10
2.2 PRIORITERADE PROBLEM	10
2.3 ÖVERSIKTLIG STATUSBEDÖMNING	12
2.4 FUNKTIONSKRAV FÖR BORRNINGSUTRUSTNING	12
2.5 KORTSIKTIGT TILLGÄNGLIGA FÖRBÄTTRINGSMÖJLIGHETER	18
2.6 FÖRBÄTTRINGSMÖJLIGHETER PÅ LÄNGRE SIKT	19
2.7 BILAGOR OCH ÖVRIGA RAPPORTER	20
3 UTRUSTNING FÖR LADDNING	21
3.1 SYFTE	21
3.2 PRIORITERADE PROBLEM	21
3.3 ÖVERSIKTLIG STATUSBEDÖMNING	23
3.4 FUNKTIONSKRAV FÖR LADDNINGSUTRUSTNING	24
3.5 KORTSIKTIGT TILLGÄNGLIGA FÖRBÄTTRINGSMÖJLIGHETER	33
3.6 FÖRBÄTTRINGSMÖJLIGHETER PÅ LÄNGRE SIKT	33
3.7 BILAGOR OCH ÖVRIGA RAPPORTER	34
4 UTRUSTNING FÖR SKROTNING	35
4.1 SYFTE	35
4.2 PRIORITERADE PROBLEM	35
4.3 ÖVERSIKTLIG STATUSBEDÖMNING	36
4.4 FUNKTIONSKRAV FÖR UTRUSTNING FÖR MEKANISERAD SKROTNING	37
4.5 FÖRBÄTTRINGSMÖJLIGHETER PÅ LÄNGRE SIKT	41
4.6 BILAGOR OCH ÖVRIGA RAPPORTER	42
5 UTRUSTNING FÖR MEKANISERAD BULTNING	43
5.1 SYFTE	43
5.2 PRIORITERADE PROBLEM	43
5.3 ÖVERSIKTLIG STATUSBEDÖMNING	44
5.4 FUNKTIONSKRAV FÖR UTRUSTNING FÖR MEKANISERAD BULTNING	45
5.5 KORTSIKTIGT TILLGÄNGLIGA FÖRBÄTTRINGSMÖJLIGHETER	50
5.6 FÖRBÄTTRINGSMÖJLIGHETER PÅ LÄNGRE SIKT	51
5.7 BILAGOR OCH ÖVRIGA RAPPORTER	51
6 UTRUSTNING FÖR BETONGSPRUTNING	52
6.1 SYFTE	52
6.2 PRIORITERADE PROBLEM	52
6.3 ÖVERSIKTLIG STATUSBEDÖMNING	53
6.4 FUNKTIONSKRAV FÖR UTRUSTNING FÖR BETONGSPRUTNING	54

6.5	KORTSIKTIGT TILLGÄNGLIGA FÖRBÄTTRINGSMÖJLIGHETER	60
6.6	FÖRBÄTTRINGSMÖJLIGHETER PÅ LÄNGRE SIKT	60
6.7	BILAGOR OCH ÖVRIGA RAPPORTER.....	61
7	REFERENSER	62

BILAGOR

BILAGA	BESKRIVNING	
1	ELEKTRONISKA SPRÄNGKAPSLAR	63
2	STUDIEBESÖK VATTENSKROTNING, SUDBURY, CANADA	98
3	MEYCO:S ROBOJET LOGICA	106

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Föreliggande dokument utgör en direkt fortsättning av det arbete som påbörjades inom projektet ”Snabbare och bättre tunneldrivning - Etapp 1: Problemidentifiering och preliminära förslag till förbättringar” [1]. Nedan lämnas en kort sammanfattning av detta samt en kort beskrivning av de huvudförslag detta resulterade i.

Projektet ”Snabbare och bättre tunneldrivning” fokuserar på förbättring av det s.k. ”borraspräng-konceptet” och projektvisionen bygger på att ett helhetsgrepp tas kring ingående enhetsoperationer, där alla delar skall optimeras och hela kedjan hänga ihop. Det övergripande projekt målet utgörs av:

- färdig tunnel skall ha färre, och mindre omfattande, kvalitetsavvikelser än idag
- drivningshastigheten skall öka väsentligt
- de totala kostnaderna för tunneldrivning skall minska med minst 20 %.

Angivet mål skall uppnås samtidigt som krav på en god arbetsmiljö och krav på ett minimum av extern miljöpåverkan innehålls.

Etapp 1 av projektet, som utfördes under 2004, baserades på en särskilt anpassad tillämpning av den riskanalytiska metoden Preliminary Hazard Analysis, PHA, där två hypotetiska verksamheter, ”system”, ansattes och analyserades. Systemens randvillkor valdes så att Projektets ägare kan ”känna igen sig” i dem, d.v.s. de är ”typiskt svenska”.

Verkligheten, såväl som den utförda analysen, indikerade att det förväntade processresultatet stördes av olika problem i sådan omfattning att adekvata förutsättningar för stabila och predikterbara resultat inte kunde anses föreligga. Att eliminera och/eller reducera inflytandet från dessa störningar eller problem utgör framgent projektets viktigaste utmaning enligt följande:

Åtgärdande av orsakerna bakom kritiska problem minskar den totala problemmassan samtidigt som förutsättningarna för verksamhetsstyrning förbättras.

De preliminära förbättringsförslag som föreslogs i Etapp 1 omfattade ”Människan och organisationen” respektive ”Maskinutrustningen”. Följande föreslogs för projektets andra etapp, Etapp 2, under 2005:

- ”Människan och organisationen” fungerar utifrån rutiner. Dessa kan vara dokumenterade, icke dokumenterade, enhetliga eller mindre enhetliga. Oaktat vad som är fallet i det enskilda fallet visar de från Etapp 1 prioriterade problemen att värdet av fungerande rutiner kan anses vara högt och att förbättringar är realistsiska. Genom att fokusera mot vad som erfordras för att rutiner skall fungera även i praktiken, med

utgångspunkt från individens och organisationens gemensamma intressen och behov av samverkan, kan ett system för ständig förbättring av rutiner utformas för en godtycklig verksamhet.

- ”Maskinutrustningen” har konstaterats stödja användarna i utförarrollen i större eller mindre utsträckning, beroende på i vilken omfattning tekniken bidrar till en effektiv hantering av de från Etapp 1 högst prioriterade problemen. För utförande av vissa enhetsoperationer är ”Bästa Tillgängliga Teknologi” relativt tydlig, medan det i andra fall erfordras kompletterande studier för att klargöra status. Genom att utarbeta funktionsinriktade specifikationer som beaktar rådande problembild kan en ändamålsenlig maskinutrustning specificeras för de viktigaste enhetsoperationerna.

Resultatet av ovanstående arbete kommer att utgöra utgångspunkten för de fullskaliga försök som planeras för Etapp 3 under 2006.

1.2 Föreliggande arbete

Föreliggande arbete omfattar de aspekter som i ovanstående sammanfattning beskrivs i anslutning till punkten ”Maskinutrustningen”, d.v.s. den maskinutrustning och de övriga tekniska hjälpmedel som ligger till grund för den enskilda organisationens förutsättningar för, och förmåga, att hantera uppkomna problem vid tunneldrivning samtidigt som verksamheten utvecklas.

1.3 Mål

Målet med detta arbete är att, med utgångspunkt från Etapp 1, föreslå de utrustningsrelaterade förutsättningar som skall utgöra grunden för planerade fullskaleförsök samt den efterföljande fullskaliga implementeringen.

1.4 Organisation och utförande

Det arbete som redovisas i denna rapport baseras på arbete som utförts av Mikael Andersson, Boliden Mineral AB, Mats Olsson, Swebrec, Jan Carlsten, LKAB, Åke Kruukka, LKAB, Graham Swan, Falconbridge, Bo Ekefjärd, Boliden Mineral AB respektive Thomas Dalmalm, NCC. Den framtagna dokumentationen har reviderats och sammanställts av Janne Malmtorp JLM Tunnelkonsult samt Mats Olsson, Swebrec.

Under arbetets gång har synpunkter inhämtats från Projektägarna via, i första hand, projektets styrgrupp, se [2], i andra hand i samband med de workshops och det öppna seminarium som

genomförts. Därutöver har viktiga synpunkter lämnats av Sunniva Haugen, Boliden Mineral AB samt Stig Fjellborg, LKAB. Vissa delar av arbetet har även kommunicerats med projektets samarbetspartners Luleå Tekniska Universitet samt Laurentian University i Sudbury, Canada.

Var och en av ovanstående personer har svarat för sina egna utredningar med utgångspunkt från vad som angavs i Projektdefinitionen för Etapp 2 samt de diskussioner som fördes på workshopen under början av 2005. Som grund för alla värderingar som görs i denna rapport ligger de systemförutsättningar som definieras i rapporten från Etapp 1 om inte annat anges.

1.5 Omfattning

De maskinutrustningar och andra tekniska hjälpmedlen för tunneldrivning som behandlas i föreliggande rapport omfattar inte all erforderlig utrustning för tunneldrivning enligt borrar-spräng-konceptet, utan endast vissa behandlas. De som behandlas har valts med utgångspunkt från i vilken omfattning de påverkar tunneldrivningsprocessen och slutprodukten enligt följande:

Enligt [1] kan samtliga involverade utrustningar anses som viktiga för tidsfaktorn vid tunneldrivning, medan endast vissa utrustningar har potential att påverka både slutprodukten kvaliteten och den tid som utförandet av en salvcykel tar i anspråk.

De utrustningar och andra hjälpmedel som enbart är viktiga med avseende på tid behandlas *inte* i föreliggande dokument då deras påverkan på systemets effektivitet i huvudsak bestäms av det system för aktivitetsstyrning som används samt hur tillgängliga och driftsäkra de är. I föreliggande dokument behandlas *enbart* de utrustningar och andra tekniska hjälpmedel som kan påverka både kvalitets- och tidsaspekterna vid tunneldrivning [1]. Dessa är:

- utrustning för borrar
- utrustning för laddning inklusive initieringssystem
- utrustning för mekaniserad skrotning
- utrustning för driftförstärkning: mekaniserad bergförankring respektive betongsprutning.

Tekniska hjälpmedel för utförande av aktivitetsstyrning och framtagning av konstruktionsunderlag kan också förväntas vara viktiga för snabbare och bättre tunneldrivning men dessa behandlas inte då projektet är inriktat mot "...de bästa tillgängliga hjälpmedlen för tunneldrivning..." [1], d.v.s. arbetet framme vid tunnelfronten. Aktivitetsstyrning respektive framtagning av konstruktionsunderlag behandlas i den separata rapporten "Snabbare och bättre tunneldrivning – Rutiner för styrning av tunneldrivningsprocessen".

1.6 Redovisning

De specificeringar, beskrivningar och värderingar som redovisas utgår i samtliga fall från kritiska funktioner för de aktuella utrustningarna. Vilka dessa "kritiska funktioner" är redovisas i anslutning till respektive utrustning baserat på [1]. Varför de bedöms kritiska, redovisas också i [1]. Innehållet i redovisningarna utgår från följande:

- hur väl syftet med den aktivitet för vilken en utrustning är avsedd kan uppnås på ett effektivt, säkert och miljövänligt sätt. De olika syftena definierades i [1] och återges även i följande kapitel i anslutning till respektive utrustning, i vissa fall i omarbetad form jämfört med tidigare.
- i vilken omfattning en utrustning underlättar användarens arbete i varje utförandeskede med avseende på minimering av de prioriterade problem som kan uppkomma i samband med aktuell aktivitet [1].

Det bör framhållas att förekomsten av olika problem ofta tillskrivs olika "brister" hos utrustningen. M.h.t. erfarenheterna från hittills utfört arbete i projektet kan detta dock anses vara en tveksam observation då varje organisation frivillig specificerar, upphandlar och driftsätter sina egna utrustningar i sina egna användarsammanhang utifrån följande:

Det är organisationens ansvar att hitta en lämplig avvägning mellan förväntningarna på resultaten, den använda maskinparkens egenskaper och utföranderutinernas utformning, efterlevnad och fortlöpande utveckling i den verksamhet där de används, d.v.s. beaktande av aktuell problembild. De uppskattade problemsannolikheterna i [1] indikerar att denna balansakt utgör en betydande utmaning.

Med stöd av ovanstående kan det således anföras att maskinutrustningarna som sådana knappast kan anses utgöra någon egentlig källa till problem. Däremot kan olika tekniska förbättringar bidra till att problemsannolikheter minskar och/eller att verksamhetens mål kan uppnås med utföranderutiner av rimligare omfattning och komplexitet och som (i) stödjer utförarna i yrkesrollen och (ii) vidareutvecklas av de involverade personerna i direkt samverkan.

De utrustningar som omfattas av föreliggande dokument har under arbetets gång kommit att benämnas "BAT", Best Available Technology. Ett visst mått av pragmatism har bedömts nödvändigt att tillämpa med avseende på begreppet "Available" och med hänsyn till värdet av slutresultatet från projektet. Med utgångspunkt från utfört arbete kan en "BAT" på en övergripande nivå definieras till följande:

En BAT är utformad så att:

- ***syftet med den aktivitet för vilken en utrustning är avsedd kan uppnås på ett effektivt, säkert och miljövänligt sätt***
- ***den underlättar användarens arbete i varje utförandeskede genom tillgång till ändamålsenliga tekniska lösningar för hantering av olika problem som uppkommer i samband med olika aktiviteter.***

2 Utrustning för salvborrning

2.1 Syfte

Utgångspunkten för identifiering och/eller funktionsspecificering av BAT baseras, enligt avsnitt 1.6, av hur väl syftet med aktuell aktivitet kan uppnås på ett effektivt, säkert och miljövänligt sätt. Detta syfte har för borrning definierats till [1]:

Syftet med borrning är att borra upp en i förväg definierad tunnelgavel enligt en i förväg fastställd borrarplan och överlämna arbetsresultatet vid en i förväg fastställd tidpunkt.

2.2 Prioriterade problem

Utöver en utrustnings förmåga att på ett ändamålsenligt och effektivt sätt kunna bidra till att syftet med olika enhetsoperationer kan uppnås är det också av vikt att den är utformad och utrustad på ett sådant sätt så att hanteringen av så många som möjligt av de problem som prioriterades i [1] underlättas för användaren, se avsnitt 1.6. Vilka dessa problem är redovisas i nedanstående tabeller, uppdelade på kvalitets- och tidspåverkande problem respektive tidspåverkande problem.

Tabell 2-1: Prioriterade kvalitets- och tidspåverkande problem från [1] redovisade i rangordning.

Kod	Prioriterade kvalitets- och tidspåverkande problem vid utförande av borrhning
BOR51	Borrhål erhåller felaktig inriktning
BOR11	Otillräckligt underhållna rikthjälpmiddel (givare och riktutrustning)
BOR70	Rapportering av utfört arbete av otillräcklig kvalitet
BOR10	Otillräckligt underhållna utrustning (ex: krokiga balkar, glapp, trasiga borrhstöd)
BOR31	Fel inriktning och uppställning av borrhaggregat (positionering)
BOR56	Felaktig kompensation vid medveten förändring av borrhplan
BOR50	Påhugg utförs i en felaktig position
BOR30	Gavelbesiktning av otillräcklig kvalitet
BOR55	Ett eller flera utförda borrhål har förbindelse med varandra (geologiskt betingat)

Tabell 2-2: Tidspåverkande problem från [1] som bedömts möjliga att påverka med relativt kortsiktiga åtgärder.

Kod	Tidspåverkande problem vid utförande av borrhning
BOR102	Borrharen konstaterar ett utförandefel från föregående salva eller aktivitet och behöver veta hur han ska hantera detta (ex: sönderskjuten gavel, kvarstående borrhpipor eventuellt med sprängmedel kvar)
BOR103	Borrharen konstaterar ett eget utförandefel och behöver veta hur han ska hantera detta
BOR106	Ras på utrustningen
BOR107	Fel på borrhigg (mekaniska, elektriska, hydrauliska)
BOR109	Tagit med fel eller för lite borrhverktyg
BOR110	Operatören glömmer/underlåter att rensa sulan och säkra sulhålen inför laddning

2.3 Översiktlig statusbedömning

Idag finns utrustning inom salvborrning som kan bedömas tillhandahålla sådana tekniska förutsättningar, inklusive art och omfattning hos tillhörande utföranderutiner, att den kan anses uppfylla rimliga krav på ”BAT”. Praktiskt sett innebär detta att bruket av sådan utrustning gör det realistiskt att eftersträva en mera fullständig följsamhet gentemot fastställda planer jämfört med idag.

Det bör dock noteras att en ”BAT” för borrning bör användas tillsammans med en ”BAT” för laddning för att full förbättringseffekt skall kunna påräknas. I sistnämnda innefattas även de följdkrav detta för med sig med avseende på ett väl fungerande system för aktivitetsstyrning som, utan vilket, den tid som frigörs genom bättre kvalitet i utförandet inte kan nyttiggöras.

2.4 Funktionskrav för borrhålsutrustning

2.4.1 Allmänt

Nedan redovisas den, i huvudsak funktionsbaserade, specifikation avseende utrustning för utförande av salvborrning vid tunneldrivning som tagits fram inom föreliggande arbete. Den är uppbyggd utifrån de s.k. delmoment som utgjorde grunden för problemidentifieringen i [1] för att tydliggöra värdet av att utrustningen underlättar användarens hantering av problem i de olika utförandeskedena (delmoment). Vissa av benämningarna på delmomenten har i vissa fall ändrats i något avseende jämfört med tidigare för att göra redovisningen mer överskådlig samt för att bidra till att ett gemensamt, problembaserat, synsätt byggs upp bland beställare och leverantörer avseende utrustningsutformning. Därigenom kan inriktningen i det långsiktiga utvecklingsarbetet fokuseras utifrån ett likartat synsätt.

Det har varit en strävan att formulera kraven på ett sådant sätt att de bejaktar de utrustningsfunktioner som stödjer en förbättrad problemlösning, men utan att utesluta utrustningar som inte stödjer lösningen av samma problem i samma omfattning. De flesta krav uppfylls således i viss omfattning redan idag, medan det kan dröja flera år innan alla krav uppfylls på ett riktigt bra och ändamålsenligt sätt. Anledningen till detta ”mjukare” sätt att formulera kraven är att det skall vara möjligt att använda denna specifikation även framgent för att

kunna avgöra vad som i varje givet ögonblick är ”BAT”, Best Available Technology, samt för att den inte skall bli omodern så snabbt p.g.a. den pågående tekniska utvecklingen.

De prioriterade problem från [1] vilka i första hand bedöms påverkas genom uppfyllandet av olika krav anges inom parentes i anslutning till de olika kraven.

2.4.2 Övergripande krav

2.4.2.1 Driftsäkerhet och underhåll

Utrustningen skall ha en utformning som minimerar sannolikheten för att mekaniska, elektriska och hydrauliska fel uppstår. Följande skall redovisas av tillverkaren (BOR10, BOR11, BOR 107):

- beskrivning av utrustningens bakomliggande designfilosofi m.h.t. driftsäkerhet
- driftsäkerhetsstatistik, samt redovisning av det sammanhang den har hämtats från, i den utsträckning sådan finns
- förteckning och översiktlig beskrivning av de system som av leverantören bedöms vara kritiska för utrustningens driftsäkerhet.

Utrustningen skall ha en utformning som minimerar tidsåtgången för åtgärdande av elektriska, mekaniska och hydrauliska fel i händelse av att sådana uppstår. Följande skall redovisas (BOR10, BOR11, BOR107):

- beskrivning av utrustningens bakomliggande designfilosofi med hänsyn till underhållsmässighet, inklusive eventuellt system för datoriserad felsökning.

Tillkommande detaljkrav specificeras av beställaren.

2.4.2.2 Arbetsmiljö och säkerhet

Utrustningen skall vara försedd med hytt och uppfylla tillämpliga lagar och förordningar inom gruv- och anläggningsbranschen vid såväl transport som utförande av avsett arbete, exempelvis utformning av hytt, allmän komfort (exempelvis AC), arbetsmiljö inklusive ergonomi (exempelvis åk- och sittkomfort, full ståhöjd), utformning av bromssystem, bromsförmåga vid

transport och parkering, avgasbestämmelser, varningsljus, buller, vibrationer, brandsläckning, luftmiljö, sikt och rengöring av rutor, säkerhet (exempelvis pansarglas, dolskydd, brandsläckning) m.m.

Tillkommande detaljkrav specificeras av beställaren.

2.4.2.3 Utbildning

Förslag på utbildning för operatörer respektive underhållspersonal skall redovisas.

Tillkommande detaljkrav specificeras av beställaren.

2.4.2.4 Reservdelar och service

Ett förslag på reservdelar som bör finnas lokalt för att säkerställa planerad tillgänglighet på utrustningen samt vilka reservdelar som vid behov kan tillhandahållas inom tidrymd som anges av beställaren skall lämnas av leverantören (normalvärde: 48 timmar). Gäller ej skador orsakade av ras eller annan yttre påverkan.

I de fall beställaren så begär skall leverantören redovisa ett förslag med avseende på serviceåtagande.

Tillkommande detaljkrav specificeras av beställaren.

2.4.3 Arbetsförberedelse

Utrustningen skall vara försedd med förvaringsutrymmen och transportkapacitet för all utrustning och material som erfordras för utförande av arbetet.

Tillkommande detaljkrav specificeras av beställaren.

2.4.4 Arbetsbeställning

Utrustningen skall vara försedd med datoriserad utrustning för att kunna ta emot och registrera nödvändiga uppgifter för navigering och borrning.

Beställningen skall följa IREDES-format ("IREDES" = International Rock Excavation Data Exchange Standard).

Tillkommande detaljkrav specificeras av beställaren.

2.4.5 Transport

Bärarenheten skall vara midjestyrd och skall vara utformad så att den regelmässigt kan framföras i tunnlar enligt de minimimått och innerkurvradiier som beställaren kräver för den aktuella arbetsplatsen. Aggregatets höjd skall understiga av beställaren specificerat mått (normal-värde: 3,5 m).

Bärarenheten skall fullt lastad och utrustad kunna framföras i lutning 1:7 med en minsta hastighet som specificeras av beställaren (normalvärde: 5 km/timme). Leverantören skall redovisa de förhållanden vid vilka kravet uppfylls, inklusive antagande avseende underlagets beskaffenhet.

Bärarenheten skall fullt lastad och utrustad kunna köras i lutningar av 1:4. Leverantören skall redovisa de förhållanden vid vilka kravet uppfylls, inklusive antagande avseende underlagets beskaffenhet.

Tillkommande detaljkrav specificeras av beställaren.

2.4.6 Fram- respektive utkörning

Anslutning respektive demontering av aggregatet till arbetsplatsens fasta nät för elektricitet och vatten skall vara utformad med godkända kopplingar för snabbt och säkert utförande.

Tillkommande detaljkrav specificeras av beställaren.

2.4.7 Förberedelse- respektive avslutningsarbeten

Uppställning på, respektive nedkörning från, stödben skall kunna ske snabbt och säkert. All styr- och reglerutrustning som erfordras för utförande av aktuellt arbete skall snabbt och enkelt kunna försättas i operativt läge.

Tillkommande detaljkrav specificeras av beställaren.

2.4.8 Utförande av salvbörning

2.4.8.1 Allmänt

Utrustningen skall klara att utföra salvbörning i alla på arbetsplatsen förekommande situationer och bergförhållanden. Begränsningar avseende detta skall redovisas.

Utrustningens effektiva arbetsområde för avsedda uppgifter skall redovisas med utgångspunkt från vad som specificeras av beställaren (normalvärde: BxH = 7x6 m).

Utrustningen skall kunna trimmas och optimeras vid idrifttagandet så att önskad hålrakhet skall kunna uppnås.

Utrustningen skall ha hjälpmedel för s.k. automatiskt påhugg för att rätt placerade påhugg skall kunna säkerställas (BOR50).

Operatören skall under borrning kunna välja mellan, vid installationen förinställda, inställningar för borrning med olika krontyper. Minst skär, stift och grovkrona i de på arbetsplatsen förekommande dimensionerna. Vidare skall operatören kunna justera minst matningstrycket för att kunna påverka hålrakheten.

Utrustningen skall vara utrustad med fastborrningssskydd samt möjlighet att blåsa hålen med tryckluft.

Tillkommande detaljkrav specificeras av beställaren.

2.4.8.2 Navigering

Begränsningar med avseende på utrustningens lutning vid uppställning och rikthjälpmedlens rekommenderade arbetsområde skall redovisas (BOR51, BOR31, BOR50).

Navigering skall minst kunna utföras utifrån en uppsatt laser och medföra att borrarplanens krav på hålriktning och –lutning skall kunna följas (BOR51, BOR31, BOR50).

Navigeringen skall vara utformad så att riggens läge kan bestämmas för att loggade hål skall kunna koordinatbestäms på ett sådant sätt att de kan kontrolleras mot planerat läge (BOR51, BOR31, BOR50).

Alternativa utformningar med avseende på navigeringsmetoder, respektive för- och nackdelar, skall redovisas.

Tillkommande detaljkrav specificeras av beställaren.

2.4.8.3 Datoriserade rikthjälpmedel

Utrustningen skall vara försedd med datoriserade rikthjälpmedel så att erforderlig noggrannhet skall kunna uppnås vid borrningen. Rikthjälpmedlens begränsningar och noggrannhet

skall redovisas samt vilka mått och steg som vidtagits vid systemutformningen för erhållande av ett användarvänligt gränssnitt (BOR51, BOR31, BOR56, BOR50).

Parallellhållningen skall uppfylla höga krav på noggrannhet.

Kravet på parallellhållning medför att en elektronisk lösning, och som hämtar styrdata från den digitala informationen som givarna ger datorn, bör väljas. En hydraulisk lösning medför endast att olika cylinderflöden jämförs, vilket kan antas inte uppfylla kraven på noggrannhet.

Möjligheterna med avseende på s.k. fulldataborrning skall redovisas (helautomatisk borrning). Framst avses kapaciteter, fördelar och nackdelar (BOR50).

Manual för riktsystemen med de olika arbetsoperationerna beskrivna och förklarade ska finnas och ingå i den dokumentation som medföljer utrustningen vid leverans.

Tillkommande detaljkrav specificeras av beställaren.

2.4.8.4 Kapacitet

Utrustningens effektiva kapacitet skall redovisas, tillsammans med en definition av vad som inkluderas respektive exkluderas i begreppet ”effektiv kapacitet”.

Redovisningen kan baseras på en detaljredovisning av erforderliga tider för utförande av följande aktiviteter, inklusive de förutsättningar som antagits:

- uppställning och inriktning av aggregat*
- inriktning och borrning av hål*
- flyttning av bom till nytt hålläge*
- byte av krona (ange hur många bormeter/krona som ansatts)*
- rymning av beställaren angivet antal hål av angiven dimension till ny, större, dimension som grovhål.*

Salvan kan antas ha den storlek som specificeras av beställaren och den totala tid som skall anges avser från start av uppställning till och med att det sista hålet avslutats (normalvärde: BxH = 7x6 m). Det förutsätts att berget har egenskaper liknande s.k. ”svensk granit” om inte annat anges.

Tid då operatören ej utför borring, såsom vid skiftbyte, under matpauser etc, får exkluderas.

Som ett riktvärde kan ca 3 bormeter per minut, räknat på en trebomsrigg, användas som ett minimikrav för den effektiva borkapaciteten på en salva.

Tillkommande detaljkrav specificeras av beställaren.

2.4.9 Återrapportering (leverans och avlämning)

Utrustningen skall vara försedd med system för insamling och överföring av information (logg) som dokumenterar arbetsutförandet. En sådan logg skall omfatta minst följande:

- salvidentifikation
- hållplacering
- hålriskt
- håltyper
- tider.

Återrapporteringen skall ske i IREDES-format.

Tillkommande detaljkrav specificeras av beställaren.

2.5 Kortsiktigt tillgängliga förbättringsmöjligheter

Av ovanstående problem bedöms ett antal vara möjliga att minimera genom att ställa krav avseende detta i samband med upphandling, givet att den egna verksamheten drivs med utgångspunkt från fungerande utföranderutiner. Förbättrad hantering av följande prioriterade problem genom fullskalig användning av en s.k. "BAT" kan således ställas i utsikt:

- BOR51 Borrhål erhåller felaktig inriktning
- BOR31 Fel inriktning och uppställning av borrarregat (positionering)
- BOR50 Påhugg utförs i en felaktig position
- BOR56 Felaktig kompensation vid medveten förändring av borrarplan

2.6 Förbättringsmöjligheter på längre sikt

Redan delar av de tekniska förbättringar som finns idag kan betraktas som steg i riktning mot förbättrad hantering av nedanstående problem:

- BOR70 Rapportering av utfört arbete av otillräcklig kvalitet
- BOR30 Gavelbesiktning av otillräcklig kvalitet

En väl fungerande organisation och ändamålsenliga rutiner för utförande kan dock även fortsatt antas komma en förutsättning för ovanstående.

På något längre sikt bedöms den enskilt största förbättringsmöjligheten avse driftsäkerhet och underhåll, även om organisationen också här är av stor betydelse. Främst avses följande problem:

- BOR11 Otillräckligt underhållna rikthjälpmedel (givare och riktutrustning)
- BOR10 Otillräckligt underhållna utrustning (ex: krokiga balkar, glapp, trasiga borrhåll)
- BOR107 Fel på borrhåll (mekaniska, elektriska, hydrauliska)

Det första steget i riktning mot långsiktiga förbättringar avseende ovanstående avser utveckling av upphandlingsförfarandet mot s.k. LCC-upphandling. Denna slutsats baseras på erfarenheter från främst processindustrin och där mångårig erfarenhet av s.k. underhållsbaserad konstruktion redan finns, d.v.s. hög driftsäkerhet och goda underhållsegenskaper börjar på konstruktörens ritbord [2, 3].

Avseende kvarvarande kvalitets- och tidspåverkande problem saknar följande ett ändamålsenligt teknisk stöd i dagsläget:

- BOR55 Ett eller flera utförda borrhål har förbindelse med varandra (geologiskt betingat)

Det är dock inte självklart att detta utgör ett borrhållsproblem, utan problemet bedöms även kunna hanteras i samband med laddning. Eventuellt kan även delar av det hanteras via konstruktionsunderlaget i de fall det är möjligt att ”bygga in” en tolerans för att det kan inträffa.

Nyttan av eventuella åtgärder erfordrar också värdering m.h.t. till den faktiska konsekvensen av att det inträffar samt den ökade utförandetid som kan förväntas för hantering.

Av övriga problem bedöms flertalet kunna påverkas genom förbättrade rutiner för utförande.

2.7 Bilagor och övriga rapporter

Inga bilagor eller övriga rapporter med avseende på utrustning för salvborrning har tagits fram.

3 Utrustning för laddning

3.1 Syfte

Utgångspunkten för identifiering och/eller funktionsspecificering av BAT baseras, enligt avsnitt 1.6, av hur väl syftet med aktuell aktivitet kan uppnås på ett effektivt, säkert och miljövänligt sätt. Detta syfte har för laddning definierats till [1]:

Syftet med laddning är att ladda den uppborrade tunnelgaveln enligt en i förväg fastställd laddplan och överlämna arbetsresultatet vid en i förväg fastställd tidpunkt.

3.2 Prioriterade problem

Utöver en utrustnings förmåga att på ett ändamålsenligt och effektivt sätt kunna bidra till att syftet med olika enhetsoperationer kan uppnås är det också av vikt att den är utformad och utrustad på ett sådant sätt så att hanteringen av så många som möjligt av de problem som prioriterades i [1] underlättas för användaren, se avsnitt 1.6. Vilka dessa är redovisas i nedanstående tabeller, uppdelade på kvalitets- och tidspåverkande problem respektive tidspåverkande problem.

Tabell 3-1: Prioriterade kvalitets- och tidspåverkande problem från [1] redovisade i rangordning.

Kod	Prioriterade kvalitets- och tidspåverkande problem vid utförande av laddning
LAD56	Det införda sprängmedlet erhåller fel diameter
LAD57	Den införda sprängmedelssträngen har avbrott (ex: till följd av brist i utförandet, ras, vibrationer och/eller vid tryckvåg vid sprängning)
LAD67	Kvarvarande väggar eller tak runt den utförda salvan skadas i oönskad omfattning
LAD52	Tändare och primer erhåller felaktig position i borrhålet (ex: p.g.a. ras i hålet)
LAD54	Sprängmedlet börjar ej där det ska (vid hålbotten)
LAD55	Det införda sprängmedlet erhåller fel styrkegrad
LAD60	Alltför låg noggrannhet hos använda tändare (tändarspridning)
LAD66	Sulan under den utförda salvan erhåller otillräcklig kvalitet (ex: gaddar, sprängskador)
LAD10	Otillräckligt underhållen mätutrustning (ex: mätare fungerar inte eller är ej kalibrerade)
LAD51	Hål som ska laddas, laddas ej (ex: ej framgrävda sulhål)
LAD53	Laddning utförs med ingen, fel eller felaktig, tändare eller primer
LAD59	Felaktig sprängmedelsmängd (ex: sprängmedel pumpas in i hålighet i berget)
LAD64	Den utförda salvans indrift avviker från planerat
LAD65	Den utförda salvans botten, d.v.s. nästföljande gavel, erhåller otillräcklig kvalitet

Tabell 3-2: Tidspåverkande problem från [1] som bedömts möjliga att påverka med relativt kortsiktiga åtgärder.

Kod	Tidspåverkande problem vid utförande av laddning
LAD102	Slangen kan ej föras in till hålbotten (ex: p.g.a. ras)
LAD103	Kraftigt vattenflöde ur ett hål
LAD104	Tagit med för få, fel tändare eller för lite sprängmedel
LAD105	Borraren har inte rensat sulan och säkrat sulhålen
LAD106	Ras på utrustningen
LAD107	Fel på laddrigg (mekaniska, elektriska, hydrauliska)
LAD109	Laddaren upptäcker ett utförandefel från borring
LAD110	Laddaren upptäcker ett eget utförandefel som han behöver veta hur han ska hantera
LAD111	Laddaren misstänker att det sprängmedel som används är defekt

3.3 Översiktlig statusbedömning

Idag finns utrustning inom laddning som kan *nästan* bedömas tillhandahålla sådana tekniska förutsättningar, inklusive art och omfattning hos tillhörande utföranderutiner, att den kan anses uppfylla rimliga krav på ”BAT”. Praktiskt sett innebär detta att bruket av sådan utrustning gör det realistiskt att eftersträva en mera fullständig följsamhet gentemot fastställda planer jämfört med idag. Den del av systemet som inte ännu bedöms uppfylla kraven avser initieringssystemen.

Det bör dock noteras att en ”BAT” för laddning bör användas tillsammans med en ”BAT” för borring för att full förbättringseffekt skall kunna påräknas. I sistnämnda innefattas även de följdkrav detta för med sig med avseende på ett väl fungerande system för aktivitetsstyrning som, utan vilket, den tid som frigörs genom bättre kvalitet i utförandet inte kan nyttiggöras.

3.4 Funktionskrav för laddningsutrustning

3.4.1 Allmänt

Nedan redovisas den, i huvudsak funktionsbaserade, specifikation avseende utrustning för utförande av laddning vid tunneldrivning som tagits fram inom föreliggande arbete. Den är uppbyggd utifrån de s.k. delmoment som utgjorde grunden för probleminentifieringen i [1] för att tydliggöra värdet av att utrustningen underlättar användarens hantering av problem i de olika utförandeskedena (delmoment). Vissa av benämningarna på delmomenten har i vissa fall ändrats i något avseende jämfört med tidigare för att göra redovisningen mer överskådlig samt för att bidra till att ett gemensamt, problembaserat, synsätt byggs upp bland beställare och leverantörer avseende utrustningsutformning. Därigenom kan inriktningen i det långsiktiga utvecklingsarbetet fokuseras utifrån ett likartat synsätt.

Det har varit en strävan att formulera kraven på ett sådant sätt att de bejakar de utrustningsfunktioner som stödjer en förbättrad problemlösning, men utan att utesluta utrustningar som inte stödjer hanteringen av samma problem i samma omfattning. De flesta krav uppfylls således i viss omfattning redan idag, medan det kan dröja flera år innan alla krav uppfylls på ett riktigt bra och ändamålsenligt sätt. Anledningen till detta ”mjukare” sätt att formulera kraven är att det skall vara möjligt att använda denna specifikation även framgent för att kunna av-göra vad som i varje givet ögonblick är ”BAT”, Best Available Technology, samt för att den inte skall bli omodern så snabbt p.g.a. den pågående tekniska utvecklingen.

De prioriterade problem från [1] vilka i första hand bedömts påverkas genom uppfyllandet av olika krav anges inom parentes i anslutning till de olika kraven.

3.4.2 Övergripande krav

3.4.2.1 Driftsäkerhet och underhåll

Utrustningen skall ha en utformning som minimerar sannolikheten för att mekaniska, elektriska och hydrauliska fel uppstår. Följande skall redovisas av tillverkaren (LAD10, LAD107):

- beskrivning av utrustningens bakomliggande designfilosofi m.h.t. driftsäkerhet

- driftsäkerhetsstatistik, samt redovisning av det sammanhang den har hämtats från, i den utsträckning sådan finns
- förteckning och översiktlig beskrivning av de system som av leverantören bedöms vara kritiska för utrustningens driftsäkerhet.

Utrustningen skall ha en utformning som minimerar tidsåtgången för åtgärdande av elektriska, mekaniska och hydrauliska fel i händelse av att sådana uppstår. Följande skall redovisas (LAD10, LAD107):

- beskrivning av utrustningens bakomliggande designfilosofi med hänsyn till underhållsmässighet, inklusive eventuellt system för datoriserad felsökning.

Tillkommande detaljkrav specificeras av beställaren.

3.4.2.2 Arbetsmiljö och säkerhet

Utrustningen skall vara försedd med hytt och uppfylla tillämpliga lagar och förordningar inom gruv- och anläggningsbranschen vid såväl transport som utförande av avsett arbete, exempelvis utformning av hytt, allmän komfort (exempelvis AC), arbetsmiljö inklusive ergonomi (exempelvis åk- och sittkomfort, full ståhöjd), utformning av bromssystem, bromsförmåga vid transport och parkering, avgasbestämmelser, varningsljus, buller, vibrationer, brandsläckning, luftmiljö, sikt och rengöring av rutor, säkerhet (exempelvis pansarglas, dolskydd, brandsläckning) m.m.

Tillkommande detaljkrav specificeras av beställaren.

3.4.2.3 Utbildning

Förslag på utbildning för operatörer respektive underhållspersonal skall redovisas.

Tillkommande detaljkrav specificeras av beställaren.

3.4.2.4 Reservdelar och service

Ett förslag på reservdelar som bör finnas lokalt för att säkerställa planerad tillgänglighet på utrustningen samt vilka reservdelar som vid behov kan tillhandahållas inom tidrymd som anges av beställaren skall lämnas av leverantören (normalvärde: 48 timmar). Gäller ej skador orsakade av ras eller annan yttre påverkan.

I de fall beställaren så begär skall leverantören redovisa ett förslag med avseende på service-åtagande.

Tillkommande detaljkrav specificeras av beställaren.

3.4.3 Arbetsförberedelse

Utrustningen skall vara försedd med förvaringsutrymmen och transportkapacitet för all utrustning och material som erfordras för utförande av arbetet.

Tillkommande detaljkrav specificeras av beställaren.

3.4.4 Beställning

Datoriserad utrustning för att kunna ta emot och registrera nödvändiga uppgifter för arbetets utförande och/eller återrapportering. Beställningen skall följa IREDES-format.

Tillkommande detaljkrav specificeras av beställaren.

3.4.5 Transport

Bärarenheten skall vara utformad så att den regelmässigt kan framföras i tunnlar enligt de minimimått och innerkurvradier som beställaren kräver för den aktuella arbetsplatsen. Utrustningens höjd skall understiga av beställaren angivet mått (normalvärde: 3,5 m).

Bärarenheten skall fullt lastad och utrustad kunna framföras med en minsta hastighet i lutning 1:7 som specificeras av beställaren (normalvärde: 5 km/timme). Antagande avseende underlagets beskaffenhet skall redovisas inklusive motiv för antagande skall redovisas av tillverkaren.

Bärarenheten skall fullt lastad och utrustad kunna köras i lutningar av 1:4. Antagande avseende underlagets beskaffenhet skall redovisas inklusive motiv för antagande av tillverkaren.

Tillkommande detaljkrav specificeras av beställaren.

3.4.6 Framkörning respektive utkörning

Anslutning respektive demontering av utrustningens till arbetsplatsens fasta nät för elektricitet skall vara utformad med godkända kopplingar för snabbt och säkert utförande.

Tillkommande detaljkrav specificeras av beställaren.

3.4.7 Förberedelse- respektive avslutningsarbeten

Uppställning på, respektive nedkörning från, stödben skall kunna ske snabbt och säkert.

All styr- och reglerutrustning som erfordras för utförande av aktuellt arbete skall snabbt och enkelt kunna försättas i operativt läge.

Tillkommande detaljkrav specificeras av beställaren.

3.4.8 Utförande av laddning

3.4.8.1 Allmänt

Utrustningen skall klara av att utföra laddning i alla på arbetsplatsen förekommande situationer och bergförhållanden. Begränsningar avseende detta skall redovisas.

Utrustningens effektiva arbetsområde för avsedda uppgifter skall redovisas med utgångspunkt från vad som specificeras av beställaren (normalvärde: BxH = 7x6 m). Därutöver skall godkänd arbetslast i korgen redovisas.

Begränsningar med avseende på utrustningens lutning vid uppställning och rekommenderade arbetsområde skall redovisas.

Laddutrustningen skall vara avsedd för laddning med pumpbart emulsionssprängämne som skall vara sådan typ som känsliggörs genom gasning i borrhålet efter laddning.

Utrustningen skall kunna trimmas och optimeras vid idrifttagandet så att för arbetsplatsen optimerade laddningsmängder erhålls.

Utrustningen skall kunna medge att minst tre olika laddningskoncentrationer erhålls. Detta skall uppnås i första hand med s.k. strängladdning. Om alternativa metoder finns skall dessa redovisas och för- respektive nackdelar beskrivas.

Operatören skall under laddning fritt enligt laddplan kunna välja mellan olika laddningsrecept. Recept kan bestå av olika kombinationer av avladdningar och laddningskoncentrationer. Om begränsningar i form av tid eller laddningsföljd finns skall dessa anges (påverkar i första hand LAD55, LAD56, LAD67 men i någon mån även ett flertal av övriga).

Utrustningen skall vara försedd med slangmatare som kan användas både för inmatning av slangen i hålet och utdragning av slangen vid laddning (LAD57).

Utrustningen skall ha en funktion för att verifiera hålllängd för erhållande av rätt avladdning (LAD54).

Tillkommande detaljkrav specificeras av beställaren.

3.4.8.2 Salvladdning med datoriserat styrsystem

Utrustningen skall vara utrustad med datoriserat styrsystem som styr och bevakar laddprocessen. Systemet skall medge insamling och överföring av information (logg) som dokumenterar arbetsutförandet. De särskilda åtgärder som vidtagits för att erhållande av ett ändamålsenligt gränssnitt gentemot användare skall redovisas (LAD59).

Möjligheten till helautomatisk (s.k. robotiserad) laddning skall redovisas. Kapaciteter, fördelar, nackdelar etc. skall redovisas (LAD51, LAD52, LAD54, LAD55, LAD56, LAD57, LAD59).

Manual för laddsystemen med de olika arbetsoperationerna beskrivna och förklarade ska finnas.

Tillkommande detaljkrav specificeras av beställaren.

3.4.8.3 Kapacitet

Utrustningens effektiva kapacitet skall redovisas med utgångspunkt från minst följande rekommendation:

- areor på salvorna.
- antal laddlinjer
- tankvolym

Tillkommande detaljkrav specificeras av beställaren.

3.4.9 Återrapportering (leverans och avlämning)

Utrustningens system för insamling och överföring av information (logg) som dokumenterar arbetsutförandet. En sådan logg skall omfatta minst följande:

- salvidentifikation
- laddningsmängd för respektive håltyp
- hållängder
- aktuella initieringstider.

Återrapporteringen skall ske i IREDES-format.

Tillkommande detaljkrav specificeras av beställaren.

3.4.10 Förbättrad initiering m.h.a. elektroniska sprängkapslar

3.4.10.1 Allmänt om sprängkapslar

Upptändningsmetoder för sprängämnen kan delas upp i följande tre huvudgrupper: (i) icke elektriska, (ii) elektriska samt (iii) elektroniska.

Bland de icke elektriska finns krutstubin med sprängkapsel, pentylstubin och system som överför en signal, en stötvåg, i en plastslang. Signalöverföring via plastslang har kommit av att bli det vanligaste upptändningssystemet. Plastslangen är belagd på insidan av ett reaktivt material vilket överför stötvågen med en hastighet av ca 2000 m/s. I Sverige känner vi dessa produkter som Nonel eller Dynashock. Dessa upptändningssystem har nästan helt ersatt den elektriska upptändningen. Detta beror främst på att den elektriska upptändningen är känslig för inverkan av kraftiga strömfält och för blixtnedslag.

Det elektriska systemet och signalöverföring via en plastslang har ungefär samma uppbyggnad av sprängkapseln. Kapseln består av ett skyddande hölje av t.ex. aluminium. Tändledningen överför en signal som initierar kapselns fördröjningssats. Då fördröjningssatsen brunnit upp tänder den en liten 1 g sprängladdning som är inbyggd längst fram i sprängkapseln. Fördröjningstiden regleras av en pyroteknisk sats och finns i förutbestämda tider på mellan 0 till 6000 ms (Nonel) med tidssteg om 25 ms, 100 ms samt 500 ms.

3.4.10.2 Funktionsbeskrivning elektroniska sprängkapslar

Den elektroniska sprängkapseln består i princip av en kondensator, en fördröjningsenhet, en tändenhet samt en liten sprängladdning. Signalen till kapseln överförs antingen genom en elektrisk ledning eller en plastslang. Vidare består systemen oftast av en specifik tändapparat som endast fungerar tillsammans med tillverkarens kapslar. Systemet består oftast också av en enhet med vars hjälp kapselns funktion kan kontrolleras.

Principiellt förekommer två olika typer av tändare, dels förprogrammerade kapslar och dels programmerbara kapslar. De förprogrammerade kapslarna finns i två typer beroende på hur signalen överförs, elektriskt eller i en plastslang (typ Nonel). Den elektriska överföringen är ofta av flerledartyp och kräver därför en speciell tillverkartypisk kabel. I systemet med plastslang överförs en stötvåg i slangen som sedan omvandlas till en elektrisk signal i kapseln. De programmerbara kapslarna saknar fasta fördröjningstider och ger användarna möjlighet att i fält själva bestämma vilka tider som skall användas.

3.4.10.3 Fördelar med elektroniska sprängkapslar

Ökad noggrannhet och ett ökat antal tidssteg

I de elektroniska sprängkapslarna regleras fördröjningen med elektronik. Detta betyder att noggrannheten blir mycket bättre än med de idag använda systemen. Systemet är flexibelt och inte låst till bestämda intervall. I Tabell 3-3 redovisar en jämförelse av några typiska data för olika slags sprängkapslar.

Tabell 3-3: Jämförelse av typiska data för några olika typer av sprängkapslar.

Typ av sprängkapsel	Intervalltider (ms)	Tidssteg (ms)	Noggrannhet i % av fördröjningstiden
Pyroteknisk	0-7000	25, 100	1,5-2,5
Elektronisk	0-20000	1	0,02

Möjligheter att reducera vibrationer

Genom att utnyttja det stora antalet intervalltider och precisionen kan vibrationer från sprängningar reduceras genom användande av elektroniska sprängkapslar. Man använder sig

av utsläckningsmetodik, d.v.s. genom att välja intervalltider för de olika hålen så att vibrationssignalen i bestämda punkter tar ut varandra istället för att förstärka varandra.

Minskad skadezon

Elektronisksprängkapslar ger möjlighet att reducera skador på kvarstående berg. Den kortaste sprickutbredningen erhålles vid momentan initiering av konturhålen. På grund av den stora tändspridningen i intervalltiden för pyrotekniska kapslar är det idag inte möjligt att spränga konturhålen momentant. Genom att utnyttja elektroniska sprängkapslar kan man uppnå en mycket bra skonsam sprängning så att efterföljande skrotning och bergförstärkning kan reduceras.

Möjlighet till stora salvor

Tunnelsalvor med stora areor kan vara bekymmersamma att intervallsätta med dagens pyrotekniska sprängkapslar. Elektroniska sprängkapslar ger helt andra möjligheter att spränga stora areor samt flera närliggande tunnelsalvor med olika intervalltider.

Ökad potential för nya sprängmetoder

Elektroniska sprängkapslar öppnar upp nya metoder för sprängning. Längre hål med uppdelade laddningar (olika intervalltider i samma hål) ger möjlighet att spränga längre salvor med lägre vibrationer. Helt nya öppningsmetoder kan komma att användas.

3.4.10.4 Nackdelar med elektroniska sprängkapslar

Kostnad

De elektroniska sprängkapslarna är för närvarande betydligt dyrare än vanliga sprängkapslar. Priset varierar för olika produkter och tillverkare men priset per kapsel kan ligga på 150-250 kr. Detta skall jämföras med priset för en vanlig kapsel som brukar ligga på 20-35 kr/st. Priset för den elektroniska sprängkapseln bör dock ställas i relation till vilka fördelar den ger. Samtidigt kan en långsiktigt ökad efterfrågan antas nedför större produktionsserier och sannolikt sjunkande priser.

Användarvänlighet

Systemen med de elektriska ledare som är vanliga i samband med elektroniska sprängkapslar är oftast relativt komplexa och erfordrar att speciellt utbildad personal deltar i laddningsarbetet.

Användning av elektroniska sprängkapslar i konturen, i kombination med exempelvis Nonel för i återstoden av salvan, medför att två olika system kommer att användas i samma salva. Detta komplicerar laddningsarbetet.

Emellertid finns system som utnyttjar liknande system som Nonel för signalöverföring till kapslarna, dvs. en plastslang som är kopplad till själva sprängkapseln. Systemet kallas Digidet och marknadsförs av Dyno Nobel. Detta system bedöms därför vara "lika lätt" att använda som nuvarande sprängkapslar.

Miljö känslighet

Sprängkapslarna måste vara konstruerade för att tåla den tuffa miljö de utsätts för, fukt, tryckkänslighet m.m.

3.4.10.5 Förslag

Elektroniska sprängkapslar har en stor potential att kunna förbättra den framtida tunneldrivningen och bedöms inom en relativt snar framtid vara såväl användarvänliga som prismässigt acceptabla. För tunneldrift förefaller systemet med signalöverföring i plastslang till en elektronisk sprängkapsel mest intressant d.v.s. Digidet-systemet.

Tillgängligheten med avseende på Digidet-kapseln, förutom att den ännu inte är EU-godkänd, är ännu inte klarlagd och tillhörande detaljspecifikation är inte känd. Det bedöms därför osäkert att dessa kapslar kommer att finnas tillgängliga under Etapp 3 inom projektet "Snabbare och bättre tunneldrivning". Det förslag som lämnas blir därför följande:

- utvärdera elektronikkapselns effekt i konturhålen i ett begränsat antal salvor, exempelvis 20-40 st, och helst då kapslar med förprogrammerade tider. Använd samma fördröjningstider som används i konturen vid vanliga kapslar och jämför elektronisk

initiering av konturhålen med vanlig initiering. Kontrollera speciellt antal hålpipor, profil, skadезon samt mängd och tid för skrotning.

Om kapslar av Digidet-typ finns tillgängliga under Etapp 3 föreslås att provet utförs med dessa.

3.5 Kortsiktigt tillgängliga förbättringsmöjligheter

Av ovanstående problem bedöms ett antal vara möjliga att minimera genom att ställa krav avseende detta i samband med upphandling, givet att den egna verksamheten drivs med utgångspunkt från fungerande utföranderutiner. Förbättrad hantering av följande prioriterade problem genom fullskalig användning av en s.k. "BAT" kan således ställas i utsikt:

- LAD56 Det införda sprängmedlet erhåller fel diameter
- LAD57 Den införda sprängmedelssträngen har avbrott (ex: till följd av brist i utförandet, ras, vibrationer och/eller vid tryckvåg vid sprängning)
- LAD67 Kvarvarande väggar eller tak runt den utförda salvan skadas i oönskad omfattn.
- LAD52 Tändare och primer erhåller felaktig position i borrhålet (ex: p.g.a. ras i hålet)
- LAD54 Sprängmedlet börjar ej där det ska (vid hålbotten)
- LAD55 Det införda sprängmedlet erhåller fel styrkegrad
- LAD51 Hål som ska laddas, laddas ej (ex: ej framgrävda sulhål)
- LAD59 Felaktig sprängmedelsmängd (ex: sprängmedel pumpas in i hållighet i berget)

3.6 Förbättringsmöjligheter på längre sikt

På något längre sikt bedöms den enskilt största förbättringsmöjligheten avse driftsäkerhet och underhåll, även om organisationen också kan bedömas vara av stor betydelse. Främst avses följande problem:

- LAD107 Fel på laddrigg (mekaniska, elektriska, hydrauliska)
- LAD10 Otillräckligt underhållen mätutrustning (ex: mätare fungerar inte eller är ej kalibrerade)

Det första steget i riktning mot långsiktiga förbättringar avseende ovanstående avser utveckling av upphandlingsförfarandet mot s.k. LCC-upphandling. Denna slutsats baseras på erfarenheter från främst processindustrin och där mångårig erfarenhet av s.k. underhållsbaserad konstruktion redan finns, d.v.s. hög driftsäkerhet och goda underhållsegenskaper börjar på konstruktörens ritbord [2, 3].

Utöver ovanstående finns även ett antal prioriterade problem från [1] vilka angivits ha ”komplex orsaksbakgrund”. Förekomsten av dessa problem kan förväntas minska i takt med bättre kontroll över ovanstående problem. Dessa problem är:

- LAD66 Sulan under den utförda salvan erhåller otillräcklig kvalitet (ex: gaddar, sprängskador)
- LAD64 Den utförda salvans indrift avviker från planerat
- LAD65 Den utförda salvans botten, d.v.s. nästföljande gavel, erhåller otillräcklig kvalitet

Med utgångspunkt från vad som anges i avsnitt 3.4.10 kan i dagsläget inte den elektroniska sprängkapseln bedömas uppfylla rimliga krav på användarvänlighet och tillgänglighet. Detta medför att den storskaliga förbättrade hantering av följande problem ännu kan förväntas dröja någon tid, och då endast under förutsättning av produkten efterfrågas av branschen:

- LAD60 Alltför låg noggrannhet hos använda tändare (tändarspridning)

Av övriga problem bedöms flertalet kunna påverkas genom förbättrade rutiner för utförande.

3.7 Bilagor och övriga rapporter

Underlagsrapporten bakom den i avsnitt 3.4.10 redovisade värderingen av elektroniska sprängkapslar redovisas i Bilaga 1.

4 Utrustning för skrotning

4.1 Syfte

Utgångspunkten för identifiering och/eller funktionsspecificering av BAT baseras, enligt avsnitt 1.6, hur väl syftet med aktuell aktivitet kan uppnås på ett effektivt, säkert och miljövänligt sätt. Detta syfte har för skrotning definierats till [1]:

Syftet med skrotning är att genom nedtagning av löst sittande bergpartier (i) temporärt minimera risken för nedfallande sten och (ii) skapa ett fördefinierat utgångsläge för efterföljande driftförstärkning i enlighet med i fastställda kriterier samt överlämna arbetsresultatet vid en i förväg överenskommen tidpunkt.

4.2 Prioriterade problem

Utöver en utrustnings förmåga att på ett ändamålsenligt och effektivt sätt kunna bidra till att syftet med olika enhetsoperationer kan uppnås är det också av vikt att den är utformad och utrustad på ett sådant sätt så att hanteringen av så många som möjligt av de problem som prioriterades i [1] underlättas för användaren, se avsnitt 1.6. Vilka dessa är redovisas i nedanstående tabeller, uppdelade på kvalitets- och tidspåverkande problem respektive tidspåverkande problem.

Tabell 4-1: Prioriterade kvalitets- och tidspåverkande problem från [1] redovisade i rangordning.

Kod	Prioriterade kvalitets- och tidspåverkande problem vid utförande av skrotning
SKR51	"Ej löst" sittande bergpartier som borde lämnas kvar, skrotas ned

Tabell 4-2: Tidspåverkande problem från [1] som bedömts möjliga att påverka med relativt kortsiktiga åtgärder.

Kod	Tidspåverkande problem vid utförande av skrotning
SKR100	Det tar väldigt lång tid att bli klar
SKR101	Fel på skrotare (mekaniska, elektriska, hydrauliska)
SKR102	Ras på utrustningen
SKR104	Skrotarens preliminära bedömning av erforderlig driftförstärkning är felaktig och måste göras om

4.3 Översiktlig statusbedömning

Den f.n. dominerande tekniken för utförande av skrotning vid tunneldrivning i Sverige utgörs av mekaniserad skrotning m.h.a. en hydraulisk hammare på en bom. Denna teknik är, till sin utformning, behäftad med allvarliga nackdelar vilka har potential att medföra icke önskade effekter. En alternativ teknik har därför studerats inom SBT-projektet i form av s.k. vattenskrötning. Detta har dels gjorts i form av en kunskapssammanställning, framtagen av projektägaren Falconbridge [4], och dels genom att företrädare för svenska projektägare särskilt studerat Falconbridge's vattenskrötning på plats i Canada med inriktning mot potentiell svensk tillämpning. Baserat på dessa erfarenheter görs följande bedömning (se även Bilaga 2):

Vattenskrötning bedöms inte utgöra något kortsiktigt tillgängligt alternativ till dagens mekaniserade skrotning.

Däremot föreslås fortsatt arbete med avseende på vattenskrötning, men då endast inom ramen för en kombinerad utrustning, tillsammans med betongsprutning. Rätt utformad och rätt använd bedöms en sådan ha potential att minska behovet av mekaniserad skrotning i vissa verksamheter på relativt kort sikt utan att säkerheten påverkas, alternativt kan t.o.m. förbättras något. En tillkommande effekt som erhålls genom användning av en sådan utrustning, och vars värde inte ska underskattas, utgörs av reduktion av antalet erforderliga uppställningar vid

utförande av tunneldrivning. På sikt bedöms den vattenbaserade skrotningen kunna utvecklas ytterligare.

Kombinationsutrustningen behandlas vidare i kapitel 6. Den följande texten i detta kapitel omfattar endast utrustning för mekaniserad skrotning.

4.4 Funktionskrav för utrustning för mekaniserad skrotning

4.4.1 Allmänt

Nedan redovisas den, i huvudsak funktionsbaserade, specifikation avseende utrustning för utförande av mekaniserad skrotning vid tunneldrivning som tagits fram inom föreliggande arbete. Den är uppbyggd utifrån de s.k. delmoment som utgjorde grunden för problemidentifieringen i [1] för att tydliggöra värdet av att utrustningen underlättar användarens hantering av problem i de olika utförandeskedena (delmoment). Vissa av benämningarna på delmomenten har i vissa fall ändrats i något avseende jämfört med tidigare för att göra redovisningen mer överskådlig samt för att bidra till att ett gemensamt, problembaserat, synsätt byggs upp bland beställare och leverantörer avseende utrustningsutformning. Därigenom kan inriktningen i det långsiktiga utvecklingsarbetet fokuseras utifrån ett likartat synsätt.

Det har varit en strävan att formulera kraven på ett sådant sätt att de bejakar de utrustningsfunktioner som stödjer en förbättrad problemhantering, men utan att utesluta utrustningar som inte stödjer hanteringen av samma problem i samma omfattning. De flesta krav uppfylls således i viss omfattning redan idag, medan det kan dröja flera år innan alla krav uppfylls på ett riktigt bra och ändamålsenligt sätt. Anledningen till detta ”mjukare” sätt att formulera kraven är att det skall vara möjligt att använda denna specifikation även framgent för att kunna avgöra vad som i varje givet ögonblick är ”BAT”, Best Available Technology, samt för att den inte skall bli omodern så snabbt p.g.a. den pågående tekniska utvecklingen.

De prioriterade problem från [1] vilka i första hand bedömts påverkas genom uppfyllandet av olika krav anges inom parentes i anslutning till de olika kraven.

4.4.2 Övergripande krav

4.4.2.1 Driftsäkerhet och underhåll

Utrustningen skall ha en utformning som minimerar sannolikheten för att mekaniska, elektriska och hydrauliska fel uppstår. Följande skall redovisas av tillverkaren (SKR101):

- beskrivning av utrustningens bakomliggande designfilosofi m.h.t. driftsäkerhet
- driftsäkerhetsstatistik, samt redovisning av det sammanhang den har hämtats från, i den utsträckning sådan finns
- förteckning och översiktlig beskrivning av de system som av leverantören bedöms vara kritiska för utrustningens driftsäkerhet.

Utrustningen skall ha en utformning som minimerar tidsåtgången för åtgärdande av elektriska, mekaniska och hydrauliska fel i händelse av att sådana uppstår. Följande skall redovisas (SKR101):

- beskrivning av utrustningens bakomliggande designfilosofi med hänsyn till underhållsmässighet, inklusive eventuellt system för datoriserad felsökning.

Tillkommande detaljkrav specificeras av beställaren.

4.4.2.2 Arbetsmiljö och säkerhet

Utrustningen skall vara försedd med hytt och uppfylla tillämpliga lagar och förordningar inom gruv- och anläggningsbranschen vid såväl transport som utförande av avsett arbete, exempelvis FOPS, ROPS, GRAMKO, arbetsmiljö (AFS 1998:1, 8 §, produkter som inte omfattas av produktdirektiv från EU), ergonomi (sittkomfort, ergonomi), utformning av bromssystem, bromsförmåga vid transport och parkering, avgasbestämmelser, varningsljus, buller, vibrationer, brandsläckning m.m.

Tillkommande detaljkrav specificeras av beställaren.

4.4.2.3 Utbildning

Förslag på utbildning för operatörer respektive underhållspersonal skall redovisas på beställarens begäran.

Tillkommande detaljkrav specificeras av beställaren.

4.4.2.4 Reservdelar och service

Ett förslag på reservdelar som bör finnas lokalt för att säkerställa planerad tillgänglighet på utrustningen samt vilka reservdelar som vid behov kan tillhandahållas inom tidrymd som anges av beställaren skall lämnas av leverantören (normalvärde: 48 timmar). Gäller ej skador orsakade av ras eller annan yttre påverkan.

I de fall beställaren så begär skall leverantören redovisa ett förslag med avseende på serviceåtagande.

Tillkommande detaljkrav specificeras av beställaren.

4.4.3 Arbetsförberedelse

Utrustningen skall vara försedd med förvaringsutrymmen och transportkapacitet för all utrustning och material som erfordras för utförande av arbetet.

4.4.4 Arbetsbeställning

PC anpassad utrustning för att kunna ta emot och registrera skrotningsplatser.

Kravet kan uppnås genom att utrustningen levereras med IREDES XML kod som option.

Tillkommande detaljkrav specificeras av beställaren.

4.4.5 Transport

Bärarenheten skall vara utformad så att den regelmässigt kan framföras i av beställaren minimimåttssatta tunnlar (normalvärde: BxH = 4,5x4 m) samt med av beställaren angivet krav på innerkurvradie på (normalvärde: 10,0 m) . Utrustningens höjd skall understiga av beställaren angivet mått (normalvärde: 3,5 m).

Bärarenheten skall fullt lastad och utrustad kunna framföras med en minsta hastighet i lutning 1:9 som specificeras av beställaren (normalvärde: 15 km/timme). Antagande avseende underlagets beskaffenhet skall redovisas inklusive motiv för antagande skall redovisas av tillverkaren.

Bärarenheten skall fullt lastad och utrustad kunna köras i lutningar av 1:4. Antagande avseende underlagets beskaffenhet skall redovisas inklusive motiv för antagande av tillverkaren.

Tillkommande detaljkrav specificeras av beställaren.

4.4.6 Framkörning respektive utkörning

Anslutning respektive demontering av aggregatet till arbetsplatsens fasta nät för el elektricitet och vatten skall vara utformad med godkända kopplingar för snabbt och säkert utförande.

Tillkommande detaljkrav specificeras av beställaren.

4.4.7 Förberedelse- respektive avslutningsarbeten

Uppställning på, respektive nedkörning från, stödben skall kunna ske snabbt och säkert. All styr- och reglerutrustning som erfordras för utförande av aktuellt arbete skall snabbt och enkelt kunna försättas i operativt läge.

Tillkommande detaljkrav specificeras av beställaren.

4.4.8 Utförande av skrotning

4.4.8.1 Allmänt

Utrustningen skall klara att utföra skrotning vid alla på arbetsplatsen förekommande situationer och bergförhållanden. Begränsningar avseende detta skall redovisas.

Tillkommande detaljkrav specificeras av beställaren.

4.4.8.2 Arbetsområde

Skrotararmen skall vara försedd med och redovisa systemlösning och utformning avseende: hydraulbom samt eventuellt för bomförlängning.

Urustningens effektiva arbetsområde för avsedda uppgifter skall redovisas med utgångspunkt från vad som specificeras av beställaren (normalvärde: BxH = 7x6 m). Därutöver skall utrustningen även klara att utföra avsedda arbetsuppgifter i tunnlar som har en areor ned av beställaren angiven storlek (normalvärde: 20 m²).

Tillkommande detaljkrav specificeras av beställaren.

4.4.8.3 Hammare

Utrustningen skall vara försedd med, för ändamålet, lämplig hammare/tand eller annan motsvarande utrustning som bedöms lämplig.

Tillkommande detaljkrav specificeras av beställaren.

4.4.8.4 Kapacitet

Utrustningens effektiva kapacitet skall redovisas med utgångspunkt från följande rekommendation:

- hammartimmar och spettimmar bör enkelt kunna avläsas av operatören, man skall även kunna ställa in ett antal timmar för FU på hammaren och byte av spett.

Riggen skall levereras med CANbus standard.

Tillkommande detaljkrav specificeras av beställaren.

4.4.8.5 Katastrofberedskap

Utrustningen skall vara försedd med katastrofberedskap. Detta innebär att vid eventuell plötsligt uppkommet behov skall utrustningen snabbt kunna dra upp stödbenen, vika in bommen, släppa parkeringsväxeln, lägga i backväxel och därefter backa.

Tillkommande detaljkrav specificeras av beställaren. Kortsiktigt tillgängliga förbättringsmöjligheter

Inga kortsiktigt tillgängliga, maskinrelaterade, förbättringsmöjligheter med avseende på de från [1] prioriterade problemen bedöms föreligga.

4.5 Förbättringsmöjligheter på längre sikt

På något längre sikt bedöms den enskilt största förbättringsmöjligheten avse driftsäkerhet och underhåll, även om organisationen också kan bedömas vara av stor betydelse. Främst avses följande problem:

- SKR101 Fel på skrotare (mekaniska, elektriska, hydrauliska)

Det första steget i riktning mot långsiktiga förbättringar avseende ovanstående avser utveckling av upphandlingsförfarandet mot s.k. LCC-upphandling. Denna slutsats baseras på erfarenheter från främst processindustrin och där mångårig erfarenhet av s.k. underhållsbaserad konstruktion redan finns, d.v.s. hög driftsäkerhet och goda underhållsegenskaper börjar på konstruktörens ritbord [2, 3].

Av övriga problem bedöms flertalet kunna påverkas genom förbättrade rutiner för utförande. Inom ramen för ett sådant förbättringsarbete kan dock vissa utrustningsrelaterade möjligheter eventuellt identifieras. Dessa avser en utveckling av skrotningsutrustningar i riktning mot ”standardiserade utföranden”, d.v.s. förprogrammerad, systematisk, skrotning som baseras på olika skrotningsklasser. En sådan utvecklingsinsats erfordrar dock att sådana skrotningsklasser definieras i de enskilda verksamheterna, ett arbete som i huvudsak avser rutiner för utförande.

4.6 Bilagor och övriga rapporter

Med avseende på utrustning för skrotning har följande underlagsrapporter utarbetats inom det arbete som utförts:

- ”Waterscaling: Summary of Falconbridge’s Knowledge and Experience, 2002 – 2005”. Detta dokument föreligger endast som separat rapport [4].
- ”Studiebesök vattensskrotning, Sudbury, Canada”, Dokumentet redovisas i sin helhet i Bilaga 2.

5 Utrustning för mekaniserad bultning

5.1 Syfte

Utgångspunkten för identifiering och/eller funktionsspecificering av BAT baseras, enligt avsnitt 1.6, av hur väl syftet med aktuell aktivitet kan uppnås på ett effektivt, säkert och miljövänligt sätt. Detta syfte har för mekaniserad bultning definierats till [1]:

Syftet med driftförstärkning är att säkerställa att tunneldelen uppfyller erforderliga krav på säkerhet genom utförande av förstärkningsarbeten i enlighet med i förväg beslutat utförande samt överlämna arbetsresultatet vid en i förväg överenskommen tidpunkt.

5.2 Prioriterade problem

Utöver en utrustnings förmåga att på ett ändamålsenligt och effektivt sätt kunna bidra till att syftet med olika enhetsoperationer kan uppnås är det också av vikt att den är utformad och utrustad på ett sådant sätt så att hanteringen av så många som möjligt av de problem som prioriterades i [1] underlättas för användaren, se avsnitt 1.6. Vilka dessa problem är redovisas i nedanstående tabeller, uppdelade på kvalitets- och tidspåverkande problem respektive tidspåverkande problem.

Tabell 5-1: Prioriterade kvalitets- och tidspåverkande problem från [1] redovisade i rangordning.

Kod	Prioriterade kvalitets- och tidspåverkande problem vid utförande av mekaniserad bultning
MEK31	Bulthål borras med fel inriktning
MEK10	Bedömning avseende erforderligt förstärkningsbehov felaktig eller av otillräcklig kvalitet
MEK33	Bulthålet fylls ej med tillräcklig mängd cement

Tabell 5-2: Tidspåverkande problem från [1] som bedömts möjliga att påverka med relativt kortsiktiga åtgärder.

Kod	Tidspåverkande problem vid utförande av mekansierad bultning
MEK100	Det tar onödigt lång tid att borra bulthålen
MEK101	Det tar onödigt lång tid att fylla de borrade hålen med betong
MEK102	Det tar onödigt lång tid att installera bult, inkl. efterdragning
MEK103	Ställtid mellan borring och betongfyllning är för lång
MEK104	Ställtid mellan betongfyllning och bultinstallation är för lång
MEK105	Fel på riggen (mekaniska, elektriska, hydrauliska)
MEK108	Ras på utrustningen
MEK109	Tagit med fel eller för lite borrverktyg eller betong
MEK110	Operatören konstaterar ett eget utförandefel och behöver veta hur han skall hantera detta
MEK111	Operatören misstänker att den använda betongen har något fel och behöver överväga hur detta skall hanteras
MEK112	Tidsförlust till följd av att verksamheten tvingas vänta på att betongen skall härda

5.3 Översiktlig statusbedömning

Dagens bästa tillgängliga teknologi bedöms inte uppfylla rimliga krav med avseende på prestanda, dels med avseende på kontroll över arbetsutförandet och dels med avseende på kapacitet. Kunskandet för att konstruera och tillverka en sådan bedöms dock finnas varför en funktionsbaserad kravspecifikation utarbetats som speglar de funktioner och den problemhanteringsförmåga som bedöms vara realistisk att en modern utrustning ska kunna uppvisa.

Nedanstående specifikation pekar i riktning mot de krav som det bedöms realistiskt att en inom en nära framtid tillgänglig utrustning skall kunna uppfylla. En sådan utrustning bedöms erfordra två bommar, i stället för en som idag, och det blir en leverantörs uppgift att föreslå hur dessa bör vara utformade och bestyckade samt föreslå lämplig bärare för detta.

5.4 Funktionskrav för utrustning för mekaniserad bultning

5.4.1 Allmänt

Nedan redovisas den, i huvudsak funktionsbaserade, specifikation avseende utrustning för utförande av mekaniserad bultning vid tunneldrivning som tagits fram inom föreliggande arbete. Den är uppbyggd utifrån de s.k. delmoment som utgjorde grunden för problemidentifieringen i [1] för att tydliggöra värdet av att utrustningen underlättar användarens hantering av problem i de olika utförandeskedena (delmoment). Vissa av benämningarna på delmomenten har i vissa fall ändrats i något avseende jämfört med tidigare för att göra redovisningen mer överskådlig samt för att bidra till att ett gemensamt, problembaserat, synsätt byggs upp bland beställare och leverantörer avseende utrustningsutformning. Därigenom kan inriktningen i det långsiktiga utvecklingsarbetet fokuseras utifrån ett likartat synsätt.

Det har varit en strävan att formulera kraven på ett sådant sätt att de bejakar de utrustningsfunktioner som stödjer en förbättrad problemhantering, men utan att utesluta utrustningar som inte stödjer hanteringen av samma problem i samma omfattning. De flesta krav uppfylls således i viss omfattning redan idag, medan det kan dröja flera år innan alla krav uppfylls på ett riktigt bra och ändamålsenligt sätt. Anledningen till detta ”mjukare” sätt att formulera kraven är att det skall vara möjligt att använda denna specifikation även framgent för att kunna avgöra vad som i varje givet ögonblick är ”BAT”, Best Available Technology, samt för att den inte skall bli omodern så snabbt p.g.a. den pågående tekniska utvecklingen.

De prioriterade problem från [1] vilka i första hand bedömts påverkas genom uppfyllandet av olika krav anges inom parentes i anslutning till de olika kraven.

5.4.2 Övergripande krav

5.4.2.1 Driftsäkerhet och underhåll

Utrustningen skall ha en utformning som minimerar sannolikheten för att mekaniska, elektriska och hydrauliska fel uppstår. Följande skall redovisas av tillverkaren (MEK105):

- beskrivning av utrustningens bakomliggande designfilosofi m.h.t. driftsäkerhet

- driftsäkerhetsstatistik, samt redovisning av det sammanhang den har hämtats från, i den utsträckning sådan finns
- förteckning och översiktlig beskrivning av de system som av leverantören bedöms vara kritiska för utrustningens driftsäkerhet.

Utrustningen skall ha en utformning som minimerar tidsåtgången för åtgärdande av elektriska, mekaniska och hydrauliska fel i händelse av att sådana uppstår. Följande skall redovisas (MEK105):

- beskrivning av utrustningens bakomliggande designfilosofi med hänsyn till underhållsmässighet, inklusive eventuellt system för datoriserad felsökning.

Tillkommande detaljkrav specificeras av beställaren.

5.4.2.2 Arbetsmiljö och säkerhet

Utrustningen skall vara försedd med hytt och uppfylla tillämpliga lagar och förordningar inom gruv- och anläggningsbranschen vid såväl transport som utförande av avsett arbete, exempelvis utformning av hytt, allmän komfort (exempelvis AC), arbetsmiljö inklusive ergonomi (exempelvis åk- och sittkomfort, full ståhöjd), utformning av bromssystem, bromsförmåga vid transport och parkering, avgasbestämmelser, varningsljus, buller, vibrationer, brandsläckning, luftmiljö, sikt och rengöring av rutor, säkerhet (exempelvis pansarglas, dolskydd, brandsläckning) m.m.

Tillkommande detaljkrav specificeras av beställaren.

5.4.2.3 Utbildning

Förslag på utbildning för operatörer respektive underhållspersonal skall redovisas.

Tillkommande detaljkrav specificeras av beställaren.

5.4.2.4 Reservdelar och service

Ett förslag på reservdelar som bör finnas lokalt för att säkerställa planerad tillgänglighet på utrustningen samt vilka reservdelar som vid behov kan tillhandahållas inom tidrymd som anges av beställaren skall lämnas av leverantören (normalvärde: 48 timmar). Gäller ej skador orsakade av ras eller annan yttre påverkan.

I de fall beställaren så begär skall leverantören redovisa ett förslag med avseende på serviceåtagande.

Tillkommande detaljkrav specificeras av beställaren.

5.4.3 Arbetsförberedelse

Utrustningen skall vara försedd med förvaringsutrymmen och transportkapacitet för all utrustning och material som erfordras för utförande av arbetet.

Tillkommande detaljkrav specificeras av beställaren.

5.4.4 Arbetsbeställning

PC anpassad utrustning för att kunna ta emot och registrera förstärkningsplaner.

Tillkommande detaljkrav specificeras av beställaren.

5.4.5 Transport

Bärarenheten skall vara midjestyrd och skall vara utformad så att den regelmässigt kan framföras i tunnlar enligt de minimimått och innerkurvradie som beställaren kräver för den aktuella arbetsplatsen. Aggregatets höjd skall understiga av beställaren angivet mått (normalvärde: 3,5 m).

Bärarenheten skall fullt lastad och utrustad kunna framföras med en minsta hastighet i lutning 1:7 som specificeras av beställaren (normalvärde: 5 km/timme). Antagande avseende underlagets beskaffenhet skall redovisas inklusive motiv för antagande skall redovisas av tillverkaren.

Bärarenheten skall fullt lastad och utrustad kunna köras i lutningar av 1:4. Antagande avseende underlagets beskaffenhet skall redovisas inklusive motiv för antagande av tillverkaren.

Tillkommande detaljkrav specificeras av beställaren.

5.4.6 Fram- respektive utkörning

Anslutning respektive demontering av aggregatet till arbetsplatsens fasta nät för elektricitet och vatten skall vara utformad med godkända kopplingar för snabbt och säkert utförande.

Tillkommande detaljkrav specificeras av beställaren.

5.4.7 Förberedelse- respektive avslutningsarbeten

Uppställning på, respektive nedkörning från, stödben skall kunna ske snabbt och säkert.

All styr- och reglerutrustning som erfordras för utförande av aktuellt arbete skall snabbt och enkelt kunna försättas i operativt läge.

Tillkommande detaljkrav specificeras av beställaren.

5.4.8 Utförande av mekaniserad bultning

5.4.8.1 Allmänt

Utrustningen skall klara att utföra mekaniserad bultning vid alla på arbetsplatsen förekommande situationer och bergförhållanden. Finns begränsningar skall detta anges av tillverkaren.

Utrustningens effektiva arbetsområde för avsedda uppgifter skall redovisas med utgångspunkt från vad som specificeras av beställaren (normalvärde: BxH = 7x6 m). Därutöver skall utrustningen klara att utföra avsedda arbetsuppgifter i tunnlar som har en areor ned av beställaren angiven storlek (normalvärde: till 20 m²) samt utföra enstaka insatser på höga höjder som specificeras av beställaren (normalvärde: ca 10 m).

De åtgärder som krävs för att utrustningen skall kunna anpassas till olika bulttyper och ingjutningsmaterial, exempel betong, plast, skall redovisas.

Tillkommande detaljkrav specificeras av beställaren.

5.4.8.2 Borrenhet

Borrhål för bultar skall utföras i en viss föreskriven placering och riktning över vilken operatören skall ha kontroll med hjälp av aggregatets PC-utrustning. Begränsningar med avseende på utrustningens lutning vid uppställning och rikthjälpmedlens rekommenderade arbetsområde skall redovisas (MEK31).

Borrenhetens borbom skall vara försedd med och redovisa systemlösning och utformning avseende (antal och konstruktion kan variera):

- hydraulborrbom med matningsförskjutning, bomförlängning och parallellhållning

- vriddon matare min. 180°
- centralsmörjningssystem av bakre delen av bommen.

Borrenhetens borrsystem skall vara försedd med och redovisa systemlösning och prestanda avseende:

- styrning av bomrörelser samt vinkelangivelse för hålriskt inklusive angiven noggrannhet
- PC-baserat borrsystem
- tryckinställningar, diagnos och felsökning via kontrollpanel och skärm
- lagring av borrparametrar och överföring av data.

Tillkommande detaljkrav specificeras av beställaren.

5.4.8.3 Betongingjutning

Särskilda hjälpmedel för att verifiera att rätt volym betong eller plast installerats i hålet skall föreslås och redovisas separat (MEK33).

Tillkommande detaljkrav specificeras av beställaren.

5.4.8.4 Bultenhet

Bultenheten skall vara försedd med bultmagasin med angivet (redovisas) antal bultar med max. bultdiameter som specificeras av beställaren (normalvärde: 32 mm) samt omfattande bultlängder som specificeras av beställaren (normalvärde: 2,0 - 3,0 m) och automatiserad patronhantering vid plastingjutning av bultar.

Tillkommande detaljkrav specificeras av beställaren.

5.4.8.5 Kapacitet

Utrustningens effektiva kapacitet skall redovisas med utgångspunkt från följande rekommendationer (MEK100, MEK101, MEK102, MEK103, MEK104):

- min. antal bultar per timme som specificeras av beställaren (normalvärde: 20 bultar/tim)
- min. antal bultar per skift som specificeras av beställaren (normalvärde: 100 bultar/skift).

Vilka aktiviteter som ingår i begreppet ”effektiva kapacitet” skall redovisas separat i detalj med utgångspunkt från erforderliga tider för utförande av följande aktiviteter:

- inriktning och borring av hål
- hålfyllnad med ingjutningsmaterial
- installation av bult inklusive efterjustering
- påfyllning av bult och ingjutningsmaterial i avsedda behållare
- flyttning av bom till nytt hålläge.

Tillkommande detaljkrav specificeras av beställaren.

5.4.8.6 Härdning

Instruktion skall finnas framtagen som visar hur förstärkningen skall utföras för att uppnå tillräcklig härdning och kvalitet på bergförankringen.

Tillkommande detaljkrav specificeras av beställaren.

5.4.9 Återrapportering (leverans och avlämning)

Utrustningen skall vara (i) försedd med (ii) förberedd för system för insamling och överföring av information som dokumenterar arbetsutförandet och som är kompatibelt med sådant system som beskrivs i särskild specifikation.

Tillkommande detaljkrav specificeras av beställaren.

5.5 Kortsiktigt tillgängliga förbättringsmöjligheter

Inga från [1] prioriterade problem bedöms kunna påverkas på kort sikt. Däremot bedöms det realistiskt att ta fram erforderliga *kunskaper* för att erhålla en faktisk påverkan med avseende på följande problem:

- MEK31 Bulthål borrar med fel inriktning
- MEK10 Bedömning avseende erforderligt förstärkningsbehov fel. eller av otillr. kvalitet
- MEK33 Bulthålet fylls ej med tillräcklig mängd cement
- MEK100 Det tar onödigt lång tid att borra bulthålen
- MEK101 Det tar onödigt lång tid att fylla de borrarade hålen med betong
- MEK102 Det tar onödigt lång tid att installera bult, inkl. efterdragning
- MEK103 Stålltid mellan borring och betongfyllning är för lång

- MEK104 Stålltid mellan betongfyllning och bultinstallation är för lång
- MEK105 Fel på riggen (mekaniska, elektriska, hydrauliska)

Av övriga problem bedöms flertalet kunna påverkas genom förbättrade rutiner för utförande.

5.6 Förbättringsmöjligheter på längre sikt

Genom att omsätta de kortsiktigt framtagna kunskaperna enligt ovan i konstruktions- och tillverkningsarbete bedöms samtliga ovanstående problem kunna påverkas.

Utöver detta bedöms även ytterligare förbättringar kunna realiserars genom att arbeta med driftsäkerhetsrelaterade frågor, i första hand genom s.k. LCC-upphandling. Denna slutsats baseras på erfarenheter från främst processindustrin och där mångårig erfarenhet av s.k. underhållsbaserad konstruktion redan finns, d.v.s. hög driftsäkerhet och goda underhållsegenskaper börjar på konstruktörens ritbord [2, 3]. I första hand avses följande problem:

- MEK105 Fel på riggen (mekaniska, elektriska, hydrauliska)

5.7 Bilagor och övriga rapporter

Inga bilagor eller övriga rapporter med avseende på utrustning för mekaniserad bultning har tagits fram.

6 Utrustning för betongsprutning

6.1 Syfte

Utgångspunkten för identifiering och/eller funktionsspecificering av BAT baseras, enligt avsnitt 1.6, av hur väl syftet med aktuell aktivitet kan uppnås på ett effektivt, säkert och miljövänligt sätt. Detta syfte har för mekaniserad bultning definierats till [1]:

Syftet med driftförstärkning är att säkerställa att tunneldelen uppfyller erforderliga krav på säkerhet genom utförande av förstärkningsarbeten i enlighet med i förväg beslutat utförande samt överlämna arbetsresultatet vid en i förväg överenskommen tidpunkt.

6.2 Prioriterade problem

Utöver en utrustnings förmåga att på ett ändamålsenligt och effektivt sätt kunna bidra till att syftet med olika enhetsoperationer kan uppnås är det också av vikt att den är utformad och utrustad på ett sådant sätt så att hanteringen av så många som möjligt av de problem som prioriterades i [1] underlättas för användaren, se avsnitt 1.6. Vilka dessa problem är redovisas i nedanstående tabeller, uppdelade på kvalitets- och tidspåverkande problem respektive tidspåverkande problem.

Tabell 6-1: Prioriterade kvalitets- och tidspåverkande problem från [1] redovisade i rangordning.

Kod	Prioriterade kvalitets- och tidspåverkande problem vid utförande av betongsprutning
BET30	Rengöring av bergyta av otillräcklig kvalitet
BET33	Felaktig tjocklek på påförd sprutbetong
BET10	Bedömning avseende erforderligt förstärkningsbehov felaktig eller av otillräcklig kvalitet
BET34	Otillräcklig vidhäftning för påförd betong p.g.a. geologi eller vatten över hela eller på delar av det område som sprutas

Tabell 6-2: Tidspåverkande problem från [1] som bedömts möjliga att påverka med relativt kortsiktiga åtgärder.

Kod	Tidspåverkande problem vid utförande av betongsprutning
BET100	Operatören misstänker att den använda betongen har något fel och behöver överväga hur detta skall hanteras
BET101	Fel på använd utrustning (mekaniska, elektriska, hydrauliska)
BET103	Ras på utrustningen
BET104	Tagit med för lite betong
BET105	För mycket betong läggs på
BET106	Operatören konstaterar ett eget utförandefel och behöver veta hur han skall hantera detta
BET107	Tidsförlust till följd av att verksamheten tvingas vänta på att betongen skall härda

6.3 Översiktlig statusbedömning

Precis som all annan teknisk utrustning för tunneldrivning har även utvecklingen inom sprutbetongområdet gått framåt, även om den bästa teknologi som kan köpas idag är relativt lik den som vara aktuell för 5 - 10 år sedan. Främst avses då att förutsättningarna för ett ändamålsenligt utförande inte nämnvärt förändrats, något som även noterades inom det arbete som utfördes under Etapp 1.

På goda grunder kan antas att betongsprutning även framgent kommer att vara en vanligt förekommande metod för driftförstärkning, varför det finns skäl att eftersträva förbättrade möjligheter för ett effektivt och ändamålsenligt utförande. Två förbättringsmöjligheter med avseende på betongsprutning har identifierats och preliminärt värderats. Dessa är:

- kombinationsutrustning vattenskrotning – betongsprutning
- utrustning för simultan betongtjockleksmätning.

Med avseende på en kombinationsutrustning för vattenskrotning och betongsprutning bedöms ha potential att minska behovet av mekaniserad skrotning i vissa verksamheter på relativt kort

sikt utan att säkerheten påverkas, alternativt kan t.o.m. förbättras något. En tillkommande effekt som erhålls genom användning av en sådan utrustning, och vars värde inte ska underskattas, utgörs av reduktion av antalet erforderliga uppställningar vid utförande av tunneldrivning. Det finns idag inga färdiga tekniska lösningar som är validerade för svenska krav och förhållanden. Däremot finns erfarenheter från Befintlig Projektägare från arbete med utveckling av en kombinationsutrustning för vattenskrotning och plastlining som kan nyttjas i arbetet.

Med avseende på utrustning för simultan betongtjockleksmätning (MEYCO:s Robojet Logica), d.v.s. att möjliggöra att kunna verifiera utförandet innan utrustningen transporteras till en ny arbetsplats har bedömts utgöra ett viktigt problem att minimera, dels med avseende på tidsfaktorn och dels med avseende på att den utförda konstruktionen skall erhålla de önskade egenskaperna.

6.4 Funktionskrav för utrustning för betongsprutning

6.4.1 Allmänt

Nedan redovisas den, i huvudsak funktionsbaserade, specifikation avseende utrustning för utförande av betongsprutning vid tunneldrivning som tagits fram inom föreliggande arbete. Den är uppbyggd utifrån de s.k. delmoment som utgjorde grunden för problemidentifieringen i [1] för att tydliggöra värdet av att utrustningen underlättar användarens hantering av problem i de olika utförandeskedena (delmoment). Vissa av benämningarna på delmomenten har i vissa fall ändrats i något avseende jämfört med tidigare för att göra redovisningen mer överskådlig samt för att bidra till att ett gemensamt, problembaserat, synsätt byggs upp bland beställare och leverantörer avseende utrustningsutformning. Därigenom kan inriktningen i det långsiktiga utvecklingsarbetet fokuseras utifrån ett likartat synsätt.

Det har varit en strävan att formulera kraven på ett sådant sätt att de bejakar de utrustningsfunktioner som stödjer en förbättrad problemlösning, men utan att utesluta utrustningar som inte stödjer hanteringen av samma problem i samma omfattning. De flesta krav uppfylls således i viss omfattning redan idag, medan det kan dröja flera år innan alla krav uppfylls på ett riktigt bra och ändamålsenligt sätt. Anledningen till detta ”mjukare” sätt att formulera

kraven är att det skall vara möjligt att använda denna specifikation även framgent för att kunna avgöra vad som i varje givet ögonblick är "BAT", Best Available Technology, samt för att den inte skall bli omodern så snabbt p.g.a. den pågående tekniska utvecklingen.

De prioriterade problem från [1] vilka i första hand bedömts påverkas genom uppfyllandet av olika krav anges inom parentes i anslutning till de olika kraven.

6.4.2 Övergripande krav

6.4.2.1 Allmänt

Olika typer av krav på olika marknader har gjort att en typisk sprutbetongutrustning ser olika ut i central Europa jämfört med i norra Europa.

I Centraleuropa är utrustningar främst anpassade för att utföra arbeten inom väg- och järnvägsprojekt. I norra Europa är utrustningarna även anpassade för att kunna utföra arbeten inom gruvbranschen. Gruvornas kravställning har därför starkt påverkat utvecklingen av sprutbetongutrustningar på den nordeuropeiska marknaden.

För en typisk väg- eller tunnelentreprenad har utrustningens transporthastighet inte så stor betydelse då avståndet mellan tunnelstufven och där utrustningen kan parkeras oftast är relativt kort jämfört med de avstånd man normalt har i en gruva. Arbetsmiljökraven är ytterligare en orsak till att sprutbetongutrustningarna skiljer sig mellan olika delar av Europa. I norra Europa med bakgrund från gruvornas arbetsmiljökrav krävs att arbetet skall kunna utföras från en skyddande hytt. En normal sprutbetongutrustning från Centraleuropa har ingen hytt.

Användning av sprutbetong skiljer sig också mellan central- och Nordeuropa. I Centraleuropa används sprutbetong oftast som en temporär förstärkningsmetod, medan man i Nordeuropa använder sprutbetong som en permanent förstärkningsmetod, vilket dels beror av bergkvalitén och dels av tradition.

6.4.2.2 Driftsäkerhet och underhåll

Utrustningen skall ha en utformning som minimerar sannolikheten för att mekaniska, elektriska och hydrauliska fel uppstår. Följande skall redovisas av tillverkaren (BET101):

- beskrivning av utrustningens bakomliggande designfilosofi m.h.t. driftsäkerhet
- driftsäkerhetsstatistik, samt redovisning av det sammanhang den har hämtats från, i den utsträckning sådan finns
- förteckning och översiktlig beskring av de system som av leverantören bedöms vara kritiska för utrustningens driftsäkerhet.

Utrustningen skall ha en utformning som minimerar tidsåtgången för åtgärdande av elektriska, mekaniska och hydrauliska fel i händelse av att sådana uppstår. Följande skall redovisas (BET101):

- beskrivning av utrustningens bakomliggande designfilosofi med hänsyn till underhållsmässighet, inklusive eventuellt system för datoriserad felsökning.

Tillkommande detaljkrav specificeras av beställaren.

6.4.2.3 Arbetsmiljö och säkerhet

Utrustningen skall vara försedd med hytt (förarhytt) och uppfylla tillämpliga lagar och förordningar inom gruv – och anläggningsbranschen vid utförande av avsett arbete, exempelvis: arbetsmiljö, luftmiljö, sikt och rengöring av rutor, ergonomi (exempelvis full ståhöjd), utformning av hytt, varningsljus, buller, vibrationer, komfort (exempelvis AC), pansarglas, dolskydd, brandsläckning m.m. Utrustningen skall kunna styras och övervakas från hytt (förarhytt).

Tillkommande detaljkrav specificeras av beställaren.

6.4.2.4 Utbildning

Förslag på utbildning för operatörer respektive underhållspersonal skall redovisas.

Tillkommande detaljkrav specificeras av beställaren.

6.4.2.5 Reservdelar och service

Ett förslag på reservdelar som bör finnas lokalt för att säkerställa planerad tillgänglighet på utrustningen samt vilka reservdelar som vid behov kan tillhandahållas inom tidrymd som anges av beställaren skall lämnas av leverantören (normalvärde: 48 timmar). Gäller ej skador orsakade av ras eller annan yttre påverkan.

I de fall beställaren så begär skall leverantören redovisa ett förslag med avseende på serviceåtagande.

Tillkommande detaljkrav specificeras av beställaren.

6.4.3 Arbetsförberedelse

Utrustningen skall vara försedd med förvaringsutrymmen och transportkapacitet för all utrustning och material som erfordras för utförande av arbetet.

Tillkommande detaljkrav specificeras av beställaren.

6.4.4 Arbetsbeställning

PC anpassad utrustning för att kunna ta emot och registrera beställd sprutbetongtjocklek för respektive sektion samt kunna exportera tunnelprofilen för respektive längdsektion både före och efter sprutning.

Tillkommande detaljkrav specificeras av beställaren.

6.4.5 Transport

Bärarenheten skall vara utformad så att den regelmässigt kan framföras i tunnlar enligt de minimimått och innerkurvradie som beställaren kräver för den aktuella arbetsplatsen.

Utrustningens höjd skall understiga av beställaren specificerat mått (normalvärde: 3,5 m).

Bärarenheten skall fullt lastad och utrustad kunna framföras med en minsta hastighet i lutning 1:7 som specificeras av beställaren (normalvärde: 5 km/timme). Antagande avseende underlagets beskaffenhet skall redovisas inklusive motiv för antagande skall redovisas av tillverkaren.

Bärarenheten skall fullt lastad och utrustad kunna köras i lutningar av 1:4. Antagande avseende underlagets beskaffenhet skall redovisas inklusive motiv för antagande av tillverkaren.

Tillkommande detaljkrav specificeras av beställaren.

6.4.6 Fram- respektive utkörning

Anslutning respektive demontering av utrustning till arbetsplatsens fasta nät för elektricitet och vatten skall vara utformad med godkända kopplingar för snabbt och säkert utförande.

Tillkommande detaljkrav specificeras av beställaren.

6.4.7 Förberedelse- respektive avslutningsarbeten

Uppställning på, respektive nedkörning från, stödben skall kunna ske snabbt och säkert.

All styr- och reglerutrustning som erfordras för utförande av aktuellt arbete skall snabbt och enkelt kunna försättas i operativt läge.

Tillkommande detaljkrav specificeras av beställaren.

6.4.8 Utförande av betongsprutning

6.4.8.1 Allmänt

Utrustningen skall klara att utföra bergförstärkning i alla situationer och bergförhållanden. Begränsningar avseende detta skall redovisas.

Utrustningens effektiva arbetsområde för avsedda uppgifter skall redovisas med utgångspunkt från vad som specificeras av beställaren (normalvärde: BxH = 7x6 m). Därutöver skall utrustningen klara att utföra avsedda arbetsuppgifter i tunnlar som har en areor ned storlekar som specificeras av beställaren (normalvärde: 20 m²) samt utföra enstaka sprutinsatser på så höga höjder som specificeras av beställaren (normalvärde: 10 m).

Tillkommande detaljkrav specificeras av beställaren.

6.4.8.2 Rengöring av bergyta

Utrustning för rengöring av bergyta som tillhandahålles skall redovisas. Något av följande två alternativ kan väljas (BET30, SKR51, SKR100):

- utrustning som erbjuder tryckhöjning med en minsta kapacitet av 12 bar och 1000 l/tim.
- utrustning för vattenskrotning med hjälpmedel som erbjuder 250 bar och 200 l/min.

Tillkommande detaljkrav specificeras av beställaren.

6.4.8.3 Betongsprutning

Utrustning för densitetsmätning och registrering skall finnas för att verifiera att inte en felaktig betongblandning används (BET31, BET100)

Tillkommande detaljkrav specificeras av beställaren.

6.4.8.4 Verifiering av påförd betongtjocklek

Särskilda hjälpmedel för att verifiera att rätt tjocklek sprutas på rätt plats skall redovisas (BET33, BET 104).

Utrustningens effektiva kapacitet skall redovisas för den tunnel som specificeras av beställaren (normalvärde: BxH = 6x5 m) samt med utgångspunkt från följande rekommendation:

- maximal pumpkapacitet
- uppställning och iordningställande för sprutning och scanning
- scanning av ytan med lämplig upplösning
- maximal sprutningshastighet (m^3/tim) vid sprutning av tjocklek 30 respektive 60 mm oarmerad sprutbetong i helautomatiskt läge.
- maximal sprutningshastighet (m^3/tim) vid sprutning av tjocklek 30 respektive 60 mm oarmerad sprutbetong i manuellt läge.

Tillkommande detaljkrav specificeras av beställaren.

6.4.9 Återrapportering (leverans och avlämning)

Utrustningen skall vara (i) försedd med (ii) förberedd för system för insamling och överföring av information som dokumenterar arbetsutförandet och som är kompatibelt med sådant system som beskrivs i särskild specifikation.

Tillkommande detaljkrav specificeras av beställaren.

6.5 Kortsiktigt tillgängliga förbättringsmöjligheter

Inga från [1] prioriterade problem kan i dagsläget med säkerhet påstås kunna påverkas effektivt genom förbättrade utrustningar. Däremot bedöms det realistiskt att ta fram erforderliga *kunskaper* för att erhålla en faktisk påverkan med avseende på följande problem:

- BET30 Rengöring av bergyta av otillräcklig kvalitet

Ovanstående kan realiseras m.h.a. en kombinerad utrustning för vattenskrotning och betongsprutning.

Därutöver bedöms hanteringen av följande problem kunna påverkas om det efter praktiska prov visat sig möjligt att använda MEYCO:s Robojet Logica i svenska tunnlår:

- BET33 Felaktig tjocklek på påförd sprutbetong
- BET100 Operatören misstänker att den använda betongen har något fel och behöver överväga hur detta skall hanteras
- BET101 Fel på använd utrustning (mekaniska, elektriska, hydrauliska)
- BET105 För mycket betong läggs på

Av övriga problem bedöms flertalet kunna påverkas genom förbättrade rutiner för utförande.

6.6 Förbättringsmöjligheter på längre sikt

Genom att omsätta de kortsiktigt framtagna kunskaperna enligt ovan i konstruktions- och tillverkningsarbete bedöms samtliga ovanstående problem kunna påverkas.

Utöver detta bedöms även ytterligare förbättringar kunna realiseras genom att arbeta med driftsäkerhetsrelaterade frågor, i första hand genom s.k. LCC-upphandling. Denna slutsats baseras på erfarenheter från främst processindustrin och där mångårig erfarenhet av s.k. underhållsbaserad konstruktion redan finns, d.v.s. hög driftsäkerhet och goda underhållsegenskaper börjar på konstruktörens ritbord [2, 3]. I första hand avses följande problem:

- BET101 Fel på använd utrustning (mekaniska, elektriska, hydrauliska).

6.7 Bilagor och övriga rapporter

Med avseende på utrustning för simultan mätning av påford betongtjocklek finns även följande material:

- en översiktlig beskrivning av MEYCO:s Robojet Logica (Bilaga 3).

Se även Bilaga 2 avseende ”Studiebesök vattenskrotning, Sudbury, Canada”.

7 Referenser

1. "Snabbare och bättre tunneldrivning - Etapp 1: Problemidentifiering och preliminära förslag till förbättringar", Malmtorp, Olsson, Ekefjärd, Fjellborg 2004
2. "Produktivt underhåll", Idhammar Underhåll 1995
3. "LCC-En teknik att påverka totalkostnaden under en produkts livslängd", Sveriges Mekanförbund 1984
4. "Waterscaling: Summary of Falconbridge's Knowledge and Experience, 2002 – 2005", Graham Swan, Falconbridge 2005

Bilaga 1: Elektroniska sprängkapslar

Allmänt om sprängkapslar

Upptändningsmetoder för sprängämnen kan delas upp i tre huvudgrupper, icke elektriska, elektriska och elektroniska. Bland de icke elektriska finns krutstubin med sprängkapsel, pentylstubin och system som överför en signal, en stötvåg, i en plastslang. Signalöverföring via plastslang har kommit av att bli det vanligaste upptändningssystemet. Plastslangen är belagd på insidan av ett reaktivt material vilket överför stötvågen med en hastighet av ca 2000 m/s. I Sverige känner vi dessa produkter som Nonel eller Dynashock. Dessa upptändningssystem har nästan helt ersatt den elektriska upptändningen. Detta beror främst på att den elektriska upptändningen är känslig för inverkan av kraftiga strömfält och för blixtnedslag.

Det elektriska systemet och signalöverföring via en plastslang har ungefär samma uppbyggnad av sprängkapseln. Kapseln består av ett skyddande hölje av t.ex. aluminium. Tändledningen överför en signal som initierar kapselns fördröjningssats. Då fördröjningssatsen brunnit upp tänder den en liten 1 g sprängladdning som är inbyggd längst fram i sprängkapseln. Fördröjningstiden regleras av en pyroteknisk sats och finns i förutbestämda tider på mellan 0 till 6000 ms (Nonel).

Systemen med signalöverföring i plastslang förekommer i några huvudtyper av tidsintervaller beroende på hur de skall användas. Fasta fördröjningstider finns för 25 ms, 100 ms och 500 ms. För tunnelsprängning används kapslar med 100 ms fördröjning mellan intervallerna. Efter laddning av en tunnelsalva buntas plastslangarna från ett antal hål ihop till knippen. Dessa knippen förbinds därefter med pentylstubin eller kopplas samman med buntupptändare. Buntupptändarna kopplas sedan samman till en kopplingsenhet. Från kopplingsenheten, eller från pentylstubinen via en sprängkapsel, dras slutligen en förbindelseledning till skjutapparaten.

Det är egentligen konstigt att bergindustrin, som numera innehåller så mycket high tech, fortfarande använder pyroteknik för att reglera energiflöden.

Elektroniska sprängkapslar

Utvecklingen av elektroniska sprängkapslar startade på allvar 1983 efter ett föredrag på ett ISSE-möte. Den dåliga precisionen hos vanliga kapslar med pyroteknisk fördröjning var huvudorsaken till att man började intressera sig för elektronisk initiering. I slutet av 80-talet fanns elektroniska kapslar på test hos ett antal tillverkare bl.a. hos ICI och Nitro Nobel. I Syd-Afrika kom kapslarna tidigt att få en stor betydelse. Gruvorna här förbrukar årligen ca 200 miljoner sprängkapslar. Det var vanligt och dyrbart med bomsalvor och därför bestämde man att utveckla egna elektroniska sprängkapslar. Det tog emellertid betydligt längre tid att få igång tillverkningen än man trott bl.a. beroende på att elektronikspecialisterna hade svårt att föreställa sig under vilka tuffa förhållanden som kapslarna skulle användas. Detta är också en av de orsaker som gjort att dagens elektroniska sprängkapslar är dyra.

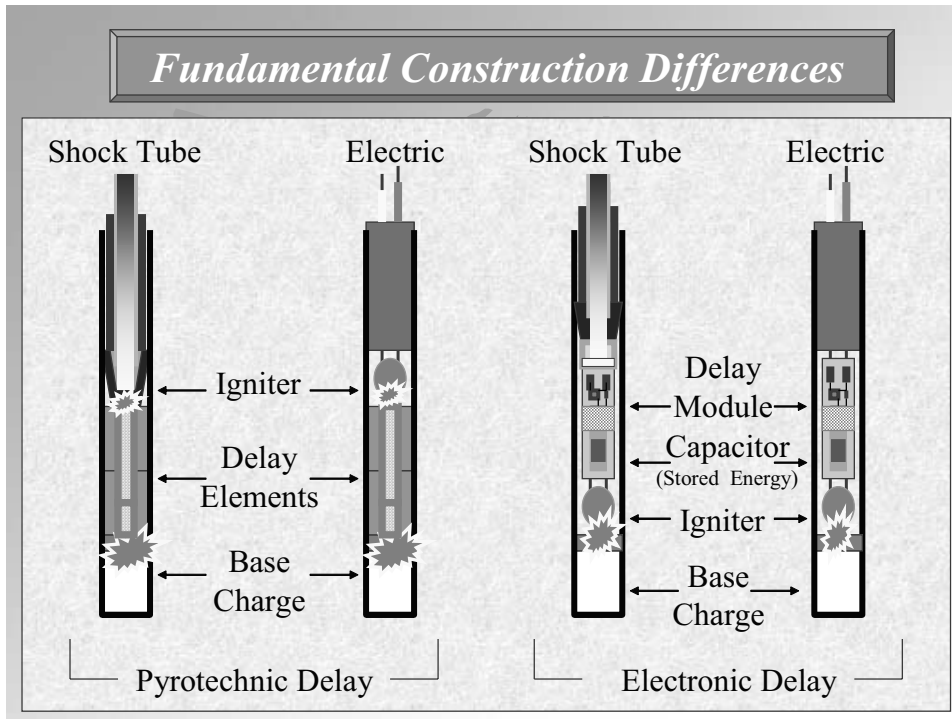
Den elektroniska sprängkapseln består i princip av en kondensator, en fördröjningsenhet, en tändenhet och en liten sprängladdning. Vidare består systemen oftast av en specifik tändapparat som endast fungerar tillsammans med tillverkarens kapslar. Systemen har då också en unik kod för att möjliggöra detonation. Det finns ett flertal tillverkare av elektroniska sprängkapslar i världen. Principiellt förekommer två olika typer av tändare, dels förprogrammerade kapslar och dels programmerbara kapslar. I figur 1 visas den principiella uppbyggnaden av elektroniska sprängkapslar och kapslar med pyroteknisk fördröjning.

De förprogrammerade kapslarna finns i två typer beroende på hur signalen överförs. Dels finns det kapslar där signalen överförs i en elektrisk ledning dels finns kapslar där signalen överförs med hjälp av en plastslang. Gemensamt för de förprogrammerade systemen är att fördröjningstiden redan är bestämd genom att kapslarna har programmerats på fabriken

Kapslar med *elektrisk ledning* kopplas ihop på liknande sätt som vanliga kapslar. Dock används ofta en speciell kabel som är typisk för varje tillverkare samt ett kopplingsblock för att ge rätt polaritet. Kapslarna är ofta av två-ledartyp och kopplas ihop i en s.k. ”daisy chain”, dvs. i serie och där initieringsordningen bestäms utifrån hur kapslarna kopplas ihop. En speciell tändapparat erfordras för att testa och initiera kapslarna.

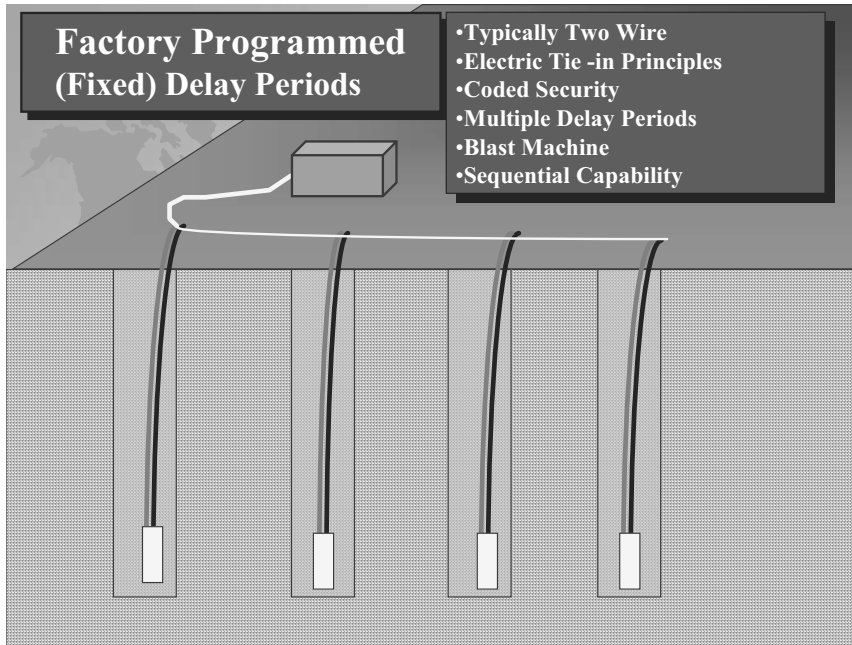
Kapslar med *överföring via plastslang* liknar vanliga kapslar med pyroteknisk fördröjning, typ Nonel, dock med skillnaden att stötvågen i slangen i den elektroniska kapseln omvandlas till en elektrisk signal i kapseln. Kapseln består en liten laddning som är kopplad till en

piezokeramisk del som i sin tur laddar upp en kondensator. Kondensatorn driver en oscillator som reglerar tiden genom en förprogrammerad nedräkning som vid rätt tid frigör resterande laddning i kondensatorn som i sin tur initierar kapsels laddning. Systemet kräver ingen testning, ingen speciell tändapparat, ingen programmerings utrustning och inga elektriska kopplingar. Det krävs inga andra kunskaper att använda systemet jämfört med vanlig Nonel.

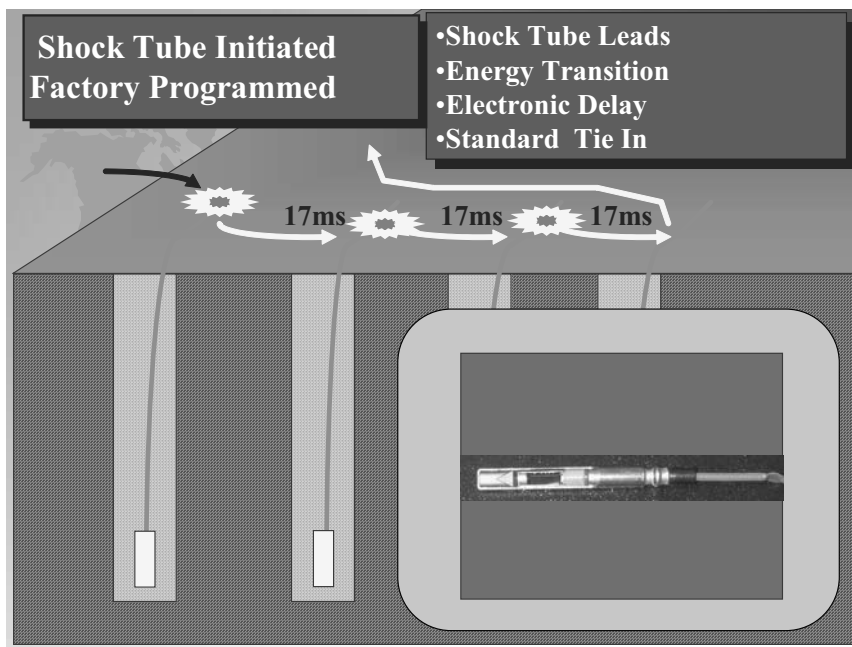


Figur 1. Pyrotekniska sprängkapslar och elektroniska sprängkapslar.

Figur 2 visar en generell bild på hoppkoppling av förprogrammerade kapslar med elektriska ledare och figur 3 visar en bild på ett system där signalen överförs med plastslang.



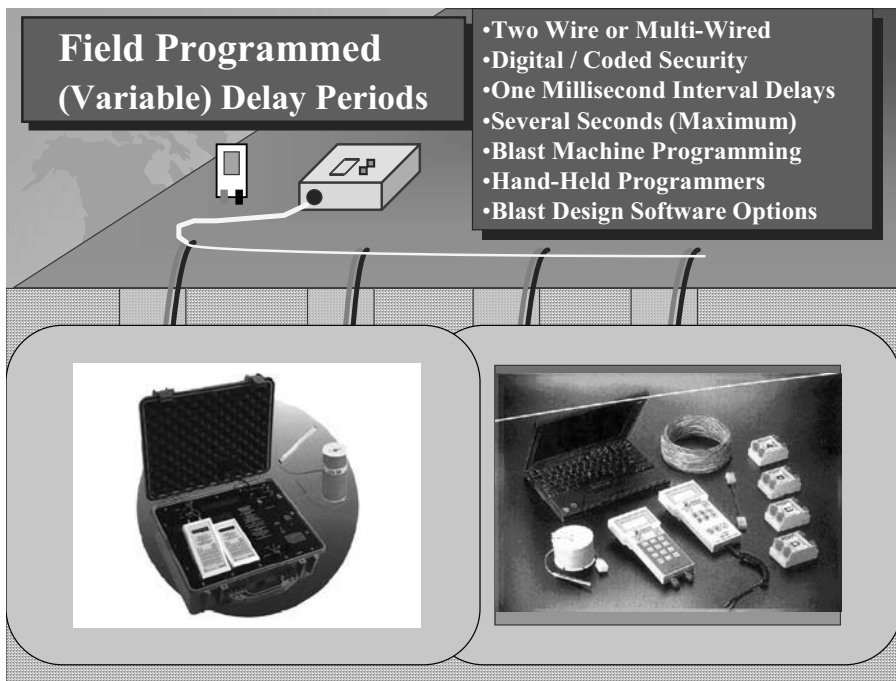
Figur 2. Hopkoppling av förprogrammerade kapslar



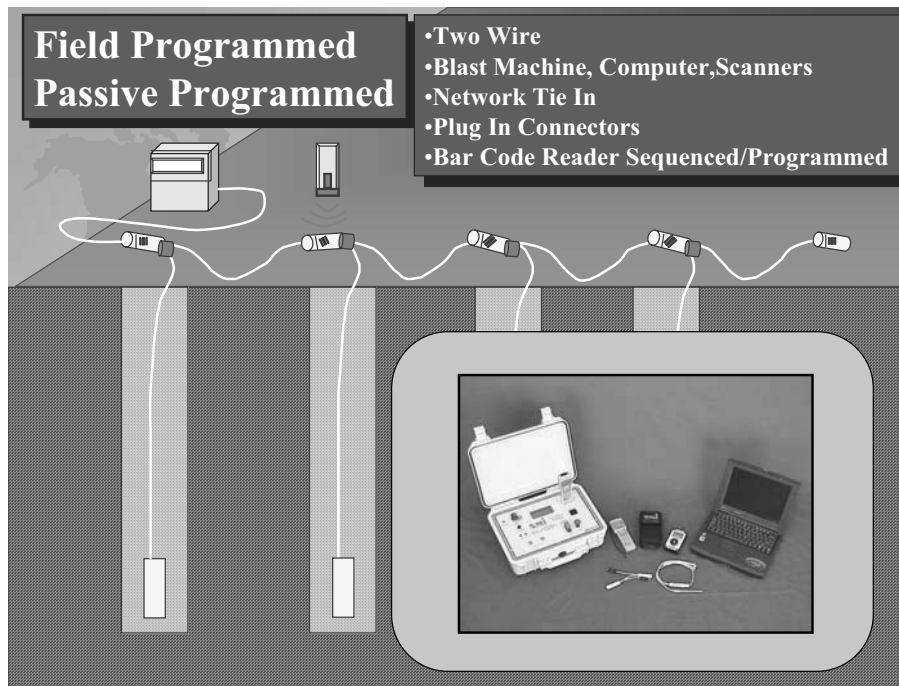
Figur 3. Elektroniska sprängkapslar med plastslang

Programmerbara kapslar

Dessa kapslar ger användarna möjlighet att själva, via t.ex. en dator, programmera fördröjningstiderna. De finns nämligen inga fasta fördröjningstider. Systemen kommunicerar med kapslarna, antingen före laddning, efter laddning eller vid sprängningen. Vissa kapslar går även att omprogrammera. Det är mycket viktigt att inte blanda olika typer av system då såväl designen som typ av kringutrustning varierar och alla system har sin unika lösning. En del system programmeras med hjälp av en dator andra system direkt via tändapparaten, se figur 4. Vissa system har testmöjligheten inbyggd i en handdator. Några tillverkare har en inbyggd Smart card-funktion dvs. ett antal vanliga intervallfördelningar finns lagrade på ett minneskort och kan tankas ned. Andra utnyttjar en scanner för att läsa av en kod på varje kapsels tändledning, se figur 5. Koden representerar ett serienummer och registreras i en scanner som antingen automatiskt eller manuellt tilldelar kapseln en fördröjningstid. All information töms därefter i laddapparaten för att denna skall kunna kommunicera med tändarna. En kodad signal sänds till kapslarna som aktiverar dessa och sedan kan man trycka av salvan. I figur 4 och 5 visas några exempel på hur de programmerbara kapslarna kan användas i fält.



Figur 4. Programmerbara kapslar



Figur 5. Programmerbara kapslar med scanneranläsning

Värdering

För- och nackdelar samt tekniska data

Elektroniska sprängkapslar har många fördelar jämfört med vanliga sprängkapslar med pyroteknisk fördröjning. Några av dessa för delar är:

- Ökad noggrannhet i fördröjningstiderna
- Mycket stort antal intervaller är möjliga
- Bättre fragmentering
- Minskade vibrationer
- Mindre skadezon
- Större salvor är möjliga
- Mindre risk för kast
- Ökad indrift
- Ökad potential för nya sprängmetoder

Nackdelarna med kapslarna är:

- Högt pris, delvis beroende på små volymer
- Komplex system- fodrar utbildad personal
- Brister i användarvänlighet
- Elektronik i tuff miljö (tryckkänslighet, fukt m.m.)

Vid tunneldrivning är fördelarna speciellt en reducerad skadezon (momentan initiering av konturhålen), möjligheten att reducera vibrationsnivåer, ökad indrift och en potential till nya sprängmetoder som är intressant.

I tabell 1 visas ett exempel på en jämförelse mellan kapslar med pyroteknisk fördröjning och kapslar med elektronisk fördröjning. Som synes erbjuder elektroniska sprängkapslar betydligt fler intervalltider och dessutom är noggrannheten mycket bättre.

Tabell 1. En jämförelse av några tekniska data för sprängkapslar

Fördröjning	Intervalltider (ms)	Tidssteg (ms)	Noggrannhet % av fördröjningstid
Pyroteknisk	0-7000	25, 100	1,5-2,5
Elektronisk	0-20000	1	0,02

Merparten av de elektroniska kapslar som nu finns har i stort sett samma dimensioner som en vanlig pyroteknisk sprängkapsel.

Elektroniska sprängkapslar ger möjlighet att identifiera och kontrollera varje kapsel och ger dessutom precision i upptändningen. Detta leder till bättre möjlighet att kontrollera salvan och därmed också möjlighet att spåra ev. problem (kan vara viktigt t.ex. vid juridiska tvister om vibrationer). AEL, som är en av tillverkarna i Syd Afrika, har introducerat några "guidelines" som underlättar införandet av sprängkapslarna. Man säger att det inte alltid är lämpligt att konvertera till elektroniska sprängkapslar beroende på:

- Olämpliga geologiska förhållanden (mycket trasigt berg, grottor m.m.)
- Omotiverad personal
- Dålig kvalitet på utrustning och utförande

- Kontraktformer; borrharen har betalt per hål och elektroniska kapslar reducerar antal hål

AEL påstår vidare att det inte finns någon anledning att först optimera vilken tid man skall ha med elektroniska kapslar och sedan försöka utnyttja denna kunskap för att designa en tändplan med vanliga kapslar. De elektroniska kapslarna ger färre skut och mindre vibrationer och dessutom en större likhet mellan salvorna. AEL rekommenderar därför användarna att börja med att använda samma intervalltider som man tidigare hade med de vanliga kapslarna. Men man måste då tänka på att vibrationerna kan öka då många hål detonerar samtidigt.

Användarvänlighet

De elektroniska sprängkapslarna upplevs ofta som svårare att hantera. Detta beror naturligtvis på att det är en ny teknik, man är inkörd och van vid kapslar som Nonel eller Dynashock, men det beror också bl.a. på att:

- antalet utförandemoment har ökat
- speciell apparatur erfordras för kontroll och initiering av salvan
- programmeringen kan vara svår (gäller de programmerbara kapslarna)
- hoppkoppling och känslighet mot fukt

Just hoppkopplingen är de elektroniska kapslarnas Akilleshäla. Detta har lett till ett dåligt rykte för många system då det tagit tid att felsöka och åtgärda salvorna. I hoppkopplingsproblemen bör kunna minskas väsentligt om man använder kapslar med plastslang.

Programmerbara kapslar medger många möjligheter men medför också merarbete i form av koll som tar tid. Förprogrammerade kapslar är enklare att kolla

Tillverkarna har satsat stora pengar men lyckas inte övertyga användarna att börja använda elektroniska sprängkapslar. Detta kan bero på att:

1. Användarna har inte riktigt förstått betydelsen av tändspridning
2. Övertygelsen att kapslarna är alldeles för dyrbara
3. Ekonomerna tittar mer på utgifter än på intäkter

4. En misstro på elektroniska kapslar beroende på att man hört att de är besvärliga att koppla och testa eller att man hört att de har givit bomsalvor
5. En misstro på elektroniska kapslars fördelar
6. Förmågan att ta till sig nyheter

Om tekniken är användarvänlig och kostnadseffektiv då borde den gå att införa! För att riktigt kunna tillgodoräkna sig fördelarna med elektroniska kapslar måste dock även andra enhetsoperationer vara av god kvalitet. Det hjälper föga med noggranna kapslar om borrningen är usel.

Kostnad

De elektroniska sprängkapslarna är för närvarande betydligt dyrare än vanliga sprängkapslar. Priset varierar för olika produkter och tillverkare men priset per kapsel kan ligga på 150- 250 kr. Detta skall jämföras med priset för en vanlig kapsel som brukar ligga på ca 20-35 kr/st.

Många hävdar att priset för elektroniska sprängkapslar skall vara samma som för vanliga kapslar medan tillverkarna vill ha betalt för en bättre produktkvalitet. Tillverkarna vill naturligtvis försöka få betalt för sina investeringar och fortsatt utvecklingen av elektroniska kapslar samtidigt som man har kostnader för service av sina nuvarande system. Tillverkarna hävdar också att användarna måste se fördelarna i systemet och därmed vara villiga att betala för dessa fördelar.

Kostnaderna per ton berg för kapslarna beror på hur de används. I stora dagbrott så representerar varje borrhål så stor lossprängd bergmängd att en extra kostnad på någon hundring perhåll inte spelar så stor roll. Vid tunneldrivning däremot är tonnaget per salva inte så stort och därför blir kostnaden per håll högre. I tunneldrivning är det därför extra viktigt att kunna visa på de fördelar man uppnår genom att använda elektroniska sprängkapslar. Om man kan visa att skadezonen minskas, att överbergsmängden reduceras och att skrotning och förstärkning kan minskas då är det lätt att motivera användningen av elektroniska sprängkapslar. Vid flera tillfällen har det också visats att skadezonen och överbergsmängden minskar då man använder elektroniska sprängkapslar/Fjellborg, Olsson/. *Dock gäller det att också våga dra konsekvensen av en bättre slutkontur och därmed reducera skrotning och förstärkning.*

En kostnadsanalys har tidigare gjorts i detta projekt av den ekonomiska besparingspotentialen för tunneldrivning inom LKAB /Marklund/. Tabell 2 visar de besparingar man kan uppnå i projektet. Detta exempel visar att man lätt kan räkna hem det ökade priset för kapslarna.

Tabell 2. Besparingspotential för LKAB

Kostnadspåverkande åtgärder	Förbättring (%)	Kostnadsbesparing (kr/ortm)
Ökad indrift med oförändrat borrhjup	4	128
Minskad gavel och salvskrotning	25	275
Minskad bergförstärkning	25	500
Minskat överberg	5	100
Ökade kostnader för elektroniska sprängkapslar		-400

Sammanfattningsvis så måste prisnivån på kapslarna anpassas till både tillverkarnas och användarnas fördel. Det tar tid innan en ny produkt slår igenom och för att pressa priset behövs stora serier

Kapslar på marknaden

Det finns många tillverkare av elektroniska sprängkapslar (/Drake/anger 6 tillverkare i jan-04). På senare tid har det emellertid skett ett antal hopslagningar av sprängtekniska företag. Under dec. 2003 tillkännagav t.ex. DetNet och Dyno Nobel ett samarbete. Dyno Nobel har sedan tidigare också ett samarbete med Ensign-Bickford. I denna studie har följande tillverkare identifierats.

Delta Caps

Deltacaps kommer från Syd Afrika och tillhör OMNIA Group. Man har ett datorprogram, Blastmap, för design och övervakning av sprängsalvor. Här ingår borrhålens position, GPS position, håldjup, m.m. samt ett presentationsprogram och ett rapporteringsunderlag. Programmet innehåller även sprängämnesdata, bergegenskaper och en speciell modul för salvdesign med elektroniska kapslar. Ett speciellt program, Explologger, handhar borrh- och laddata för design av uj-sprängning. Allt körs på PC Windows (2000, XP).

Den elektroniska kapseln Deltadet II medger att kapslarna kan programmeras och initieras via fjärrkontroll. Detta medför att man kan arbeta i säkerhet långt från salvan. Tekniken är så pass flexibel att man, vid behov, kan göra om sin programmering just innan sprängningen. Detta kan t.ex. behövas om man efter laddning konstaterat att det finns fler hål än planerat.

Produktspecifikation

Intervalltider:	0-10 s i steg om 1 ms
Noggrannhet:	± 0,5 ms
Kapslar/salva:	200 st vid mono-line Blasting machine 1000 st vid multi-line Blasting machine
Programmering:	möjlig innan alt. efter laddning
Programmeringstid:	± 2 s/kapsel
Uppladdningstid:	± 90 s oavsett antal kapslar
Anslutning:	seriell ihopkoppling
Programvara:	enkel och användarvänlig
Robusthet:	anslutningarna är skyddade mot vatten och damm
Godkänd:	Deltadet är CE-märkt

Man har också en speciell variant som medger att man själv monterar den elektroniska enheten på en vanlig elektrisk momentan tändare.

DetNet

DetNet är världens största tillverkare av elektroniska sprängkapslar. AECI, där AEL är ett dotterbolag, i Syd Afrika och Dyno Nobel har nu gått ihop och bildat två företag DetNet International och DetNet S.A.

AEL är det ledande företaget i S.A vad gäller gruvkonsult och har kontor i 14 länder och en omsättning på 300 M\$. Dyno Nobel finns i 36 länder och har en omsättning på 1200 M\$. DetNet har producerat 16 miljoner kapslar och med en kapacitet att producera 10 miljoner kapslar/år. Världsmarknaden uppskattas till 150 miljoner kapslar/år. Det nya bolaget anser att man kan kapa åt sig 30-40 % av årsbehovet vilket betyder att man måste öka sin kapacitet. Den planerade nya fabriken kommer att ligga på 20 miljoner kapslar årligen.

DetNet har tre olika typer av kapslar, förprogrammerade, auto- programmerade samt programmerbara, se figur 6. För närvarande är ingen kapsel EU-godkänd men man har för avsikt att genomföra detta med start 2005.

1.Förprogrammerade

Dessa är speciellt framtagna för att vara enkla att använda. Tiderna är förprogrammerade och kapslarna kopplas ihop med en daisy chain dvs en seriekoppling av kapslarna. Kapslarna är vanliga i Narrow reef mining i S.A.

2.Auto programmerbara- HotShot

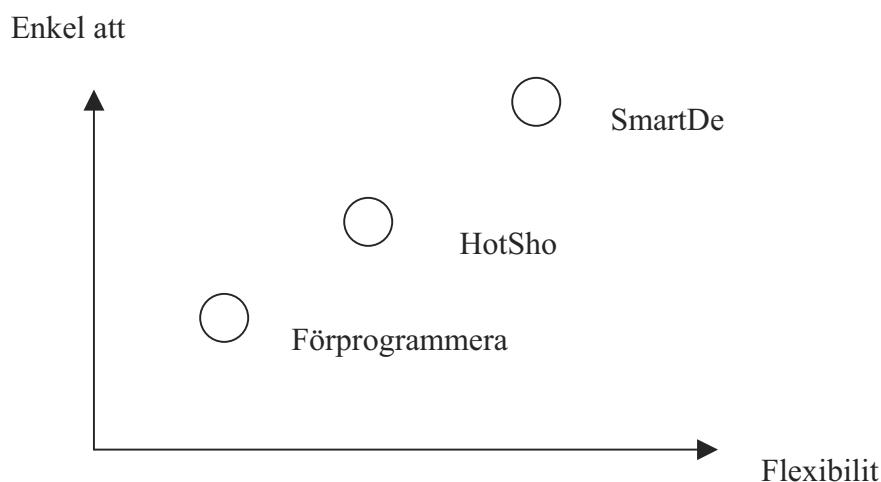
HotShot skall ge samma fördelar som de programmerbara men till en lägre kostnad och de skall vara enklare att använda. Kontrollutrustningen identifierar varje kapsel och var i kedjan den sitter dessutom identifieras hopkopplingarna. Man behöver alltså inte koppla in och undersöka varje kapsel för sig som annars är vanligt med elektroniska sprängkapslar. Kontrollen av kapslarna går därför betydligt snabbare med HotShot.

3.Programmerbara SmartDet

Här kan varje kapsel programmeras individuellt. Dessa kapslar lämpar sig bäst för mycket stora och komplexa salvor. Nackdelen är att de är krångligare att använda.

4.Digidet

Genom hopslagningen (AEL+Dyno Nobel) fick man även teknologin från Ensign-Bickford och deras kapsel *DigiDet*. Dessa kapslar har ledare av Nonel-typ men en elektronisk sprängkapsel. Systemet kräver ingen testning, ingen speciell tändapparat, ingen programmeringsutrustning och inga elektriska kopplingar. Det krävs inga andra kunskaper att använda systemet än att använda vanlig Nonel. De förprogrammerade tiderna finns mellan 3-10000 ms och man påstår att noggrannheten är ± 1 ms.



Figur 6. Enkelhet i förhållande till flexibilitet för DetNet-kapslar

Daveytronic

Kapslarna tillverkas av Davey-Bickford i Frankrike. Kapslarna säljs i Sverige av Norab, Gyttorp.

Intervalltider: 1-4000 ms i steg om 1 ms

Noggrannhet: > 1/10 ms

Kapslar/salva: 1500 st eller 3000 st med Master Slave setup

Programmering: På plats eller fjärrprogrammering

Ledare: 2 trådars ledning

Ihopkoppling: Parallellkoppling

Dynamisk tryckkänslighet: 800 bar. Det finns också en extra förstärkt version

Godkänd: Kapslarna är CE-märkta

Kapslarna finns både med manuell och med automatisk programmering. Kapslarna kan anslutas till programmeringsenheten antingen före eller efter laddning. Vid automatiska programmering sätter man in sin programmerade laddplan via ett datakort i skjutapparaten. Överföring kan också ske med IR.

i-kon

i-kon tillverkas av Orica. Systemet består huvudsakligen av tre delar, kapslarna, Logger (för intervallprogrammering) samt Blaster (skjutapparaten). Vid anslutning av kapslarna läser Loggern av kapselns ID-nummer och sparar detta tillsammans med intervallnumret. Samtidigt kollas funktionen samt ev. ledarläckage. Sedan kan laddaren tilldela intervalltiden. Efter en konfirmering kan man fortsätta med nästa kapsel.

Intervalltider: 0-15000 ms i steg om 1 ms

Noggrannhet:

Kapslar/salva: 1600 st

Programmering: Manuell (intervalltiden ställs in för varje kapsel), auto logging (man kan välja upp till 3 intervaller som sedan upprepas i en angiven serie) och programmering mot intervallnummer (tiden fås genom att intervallnumret multipliceras med en fast tid ex 17, 25, 100 ms)

Ledare: 2 trådars ledning

Dynamisk tryckkänslighet: 100 MPa

Ledarlängder: 6,15,20,30,40,60,80 m

Godkänd: i-kon är CE-märkt

Uni Tronic

Systemet tillverkas av Sasol i Syd Afrika. Sedan mars-04 har de ett samarbete med Orica. Uni Tronic säljs också av företaget RedBull, som bl.a. finns i Australien och Nya Zeeland.

Systemet består av kapslar, scanner och skjutapparaten.

Intervalltider: 0-20000 ms i steg om 1 ms

Noggrannhet: > 0,1 % (< 1ms mellan 0-1000 ms)

Kapslar/salva: 2000 st

Tryckkänslighet: 200, 400 och 700 bar beroende på typ

Överslagskänslighet: <0,5 m vid 50 mm hål, < 1 m vid 100 mm hål

EU-godkända kapslar

För att sprängkapslar skall få användas på marknaden inom EU krävs att de har ett EG-typgodkännande (CE-märkta enligt explosivvarudirektivet 93/15/EEG). SP (Statens Provningsanstalt) anger följande tre sprängkapslar som EU-godkända (mars-05):

Delta Caps, i-kon samt Daveytronic

Dessutom finns några varianter som man inte tror är avsedda för gruvdrift:

Dynawell DYN Aenergetics, Tyskland

Dynatronic, Seismotronic från Orica, Tyskland

Godkännandet gäller endast att sätta produkterna på marknaden och täcker därför explosivvarudirektivet 93/15/EEG. Direktivet berör dock endast explosiva produkter och inte de apparater som behövs för att använda systemen. Arbetsmiljöverket kan därför komma att ställa ytterligare krav på t.ex. tändapparater, logger, mätapparater m.m. för att de skall få användas i Sverige.

BAT (Best Available Technology)

Denna rapport visar att det används allt mer elektroniska sprängkapslar i världen. Den största användningen har hittills varit vid stora dagbrott eller vid produktionssprängningar under jord. Anledningen till att man där använder elektroniska sprängkapslar är främst att de givit en förbättrad fragmentering, minskade vibrationer och möjlighet att spränga större salvor.

Erfarenheter från underjordsgruvor har t.ex. visat att man med 100 ms fördröjning får positiva effekter vid inspända förhållanden då köbildning av berget som skall kastas ut kan undvikas. Likaså har man fått positiva effekter av 125 ms fördröjning, jämfört med både korta och långa fördröjningstider från vanliga kapslar med pyroteknisk fördröjning. Största vinsten har man fått vid öppningsskjutningar (snabbare och med färre hål). I tunnlar finns rapporter om full indrift, mindre skut och bättre slutkontur.

I Sverige har man vid tunneldrivning i första hand använt elektroniska sprängkapslar för att reducera skadezonen. Tekniken har framgångsrikt används t.ex. av SKB i Äspö /Olsson et al/, av Vägverket i Södra Länken /Olsson/ och vid ett flertal tillfällen av LKAB /Niklasson et al/,

/Fjellborg et al/. Det står mycket klart att genom att använda momentan initiering av konturhålen så reduceras sprickorna från sprängborrhålen i kvarstående berg. Därigenom borde skrotning och bergförstärkning kunna reduceras. I de flesta av dessa försök har man emellertid endast använt elektroniska sprängkapslar i konturen medan övriga hål initierats med vanliga kapslar. Det betyder att man blandat två olika system i samma salva och detta är inte bra.

Tillhör elektroniska sprängkapslar BAT-utrustning? Helt klart är kapslarna bäst. De är helt överlägsna vad gäller noggrannhet och ger helt nya möjligheter till kvalitet i bergsprängning. Dock är tillgängligheten mer tveksam. Detta beror på att kapslarna hittills inte varit speciellt användarvänliga, ofta fordras speciell laddningspersonal för programmering och ihopkoppling. Hopkopplingsblocken har inte heller varit bra. Slutligen har kapslarna varit för dyra för att användas i större skala i samband med tunneldrivning. För att systemet skall få framgång i tunneldrivning måste det kunna visas att den högre kostnaden går att räkna hem genom mindre mängd överberg, en minskad skrotning och minskad bergförstärkning.

Elektroniska sprängkapslar har en mycket stor potential och bedöms inom kort också vara såväl användarvänliga som prismässigt acceptabla. För tunneldrift verkar systemet med signalöverföring i plastslag till en elektronisk sprängkapsel typ Digidet mycket intressant. Laddningsarbetet är här detsamma som vid användning av vanliga kapslar typ Nonel.

Rekommendation inför Steg 3 (fältförsök)

Vi vet redan, genom tidigare fältförsök med elektroniska sprängkapslar, att slutkonturen blir bättre, att skadezonen reduceras och att mängden överberg kan minskas. Vi vet också att dessa kapslar hittills inte varit speciellt användarvänliga. Det vi skulle vilja prova i Steg 3 är därför användarvänliga kapslar av typ Digidet. Dessa kapslar är dock inte ännu EU-godkända.

Rekommendation:

1. Använd elektroniska sprängkapslar i konturhålen i ett begränsat antal salvor, 20-40 st (helst med förprogrammerade tider). Använd samma fördröjningstider som används i konturen vid vanliga kapslar. Jämför dessa salvor med salvor där konturhålen sprängts med vanliga kapslar. Kontrollera speciellt tid för skrotning, antal hålpipor, profil och skadezon.

- Om kapslar av Digidet-typ finns tillgängliga under etapp 3 använd då dessa kapslar.
Det borde vara möjligt att testa dessa kapslar i projektet utan att de är EU-godkända.

Bilaga

SP

För att sprängkapslar skall få användas på marknaden inom EU krävs att de har ett EG-typgodkännande (CE-märkta enligt explosivvarudirektivet 93/15/EEG).

SP anger följande sprängkapslar som godkända (mars -05):

Delta Caps, i-kon samt Daveytronic

Dessutom finns några varianter som man inte tror är avsedda för gruvdrift:

Dynawell DYNAenergetics, Tyskland

Dynatronic, Seismotronic från Orica, Tyskland

Godkännandet gäller endast att sätta produkterna på marknaden och täcker därför explosivvarudirektivet 93/15/EEG. Detta berör dock endast explosiva produkter och ej de apparater som behövs för att använda systemen. Arbetsmiljöverket kan därför ställa ytterligare krav på t.ex. tändapparater, logger, mätapparater m.m. för att de skall få användas i Sverige.

En rapport ”Safety and Reliability in Initiation Systems with Electronic Detonators” skrevs 1996. Från denna rapport kan nämnas följande:

Fördelar

Bättre fragmentering

Minskade vibrationer

Mindre skadezon

Större salvor

Mindre risk för kast

Ökad indrift

Ökad potential för nya sprängmetoder

Nackdelar

Högt pris, delvis beroende på små volymer

Komplext system- utbildad personal

SP hittade då 10 tillverkare varav 4 i Europa. Då fanns tre typer av kapslar:

1. Programmerbara kapslar med elektrisk förbindelse
2. Icke programmerbara ” ”
3. ” ” med icke elektrisk förbindelse (typ Nonel)

Vissa kapslar har ett ID nummer som gör att man kan kommunicera med den i salvan. Andra tillverkares kapslar saknar detta system och då kan antingen kapslarna programmeras på plats med ett ID-nummer eller så kommunicerar man med varje enskild kapsel med hjälp av en bus-ledning (daisy-chain). I detta fall beror identifikationen på i vilken ordning kapslarna kopplas in. En sammanställning vi Tabell 1 visar läget 1996.

SP har i rapporten tittat på vilka fel som kan uppträda med kapseln och hur känslig den och dess system är för påverkan ex genom vibrationer, temperatur, korrosion m.m. Mer finns att läsa om detta i rapporten. Kapslarna anses inte som mindre säkra än andra kapslar men genom att använda elektronik kan kapslarna bli känsligare för påverkan. Man varnar för att blanda ihop olika tillverkares kapslar i en salva samt att använda felaktig tändmaskin.

Resultat av data hämtade från Internet och personliga kontakter

Elektroniska kapslar används i 20 % av dagbrotten i S.A. De används även i U.J gruvor i S.A. Det som för några år sedan ansågs som framtida teknik används nu. Tekniken är speciellt användbar inom vissa nischer men inte överallt. I dagbrott betyder inte kostnaden för en kapsel i ett hål så mycket beroende på det stora tonnaget som varje hål representerar.

Många har förespått att nästa tekniska genombrott inom sprängning kommer att ske genom ED's. Nu börjar det finnas många olika tillverkare av ED's. Sprängkapslarna eliminerar tändspridningen som är ett problem vid vanliga kapslar. ISEE Explosives Product Guide listar 8 st olika tillverkare av ED's. Hela systemet man måste dock användas dvs. det går inte att blanda tändare, tändapparater från olika tillverkare. Det förekommer två olika typer av system dels förprogrammerade kapslar och dels programmerbara kapslar. De senare ger en större frihet att anpassa till t.ex. rådande geologi.

ED's utnyttjar en lagrad energi i kapseln till fördröjningen och till initieringen. Alla andra tändare använder en pyroteknisk sats istället. Skillnaden i konstruktion är vidare att i den elektroniska kapseln så sitter tändardelen under fördröjningsdelen medan i andra kapslar så börjar allt i tändardelen. Energin lagras i ED med hjälp av en kondensator. Hos ED's så finns alltid en specifik tändarapparat med. Systemen har en unik kod för att möjliggöra detonation. Det finns två olika typer av tändare dels förprogrammerade kapslar och dels programmerbara kapslar.

Förprogrammerade kapslar

1. Elektrisk ledare till kapseln
Varje tillverkare har sin egen lösning på ledartyp
2. Ledare av Nonel-typ
Överföring via Nonel-typ

I de förprogrammerade systemen är intervalltiden redan bestämd. Kapslarna kopplas ihop på liknande sätt som vanliga kapslar. Dock används ofta en speciell kabel och kopplingsblock för att ge rätt polaritet.

Programmerbara kapslar

Dessa kapslar ger användarna möjlighet att själva, via t.ex. en dator, att programmera kapslarna. Alla system har sin unika lösning. De finns inga fasta fördröjningstider. Systemen kommunicerar med kapslarna, antingen före laddning, efter laddning eller vid sprängningen. Här används någon typ av elektronik för att möjliggöra att kapslarna kan omprogrammeras. Det är mycket viktigt att inte blanda olika typer av system. Designen och typ av kringutrustning varierar. En del system programmeras antingen från ett datorprogram - med en dator eller direkt via tändapparaten. En del system programmeras via en handhållen dator andra system har enbart testmöjligheten inbyggd i en handdator. Vissa tillverkare har en inbyggd Smart card-funktion dvs. vanliga upptändningar. Andra utnyttjar en scanner för att läsa av en kod på varje kapsels tändledning. Koden representerar ett serienummer och registreras i scannern som antingen automatiskt eller manuellt tilldelar kapseln en fördröjningstid. All information töms därefter i laddapparaten för att denna skall kunna kommunicera med tändarna. En kodad signal sänds till kapslarna som aktiverar dessa och sedan kan man trycka av salvan.

ED's finns i många utförande och ger stora möjligheter till lösningar men i fel händer så kan de orsaka mycket trassel/Watson/. + bilder till rapporten.

I SmartdetTM från AEL används en parallellkoppling som medger att man kan ta bort ev felaktiga kapslar (omöjligt om de är seriekopplade). Smartdet kan programmeras från 1 ms till 20000 ms i 1ms hopp. ElectrodetTM bestod av ett annat system med korta ledarlängder (2,5 m) där varje kapsel hade 32 s fördröjning i kombination med ett 125 ms förprogrammerad fördröjning och med en 5 tråds ledare. Fördelen är att man kan se i vilken ordning kapslarna kommer att gå och att flera personer samtidigt kan koppla ihop salvan. Detta låter sig inte göras med programmerbara kapslar. SmartdetTM kopplas ihop genom att kapselledarna snäpps på en 2 ledars förbindelse ledning och att man då får en id av kapseln och tilldelar den en fördröjning. Enkelt men hopkopplingen kan misslyckas. **Just hopkopplingen är en Akilleshäls med ED's. Detta har lett till ett dåligt rykte för många system då det tar tid för felsökning och åtgärddning av salvor.** På detta sätt är ElectrodetTM att föredraga ty hopkopplingen är säkrare.

Programmerbara kapslar medger många möjligheter men medför också merarbete i form av koll som tar tid. Förprogrammerade kapslar är enklare att kolla.

Electrodet™ liknar en vanlig ”Unidet-typ” då varje hål har samma fördröjning medan skillnaden ligger i ytfördröjaren. Vid Electrodet™ ligger även ytfördröjaren i hålet. I Edet-Plus™ ligger även ytfördröjningsdelen inbyggd i kapseln så att man har 32 s kapsel-fördröjning+36 ms mellan varje hål. Fördröjningstiden adderas sedan genom hoppkoppling av flera kapslar. Anslutning sker via en 2 tråds ledare. I en UJ-version kopplar man sin kapsel till ett kopplingsblock ”T-piece” med olika alt fördröjningstider vilket ger stor flexibilitet. Varje kanal i kopplingsblocket och varje in-line delay kan programmeras upp till 1000 ms. Visa bild i rapporten!

Det är nog inte meningsfullt att leka med superoptimerad, teoretiskt framräknade fördröjningstider, ty även elektroniska kapslar kan vara oprecisa/Cunningham/.

I De Beers gruvor i S.A. används mycket ED's. Man har god erfarenhet av dessa vid tillredning av underskärning (kratrar)för blockras, förbättrad fragmentering i dagbrott (mindre grovt och mindre fint), bättre fragmentering gav en högre genomströmning i kvarnar och en lägre energiförbrukning. Även i skivpallbrytning har ED's använts med bra resultat (minskad vibrationer till följd av reducerad laddningsmängd samt fler intervalltider). I tunneldrivning fick man en högre indrift och mindre överberg jämfört med vanliga kapslar:

	Indrift	Överberg
Vanliga	2,3	5,2
ED's	2,5	0,5

Det blev betydligt lättare att sätta bult då ytan blev jämnare och dessutom förbättrades säkerheten /Grobler/.

/Bartley et al/rapporterar resultatet från en fälttest i ett dagbrott där man jämfört vanlig initiering med elektronisk initiering med Daveytronic kapslar. Man lyckades förbättra styckefallet med 43 % samt ökade genomströmningen i krossen med 17 %. Man kunde också spränga större salvor med konstant vibrationsnivå med elektroniska kapslar.

/Cunningham/påpekar i en artikel att även ED's har tändspridning. Det finns två olika system att åstadkomma tidsfördröjning. Det ena systemet använder en kvartskristall (som i

Electrodet™) och det andra systemet använder en självkalibrerande oscillator (som i Smartdet™). Man får en större precision med kvartskristaller. Vid långa tidsintervaller (serier-salvor) kan tidsdifferensen spela roll. Med vanliga tändare är det endast möjligt att få grepp om den långsammaste processen i sprängning nämligen rörelsen i berget, och knappt det.

I Syd-Afrika startade produktion av ED's 1993 genom att man introducerade 5/6 koppling i ExEx1000 systemet/Cunningham et al./. I dag (2001) används 2 ledarsystemet Smartdet™ där kapslarna ligger parallellt, till skillnad för det tidigare seriella systemet, och medger att salvan kan sprängas fastän några kapslar, av någon anledning, inte fungerar. Ett flertal artiklar runt om i världen har visat att trots att ED's är mycket dyrare än vanliga kapslar så vinner så mycket på att använda dem. Frågan är inte längre om ED's ger fördelar utan om det är värt denna kostnad att konvertera till ett 2 ledar system (från Nonel).

I Syd-Afrika används ED's med gott resultat/Cunningham/. En kolgruva "Optimum Colliery (BHP/Billton) använder nu Smartdet och har t.ex. kunnat reducerat sprängämnes kostnaden med 40 %. I en guldgruva Damang Gold Mine (AMS) har produktionen kunnat ökas med ca 20 % och genomströmningen i krossen med 10 %. Emellertid har införandet av ED's inte gått lika snabbt på andra ställen i världen. Tillverkarna har satsat stora pengar men lyckas inte övertyga användarna att börja använda ED's. Detta beror på:

1. Användarna har inte förstått vilken betydelse spridningen i intervalltid har på resultatet
2. Övertygelsen att ED's är alldeles för dyrbara
3. Ekonomerna tittar mer på utgifter än på intäkter
4. En misstro på ED's beroende på att man hört att ED's är besvärliga att koppla och testa eller att man hört att ED's har givit bomsalvor
5. En misstro på ED's fördelar
6. Övertygelse att ED's fördelar endast har en begränsad användning
7. Förmågan att ta till sig nyheter

Om tekniken är användarvänlig (enkel, säkerhetsmässig och har fördelar) samt att den är kostnadseffektiv då borde den gå att införa. Det hjälper inte mycket om borrningen är usel, tidsfördröjningen är samma som med Nonel, om gråberg bryts istället för malm. Vid vanliga kapslar, typ Nonel, testas endast en mindre mängd kapslar hos tillverkaren (de förstörs ju vid

testning). En del batcher kan ha utmärkt precision medan andra batcher är betydligt sämre. Höga intervallnummer har en större tändspridning. Även om kapseln i hålet har en liten tändspridning så kan ytfördröjaren ge en stor spridning vilket innebär att hela salvan blir dålig. Jämför t.ex. vilken stor betydelse exakthet i tändning har i en motor. På samma sätt är det med sprängning - det gäller att få en konstruktiv samverkan mellan hålen för att uppnå en bra fragmentering och en reducerad bakåtbrytning. Man har försökt kompensera för tändspridningen genom att förtäta borrarplanen och därigenom öka den specifika laddningen men fått negativa effekter som höga vibrationer, uselt styckefall och bakåtbrytning. Praktiskt taget all vetenskap om flerhållsprängning grundar sig på användningen av vanliga pyrotekniska kapslar och dess slumpmässiga initieringstider.

Många brukar hävda att men med ED's skall jobba sig fram till optimala intervalltider. Detta är oftast inte fallet utan man får så pass mycket bättre resultat bara genom att använda samma nummer på ED's som med vanliga kapslar (man slipper ju tändspridningen). Genom att använda ED's kan t.ex. släntvinkeln höjas.

Många hävdar att priset för ED's skall vara samma som för typ Nonel. Tillverkarna vill naturligtvis ha betalt för en bättre produktkvalitet vilket uppfattas som lite suspect. Från tillverkarnas sida kan hävdas att:

1. Man har gjort så mycket investeringar under åren så man måste få betalt för
2. Även om ED's kostar mer så kan man tjäna in pengar genom att glesa hålmönstret och därigenom reducera mängden sprängämne
3. Förbättringarna i fragmenteringen är tydliga
4. Utvecklingen av ED's går framåt hela tiden och kostar pengar samtidigt som man måste ha kvar service av nuvarande systemen

Prisnivån på kapslarna måste anpassas till både tillverkarnas och användarnas fördel.

Det är viktigt att se till helheten av hela flödet, dvs. trots en högre kostnad för kapslarna så finns pengar att tjäna i hela flödet genom tex. en bättre fragmentering, minskning i skut, minskad bakåtbrytning, minskad finandel m.m.

Ett exempel från en guldgruva i S.A visar att man där fått problem med den vanliga upptändningen (typ Nonel) och att man i väntan på en förbättrad slang testade ED's. När sedan den nya slangen kom hade man upptäckt fördelarna med ED's och ville nu ej byta tillbaka. Gruvan hade reducerat sina kostnader med 16 %. Tyvärr blev det sedan i gruvan en konflikt mellan borrh- och lastentreprenören. Borrentreprenören hävdade att ED's borde kosta mer (borraren fick med dessa mindre bormeter) och lastarna hävdade att resultatet med ED's blev mycket bättre.

Det tar tid innan en ny produkt slår igenom, jämför t.ex. med tiden för Nonel att slå igenom. En del av förklaringen att det tagit tid för ED's beror på:

- konstruktionen och robustheten hos ledare och anslutningar
- ren och tillräckligt stark signal för att testa och överföra info genom långa ledningar
- okänslighet mot radiosignaler och högspänningsfält
- okänslighet mot EMP
- skydd av kretsar för stötvågor från närliggande hål
- korrosion och elektrolys
- robusta kontrollsystem
- att hitta ett system som både registrerar kapslarna och kan hantera felfunktioner

För att testa hur bra och användarvänligt ett system är fodras:

- långtidsuppföljning av systemet i drift
- tillverkarens förtroende genom att tillåta användning av systemet utan närvaro av deras personal

Det är viktigt att ha en introduktionsperiod då man inför ED's. Användarna kommer inte att bli nöjda förrän kapslarna har visat vad de duger till. Systemen måste vara robusta och användarvänliga.

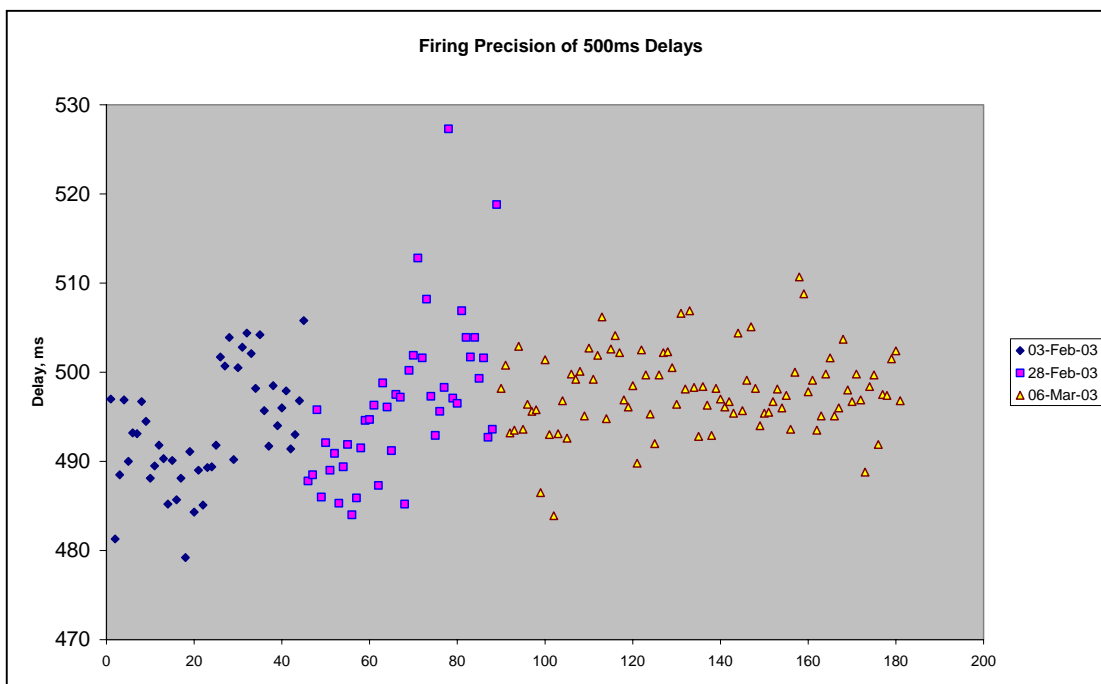
Cunningham påstår vidare att även om de programmerbara kapslarna ger en del fördelar så är ändå de förprogrammerade att föredra. En av anledningarna är att användarna kan få problem under själva laddningen. Laddningen skall gå snabbt och det gör det inte om man samtidigt med laddarbetet skall fundera på tekniska saker då man borde fokusera på säkerhet.

Gruvan Optimum Colliery har alltid anammat ny teknik och även ED's. Genom att endast ändra från Noneltyp till ED's (samma tider) fick man ett kraftigt förbättrat resultat.

Gruvbrytning i dag innebär att man försöker minska energibehovet/Cunningham/. Detta kan göras genom att öka utrustningens effektivitet genom att försöka få berget mer lättlastat och lättkrossat samtidigt som man vill reducera sprängämnesåtgången. Man vill också reducera bakåtbrytning och skador på kvarstående berg. Det finns en trend nu att öka storleken på krossar och kvarnar för att därigenom öka produktionen. Dessa åtgärder är emellertid väldigt dyrbara. Det vore bättre att satsa på en ökad fragmentering från sprängningen.

Om man skall optimera kostnaden för gruvan tittar man oftast mest på sprängämneskostnaden. Det är ofta svårt att jämföra salvor då det finns så mycket inbyggda parametrar som varierar och dessutom är svåra att följa upp. Datasystem, GPS, motorövervakning är några system som betytt att kostnaderna kan sänkas. Genom att använda ED's får man också en bättre kontroll över sin produktion.

En figur visar den stora intervallspridningen hos vanliga pyrotekniska kapslar av Nonel-typ.



En test av korta intervalltider, här 17 ms, gav också en stor spridning på mellan 13,2 ms och 46 ms. Detta ger verkligen ett dåligt sprängresultat.

Sprängning är den enda seriösa industrin som använder pyroteknik för att reglera energiflöden!!!! Med ED's har man i S.A konstaterat:

Ofta skadas ledartråden vid laddning eller vid påfyllning av förladdningen. Vid ED's kan man kontrollera detta.

Nästan alltid får man fler eller färre hål än planerat i en salva. Dessa hål orsakar ofta problem.

Med ED's kan man identifiera och kontrollera varje kapsel och dessutom ha precision i upptändningen. Detta leder till bättre möjlighet att kontrollera salvan och därmed också möjlighet att spåra ev. problem (viktigt t.ex. vid juridiska tvister om vibrationer). AEL har introducerat guidelines som underlättar införandet av ED's. Det är inte alltid lämpligt att konvertera till ED's beroende på:

- Olämpliga geologiska förhållanden (mycket trasigt berg, grottor m.m)
- Omotiverad personal
- Dålig kvalitet på utrustning och utförande
- Kontraktformer; borrarerna har betalt per hål och ED's reducerar antal hål

Det finns heller ingen anledning att först optimera vilken tid man skall ha med ED's och sedan försöka utnyttja denna kunskap för att designa en tändplan med vanliga kapslar. ED's ger färre skut och mindre vibrationer och ger dessutom en större likhet mellan salvorna. Så vid en övergång till ED's börja med att ersätta de vanliga kapslarnas tider med ED's. Men man måste då tänka på att vibrationerna kan öka då många hål detonerar samtidigt.

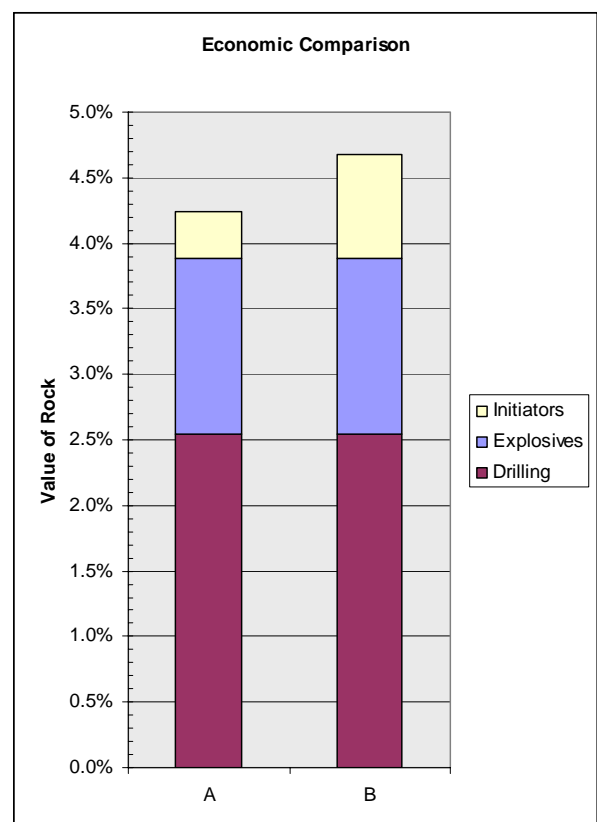


Figure 6: Example of minimal effect of higher initiator cost on overall value. 10% increase in burden and spacing will bring costs back to original level, with improved breaking.

En förklaring till att ED's har haft svårt att komma in på marknaden är deras pris men man glömmer då vilka fördelar man kan uppnå. Kapslarna representerar ofta en mindre del av kostnaderna, se figur nedan (gäller dock vid dagbrott). I detta fall tar man tillbaka kostnaden genom att öka försättning och hålavstånd.

Vid tunneldrivning produceras inte så stort tonnage vilket betyder att en extra kostnad/hål blir dyrbar. Tunneldrivning i gråberg betyder endast en kostnad för gruvan medan drivning i malm ger intäkter. Den extrakostnad man får med ED's måste betala sig i form av minskade kostnader för t.ex. skrotning, förstärkning och mindre överberg.

Utvecklingen av ED's startade 1983 som ett föredrag på ett ISSE-möte. ICI tog fram en ED som testades mellan 87-89. I S.A användes ca 200 miljoner sprängkapslar/år, dvs över 1 miljon/dag i guld och platina gruvorna. Det var vanligt och dyrbart med bomsalvor så det bestämdes att man skulle ta fram egna ED's. Tre företag började utvecklingen av ED's, Altec, Plessey och AEL. AEL hade då ett samarbete med ICI och Plessey gick in i Sasol. Det tog längre tid än vad man trodde att få igång tillverkningen då elektronikfolket hade svårt att föreställa sig under vilka tuffa förhållanden som kapslarna skulle användas. För AEL tog det 7 år och den långa utvecklingstiden tillsammans med avancerad elektronik gör att ED's blir dyra. Man vände sig nu mot gruvor där kostnaden/kapsel inte spelar så stor roll, dvs gruvor där varje hål spränger loss mycket stora bergvolymmer - dagbrott. Den första kapseln var ExEx 1000 systemet. Detta finns inte längre men funktionen kan vara viktig att komma ihåg. Kapslarna var programmerbara via en Blast Controller eller från en dator. Systemet kunde initiera upp till 200 kapslar per linje och det fanns 4-5 linjer. Kapslarnas ledare krymptes på en förbindelseledning och till varje kapsel var det en 6-ledars tråd.

Systemet testades först i Kleinkopje Coal Mine under stort besvär. Man hade problem med fukt i anslutningar och spänningsfall och dessutom var borrningen inte bra, man hade t.ex. lagt till ett antal hål som nu laddarna måste kompensera för genom att programmera om salvan även för dessa hål. Efter ett dygns hårt arbete sprängdes så den första stora salvan i S.A med ED's och resultatet blev verkligen bra. Men man kom att få problem vid en senare sprängning då ett hål gick av i förtid pga. känslighet för radiosignaler.

En annan lärdom var att man vid ED's bör använda två kapslar/hål, speciellt i horisontella lager. Man hade också bekymmer med störningar från kraftkablar. Nu började en övergång till ett nytt tvåledar system, Smartdet[®]. Detta system används sedan 2000 i S.A. och med väldigt liten hjälp från AEL. Hela denna utvecklingskedja visar på den långa learning-curve men att man tagit tillvara på vunna erfarenheter och utvecklat en bra produkt. Ett stort antal dagbrott, uj-gruvor och täkter använder nu Smartdet[®] och med bra resultat som ökad genomströmning, ökad försättning och hålavstånd, minskad gråbergsinblandning och minskad mängd överberg och bakåtbrytning.

AEL köpte 1998 Altech's Electrodet[®] system och idag säljs båda systemen av AEL. Man har alltså två helt olika system av ED's.

Electrodet[®] består av 2,5 m kabel som har st 5 trådar. Kapslarna ansluts i den ordning de skall detonera. Varje kapsel har samma fördröjning men mellan kapslarna ligger en ytterligare fördröjning. Skillnaden mot vanliga Unidet-typ är att även fördröjningen mellan hålen ligger i hålet. Fördelarna är att användarna kan se detonationsordningen något som är omöjligt med programmerbara kapslar. Dessutom kan flera personer samtidigt koppla delar av samma salva något som också är omöjligt med de programmerbara kapslarna.

Smartdet[®] har andra fördelar som att loggsystemet automatiskt känner av när en kapsel kopplas in och tilldelar varje kapsel en identitet och vald intervalltid. Det är ett två-ledar-system som gör allt enkelt t.ex. olika avstånd mellan hålen -allt kopplas ju ihop mot en lång förbindelseledning. Kollen innan skjutning blir enkel då varje kapsel har sin identitet.

Emellertid har det i S.A varit lättare att införa Electrodet[®], åtminstone bland lågutbildad personal, ty det systemet påminner mer om den vanliga hopkopplingen med pyrotekniska kapslar. Med programmerbara kapslar kan det vara svårt att på plats kontrollera om man programmerat rätt. Detta är lättare med de förprogrammerbar kapslarna.

I Edet[®] har man ytterligare utvecklat fördröjningsenheten, se tidigare, dvs. 32 s fast fördröjning plus 36 ms mellan varje hål. Mellan varje rad fördröjs tiderna ytterligare genom en ytkopplingsenhet. Fördröjningstiderna i dessa kan programmeras från skjutapparaten.

Begränsningen i detta system är att man är låst till den fasta fördröjningen mellan varje hål men mellan raderna kan man ha vilka tider som helst.

Erfarenheter i UJ-gruvor har visat att man med 100 ms fördröjning får positiva effekter vid inspända förhållanden då köbildning av berget som skall kastas ut kan undvikas. Likaså har man fått positiva effekter av 125 ms fördröjning, jämfört med både korta och långa fördröjningstider från Nonel-typ kapslar, både vid tunnelsalvor och i öppningssalvor. Största vinsten har man fått vid öppningsskjutningar (snabbare och med färre hål). I tunnlar har man uppnått full indrift, mindre skut och en bättre slutkontur.

Några slutord:

- ED's skulle ha funnits på marknaden långt tidigare om man inte stött på så många tekniska problem.
- Alla typer av ED's har olika funktioner, robusthet, användarvänlighet, specifikationer och begränsningar
- Det kan ifrågasättas om det är möjligt att få kontroll på vågutbredning med ED's särskilt för tider längre än 1 s.
- Fortfarande behöver kapslarna bli billigare och mer användarvänliga
- Tveksamt om man bör utveckla trådlösa kapslar. Kapslarna måste då ha energin lagrad på något sätt vilket gör att det finns en möjlighet att de kan självutlösas. Dessutom kan man inte bortse från terrorrisk vid dessa kapslar.
- Ihopkoppling är en Akilleshäls med ED's
- Elektroniska sprängkapslar är en viktig länk mellan spränghålet och gruvans ekonomiska ledningssystemet.

/Drake/ skriver om elektronik i både borrhning och sprängning. Genom t.ex. MWD och GPS teknik i borrhning samt andra mät och kontrollsystem som nu är inbyggda i riggarna, typ Atlas Copcos CAN-bus system där olika datoriserade system kommunicerar med hjälp av en enda kabel. Det fanns åtminstone 6 tillverkare av ED's jan-04. Orica påstår att man med ED's även kan kompensera inverkan av felborrning. Vidare ger ED's en bättre fragmentering som i sin tur kan optimera lastning och transport, öka genomströmningen i krossar och minska

skutandelen och därigenom skutknackning. Man säger också att hängväggsstabiliteten förbättrats, brösten blivit bättre vilket givit en säkrare brytning.

Daveytronic systemet har i en täkt i Pennsylvania medfört att:

- Medelstyckefallet reducerats med 32 %
- Andelen -20 mm har ökat med 37 %
- Utlastningstiden har minskat med 25 %
- Reduktion av kostnaderna för krossning med 6-10 %

Daveytronic medger programmering av kapslarna på plats eller efter hopkoppling från 1 ms upp till 4000 ms i steg om 1ms. Noggrannheten sägs vara bättre än 0,1 ms. Den bärbara programmeringsenheten kollar elektroniken både före och efter laddning. Varje kapsel förses med ett sekvensnummer och en fördröjningstid. Genom IR överförs den programmerade laddplanen till upptändningsenheten.

En annan rapport /Bleuzen et al/ beskriver ett tunnelprojekt i Portugal där man satte in elektroniska sprängkapslar och ökade indriften med 190 % vilket innebar att projekttiden kunde minskas med 60 dagar.

Ytterligare uppgifter från Davytronic säger att man uppnått dokumenterade förbättringar i styckefallet på 20-35 % samt en minskning av skutandelen. Vibrationsnivåerna har kunnat reduceras med 48 %, att uttags och krosskostnaderna har minskat med upp till 15 %.

DetNet tillhandahåller 3 olika typer av ED's, förprogrammerade, auto programmerbara och programmerbara. De förprogrammerade erbjuder en enkel lösning, de auto programmerbara ger möjlighet att identifiera kapslarnas läge och de programmerbara ger de störta möjligheterna. Under dec 03 tillkännagav DetNet och Dyno Nobel ett samarbete. Dyno Nobel har tidigare ett samarbete med Ensign-Bickford.

Digidet från Ensign-Bickford använder en vanlig typ-Nonel slang för att överföra signalen som sedan transformeras till en elektrisk signal i kapseln. Denna består av tre delar: en liten laddning som är kopplad till en piezokeramisk del som i sin tur laddar upp en kondensator. Kondensatorn driver en oscillator som reglerar tiden genom en förprogrammerad nedräkning som vid rätt tid frigör resterande laddning i kondensatorn som i sin tur initierar kapsels laddning. Systemet kräver ingen testning, ingen speciell tändapparat, ingen programmerings-

utrustning och inga elektriska kopplingar. Det krävs inga andra kunskaper att använda systemet än att använda vanlig Nonel. De förprogrammerade tiderna finns mellan 3-10000 ms och man påstår att noggrannheten är ± 1 ms.

i-kon från Orica kräver i-kon Logger och Blaster enhet för att definiera, programmera och initiera kapslarna men tillför en möjlighet att tanka ner intervalltiderna genom SHOTPlus-i Blast Design programmet. Kapslarna kan omprogrammeras efter laddning. Systemet medger programmering från 0-15000 ms i 1 ms steg.

För dagbrott används i-kon Blaster 400 som kan kontrollera två st Loggers där var och en kan använda 200 kapslar. I i-kon 600 är det möjligt att kontrollera 8 st Loggers.

Deltadet II från Delta Caps i S.A. medger att man kan programmera tiderna på kontoret och sedan optimera systemet genom sin PC-dator innan man lämnar över planen till gruvans personal. Kapslarna är programmeringsbara från 0-10000 ms i steg om 1ms. Kapslarna har en noggrannhet på $\pm 0,5$ ms. Systemet är, enligt tillverkaren, det enda som medger att programmering och initiering kan göras via radiosändare.

Kapselinfo från tillverkare

Delta Caps

Deltacaps kommer från Syd Afrika och tillhör OMNIA Group. Man har ett datorprogram, Blastmap, för design och övervakning av sprängsalvor. Här ingår borrhålens position, GPS position, håldjup, mm samt ett presentationsprogram. Den innehåller även sprängämnesdata, bergegenskaper och en speciell modul för design av salvan med hjälp av ED's. Här ingår också rapporterings-underlag. Ett speciellt program heter Explologger handhar borrhål- och ladddata för design av uj-sprängning. Allt körs på PC Windows (2000, XP).

En kapsel som kallas Deltadet II medför att programmering och initiering kan ske via fjärrkontroll. Detta medför att man kan arbeta i säkerhet långt från salvan. Kapseltekniken är flexibel så att man, vid behov, kan göra om sin programmering just innan sprängningen. Detta kan behövas om man efter laddning konstaterat att det finns fler hål än planerat. Multiline Blasting Machine har kapaciteten att initiera 800 kapslar genom trådlös överföring på upp till 3 km. Det finns ett inbyggt krypteringssystem.

Produktspecifikation

Intervalltider:	0-10 s i steg om 1 ms
Noggrannhet:	± 0,5 ms
Kapslar/salva:	200 st vid mono-line Blasting machine 1000 st vid multi-line Blasting machine
Programmering:	möjlig innan eller efter laddning
Programmeringstid:	± 2 s/kapsel
Uppladdningstid:	± 90 s oavsett antal kapslar
Anslutning:	seriell ihopkoppling
Programvara:	enkel och användarvänlig
Robusthet:	anslutningarna är skyddade mot vatten och damm
Godkänd:	Deltadet är CE-märkt

En speciell variant är att köpa den elektroniska enheten och sedan själv sätta dit en elektrisk momentan tändare.

DetNet

DetNet är världens största tillverkare av elektroniska sprängkapslar. AECI, där AEL är ett dotterbolag, i Syd Afrika och Dyno Nobel har nu gått ihop och bildat två företag DetNet International och DetNet S.A. AEL är det ledande företaget i S.A vad gäller gruvkonsult och har kontor i 14 länder och en omsättning på 300 M\$. Dyno Nobel finns i 36 länder och har en omsättning på 1200 M\$. Förutsättningarna för DetNet är mycket stora. DetNet har producerat 16 miljoner kapslar och med en kapacitet att producera 10 miljoner kapslar/år. Världsmarknaden uppskattas till 150 miljoner kapslar/år. Det nya bolaget tror att man kan kapa åt sig 30-40 % av årsbehovet vilket betyder att man måste öka sin kapacitet. Den planerade nya fabriken kommer att ligga på 20 miljoner kapslar årligen.

Tre olika typer av kapslar finns, förprogrammerade, auto-programmerade samt programmerbara.

Förprogrammerade

Dessa är speciellt framtagna för att vara enkla att använda på bekostnad av flexibilitet. Tiderna är förprogrammerade och kapslarna kopplas ihop med en daisy chain dvs en seriekoppling av kapslarna. Kapslarna är vanliga i Narrow reef mining i S.A.

Auto programmerbara- HotShot

Dessa kapslar är designade för att lika vanliga Nonel-typ kapslar fast med elektronisk precision. HotShot skall ge samma fördelar som de programmerbara men till en lägre kostnad och enklare att använda. Man behöver inte logga varje kapsel utan detta sker automatiskt.

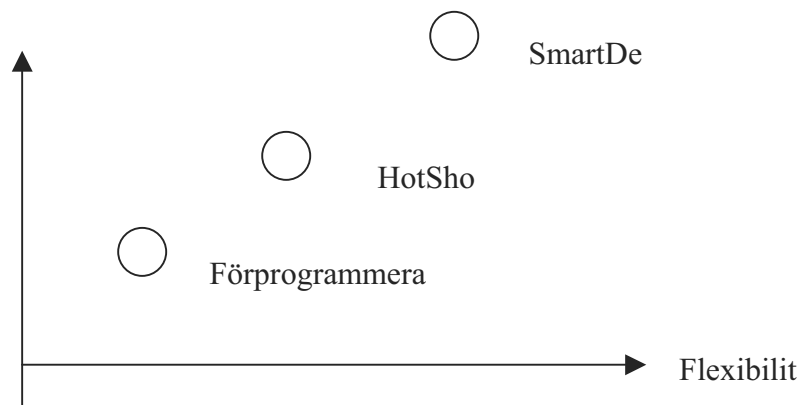
Programmerbara SmartDet

Här kan varje kapsel programmeras individuellt. Dessa kapslar lämpar sig bäst för mycket stora och komplexa salvor. Nackdelen är att de är krångligare att använda då en speciell träning behövs.

Genom hopslagningen (AEL+Dyno Nobel) fick man även teknologin från Ensign-Bickford och deras kapsel *DigiDet*.

Digidet har ledare av Nonel-typ men en elektronisk sprängkapsel. Systemet kräver ingen testning, ingen speciell tändapparat, ingen programmerings utrustning och inga elektriska kopplingar. Det krävs inga andra kunskaper att använda systemet än att använda vanlig Nonel. De förprogrammerade tiderna finns mellan 3-10000 ms och man påstår att noggrannheten är ± 1 ms. Mer info om systemet, se ovan.

Enkel att



Daveytronic

Användarvänliga och med hög noggrannhet. Kapslarna tillverkas av Davey-Bickford i Frankrike. Kapslarna säljs i Sverige av Norab, Gyttrorp.

Intervalltider: 1-4000 ms i steg om 1 ms

Noggrannhet: > 1/10 ms

Kapslar/salva: 1500 st eller 3000 st med Master Slave setup

Programmering: På plats eller fjärrprogrammering

Ledare: 2 trådars ledning

Ihopkoppling: Parallellkoppling

Dynamisk tryckkänslighet: 800 bar. Det finns också en extra förstärkt version

Godkänd: Kapslarna är CE-märkta

Instruktioner:

Antingen manuell eller automatisk programmering. Kapslarna ansluts till programmeringsenheten antingen före eller efter laddning. Elektroniken checkas. Varje sekvens nummer skickas till kapseln, vid manuell programmering laddas också intervalltiden in i kapseln. Då varje kapsel blivit programmerad ansluts varje kapsel till en ledning (vattensäkrade kopplingsblock). Anslut sedan ledningen till skjutapparaten. Vid automatiska programmering

sätter man in sin programmerade laddplan via ett datakort i skjutapparaten. Överföring kan också ske med IR.

i-kon

i-kon tillverkas av Orica. Systemet består huvudsakligen av tre delar, kapslarna, Logger (för intervallprogrammering) samt Blaster (skjutapparaten). Vid anslutning av kapslarna läser Loggern av kapselns ID-nummer och sparar detta tillsammans med intervallnumret. Samtidigt kollas funktionen samt ev. ledarläckage. Sedan kan laddaren tilldela intervalltiden. Efter en konfirmering kan man fortsätta med nästa kapsel.

Intervalltider: 0-15000 ms i steg om 1 ms

Noggrannhet:

Kapslar/salva: 1600 st

Programmering: Manuell (intervalltiden ställs in för varje kapsel), auto logging (man kan välja upp till 3 intervaller som sedan upprepas i en angiven serie) och programmering mot intervallnummer (tiden fås genom att intervallnumret multipliceras med en fast tid ex 17, 25, 100 ms)

Ledare: 2 trådars ledning

Dynamisk tryckkänslighet: 100 MPa

Ledarlängder: 6,15,20,30,40,60,80 m

Godkänd: i-kon är CE-märkt

Uni Tronic

Systemet tillverkas av Sasol i Syd Afrika. Sedan mars-04 har de ett samarbete med Orica. Uni Tronic säljs också av företaget RedBull, som bl.a. finns i Australien och Nya Zeeland.

Systemet består av kapslar, scanner och skjutapparaten.

Intervalltider: 0-20000 ms i steg om 1 ms

Noggrannhet: > 0,1 % (< 1ms mellan 0-1000 ms)

Kapslar/salva: 2000 st

Tryckkänslighet: 200, 400 och 700 bar beroende på typ

Överslagskänslighet: <0,5 m vid 50 mm hål, < 1 m vid 100 mm hål

Bilaga 2: Studiebesök vattenskrotning, Sudbury, Kanada

Till	Anders Lindholm Stig Fjellborg Jan Carlsten Georg Bengtsson Esa Kuru
Delges	Mikael Westerlund
Författare	Åke Kruukka

Bakgrund

Om beslut tages för ett fullskaleförsök i projekt SBT (Snabbare Bättre Tunneldrivning) skall ett tillredningsområde drivas med bästa möjliga teknik, BAT (Best Available Technique). Tekniklösningarna på riggar och annan utrustning för respektive delmoment i tillredningscykeln skall dock vara tillgänglig och i huvudsak färdigutvecklad teknik. Dock är det också sagt att ”ny” teknik skall provas där man ser att det finns intressant potential. En av dessa ”nya” tekniker är bergsskrotning med hjälp av högtrycksvatten, så kallad vattenskrotning.

Vattenskrotning har provats i olika sammanhang och med olika lösningar på ett par håll i världen, bland annat i LKAB. Dessa försök är alla mer eller mindre väl avrapporterade och kan studeras vid intresse.

Syftet med denna resa var i första hand att studera Falconbridge's försök med vattenskrotning som just nu bedrivs och få en uppfattning om deras lösning kan vara en framkomlig väg för ett eventuellt försök inom SBT. Förutom två gruvbesök hade vi även teknikdiskussioner kring försöken samt ett besök på Laurentian University där vi fick en presentation av en forskningsstudie kring högtrycksvattens tillämpning och dynamik. Avslutningsvis hann vi även med ett studiebesök hos BTI (Breaker Technology Inc.) och deras anläggningar i Thornbury (10mil väster om Toronto). BTI är tillverkare av olika typer av bergfragmenterings- utrustningar såsom skutknackare och skrotarriggar för mekanisk skrotning.

Gruvbesöken

Allmänt

Båda gruvorna, Frasier Mine och Craig Mine bryter i huvudsak Nickel men med inslag av koppar i nickelmalmen eller som separata horisonter. Huvudsakliga brytningsmetoden är igensättningsbrytning. Brytningen pågick på lite olika nivåer men dom nivåer som vi besökte var på mellan 1200-1300m under markytan. Berget var småblockigt i dom flesta fall och skalning på grund av bergtryck var vanligt. Varenda ortmeter var förstärkt med antingen nätning och bultning eller nätning, bultning och sprutning. Där det ej var sprutat kunde man se mycket löst material i det finmaskiga nätet (10*10cm).

Frasier Mine (vattenskrotning kombinerat med lining)

Det huvudsakliga vattenskrotningsprojektet pågick i denna gruva. Projektområdet var i en ramp som skulle drivas nedåt in mot ett produktionsområde. Cirka 20 stycken ortsalvor var avsatta till försök med vattenskrotning. När vi besökte området var dom redan inne på den 18:e eller 19:e ortsalvan varför man kunde titta bakåt på resultatet av vattenskrotning och plastliningen.

Vattenskrotarriggen

Vattenskrotarmodulen var uppbyggd på en gammal (amerikansk) borrarregat som bärare. Borrboommarna var borttagna och ersatta med en enkelbom med tillräcklig räckvidd. Kabel- och vattenvindor var borttagna för att göra plats för en vattentank på cirka 1,5m³ samt högtryckspumpar av kolvtyp. Vattentillförseln var ett problem på just detta område varför tanken var absolut nödvändig för att ha tillräcklig vattenvolym under hela skrotningsförloppet. Liningsplasten (levererad av 3M) och härdaren togs för varje skrotning/linings- tillfälle till riggen i lösa hinkar. Hela detta upplägg med löst upplindade kablar, slangar och hinkar gjorde att den verkligen fick en karaktär av experiment vilket det också var. Vattentrycket var cirka 250bar och förbrukningen cirka 250l/min.

Den viktigaste delen av riggen satt längst fram på bommen och var själva vattenkanonen och liningsenheten, se bild 1. Denna var hämtad från en betongsprutningsrigg vilket också förklarade rörelsemönstret då man körde skrotningen/liningen på automatik.

Vattenmunstycket var ganska enkel med ett 6mm's hål i toppen. Liningsmunstycket satt parallellt med vattenmunstycket och det var också längst fram där mixningen av plast och härdare gjordes. Efter en lining var man tvungen att torka av mixer-munstycket för liningen som annars klibbade igen. Om den ändå hann klibba igen inför nästa lining så bytte man helt enkelt ut denna eftersom den var relativt billig.



Bild 1: Linings- och vattenmunstycke

Den automatiska styrningen av hastighet och vinkelrörelserna av skrotnings- och liningshuvudet var PLC-styrd och kunde ändras beroende på hur man ville att denna skulle starta sitt rörelsemönster över bergytan och längs efter orten (salvans längd) samt med vilken hastighet, se bild 2. Det som inte gick att ändra på med enkla medel var den cirkulära rörelsen som roboten rörde sig med över bergytan eftersom detta var något som, enligt ovan, redan fanns inbyggt. En inbyggd säkerhetsbegränsning av skrotningshuvudets rörelsemönster var vinkeln framåt-bakåt sett från operatören. Den var begränsad till cirka 88-89° mot operatören så att man inte kunde vattenskrota mot operatören och därmed riskera stensprut mot densamma.



Bild 2: Operatörspanel varifrån operatören kan ändra vissa inställningar för den automatiska styrningen samt även styra bomrörelsen manuellt.

Vid både vattenskrotning och lining så eftersträvade man att befinna sig med munstyckena cirka en meter från bergytan. Eftersom ortarean var 4,6m*4,6m och roboten var cirka en meter långt så hamnade man per automatik cirka en meter från bergväggen, om centrerung av riggen gjorts bra, varför man inte heller körde bommens sidorörelser automatiskt. Om man vid skrotningen eller liningen såg att man på grund av utfall befann sig för långt från bergytan så kunde operatören manuellt styra in bommen närmare eller längre bort ifrån bergytan utan att störa automatiken.

Resultat av vattenskrotningen

Att skrota en hel salvlängd tog med automatiken cirka 6 minuter. Med vattentank på 1,5m³ och 250l/min förbrukning så kändes det som att man anpassat den automatiska skrotartiden efter detta. Automatiskskrotningen började med munstycket riktat rakt upp för att sedan arbeta sig nedåt åt vänster (med det cirkulära rotationsmönstret) sedan gick den upp mot taket igen utan att skrota och fortsatte skrotningen från riktning rakt upp och ned mot höger sida. Därefter så sköts bommen fram ett par decimeter och körde samma mönster igen. Detta fortsatte tills man hade täckt hela salvlängden, se bild 3.

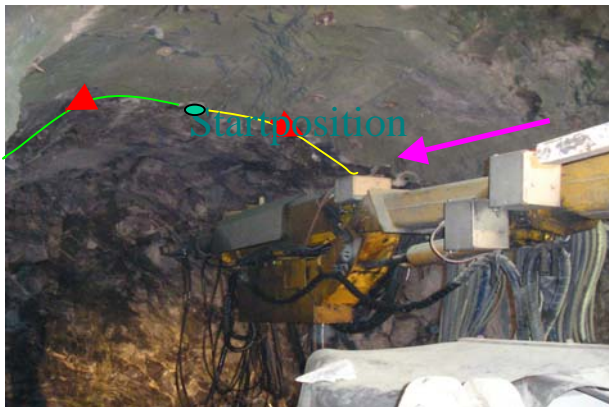


Bild 3: Rörelsemönster vid automatisk skrotning eller lining. Start sker vid grön punkt och sedan arbetar den sig nedåt åt vänster (grön linje) för att sedan gå till startpunkt igen och sedan arbeta sig nedåt åt höger (gul linje). Därefter skjuts bommen fram en bit (violett linje).

Efter automatiskskrotningen så gick operatören manuellt igenom skrotningen på det automatiskt skrotade området och avslutade allt med att gavelskrota. Beroende på resultatet av det automatiskt skrotade så tog det cirka 10-20 minuter av effektiv skrotning med riggen

innan operatören var nöjd. Det hände även att det fanns lösa bitar i övergången mellan föregående salva och aktuell salva som inte kunde skrotas ned på grund av vinkelrestriktionerna, se ovan. Dessa var man tvungen att handskrota ned, se bild 4.

Efter skrotningen kopplade man upp liningsenheten och började plastförstärka det nyligen vattenskrotade området. Liningstiden var ungefär densamma som vattenskrotningen och följde till mångt och mycket samma mönster, se ovan. Liningstjockleken som lades på var cirka 2-3mm. Härdningstiden av liningen innan man fick gå på med någon annan operation var cirka 4 timmar. Full hållfasthet nåddes efter xxx timmar.



***Bild 4:** Handskrotning av övergångszon mellan föregående och ny tunnelsalva. Denna zon kunde ej alltid skrotas fullständigt på grund av säkerhetsrestriktioner i skrotarhuvudets rörelsemönster. Observera även den grönaktiga liningen från föregående ortsalva.*

Projektkommentarer Falconbridge

Under projektets gång med vattenskrotning och plastlining har man kommit att ändra fokus något. Från att köra på som ”vanligt” med borrar och laddning för att sedan vattenskrota och därefter lägga på plastlining så har man känt sig tvingade att även lägga större vikt på både laddkvalité och sprängkvalité. Detta för att få en bättre kontur att vattenskrota och förstärka. Detta kunde man se mycket tydligt på plats i gruvan där konturerna blev bättre och bättre allt eftersom i ortsträckan som drevs av projektet.

Våra synpunkter på vattenskrotning och lining

Funktionen av vattenskrotningen som gjordes i ovanstående projekt uppfattade vi (undertecknad och Esa Kuru) som lyckad. Den känsla vi också fick var att bergförhållandena i åtminstone detta område, förmodligen även i stora delar av gruvan (baserat på det vi hann se), var idealiskt med avseende på vattenskrotning. Detta eftersom det i huvudsak såg ut att vara småblockigt berg som mycket väl lämpade sig till att ta ned med högtrycksvatten. Efter den salva som vi var med om att vattenskrota (förutom gaveln som redan var skrotad) så kunde vi inte göra någon annan bedömning än att den var fullt tillräckligt skrotad.

Längs med hela ortsträckan som var vattenskrotad och plastlinad så var våran bedömning att det inte var några som helst problem med varken kvalitén på utförd skrotning och lining. Det man däremot såg och som även har nämnts ovan var att ortkonturen blev bättre och bättre längs ortsträckan som tillhörde projektet. Våran uppfattning var att det säkerligen var viktigt för vattenskrotningen att man fick en bra ortkontur men att den största fördelen i detta fall fick man vid plastliningen. En ojämn kontur hade nog försvårat plastliningen betydligt med mycket manuellt styrd sprutning.

I detta område med plastlinad ortkontur såg det betydligt ”trevligare” ut än i områdena med nätning/bultning med mycket löst småblockigt berg i näten. Det vi inte kan göra någon bedömning av är vilken långtidseffekt plastliningen har. Detta kommer förmodligen att utredas av projektet.

Craig Mine (vattenskrotning på bultarrigg)

Huvudsyftet med besöket i Craig Mine var att titta på förhållandena för bultarriggarna. Dessa bultarriggar (Robolt) var utrustade med en arm även för nätning så både bultning och nätning gjordes med samma rigg. Liksom i Frasier Mine så var berget småblockigt och mycket löst hängde i redan uppsatta armeringsnät. Bultningen gjordes med 2,4m långa armeringsjärn typ Kirunabult men utan kilen. Förstärkningsbultarna gjuts fast med tvåkomponentsplast som skjuts upp likt långa ”korvar”. I detta fall hade man valt rätt långa ”plastkorvar” som ofta riskerade att fastna i det småblockiga berget, speciellt i mynningen av hålet.

Problemet man hade vid bultningen var att man ofta fick stenfall på bultarenheten som ofta gick sönder. För att undvika okontrollerade stenfall så petade man först bort det lösa man såg med bultarriggens bormaskin. Både vid denna hantering med att peta bort lösa bitar och vid själva bultsättningen så fick man återkommande stenfall på maskinerna.

För att komma tillrätta med ovanstående problem avsåg man att prova utrusta en av bultarriggarna med en "vattenkanon" för att med högtrycksvatten rensa/skrota bergytan innan bultning och nätning. Detta hade man ännu inte hunnit att göra på någon rigg men vi fick en bra bild av problemet.

Övrigt

Förutom gruvbesöken så hade vi ett par givande diskussioner dels med produktionsfolk på Craig Mine dels med projektmedlemmar och diverse projektansvariga för vattenskrotnings-/linings- projektet i Frasier Mine.

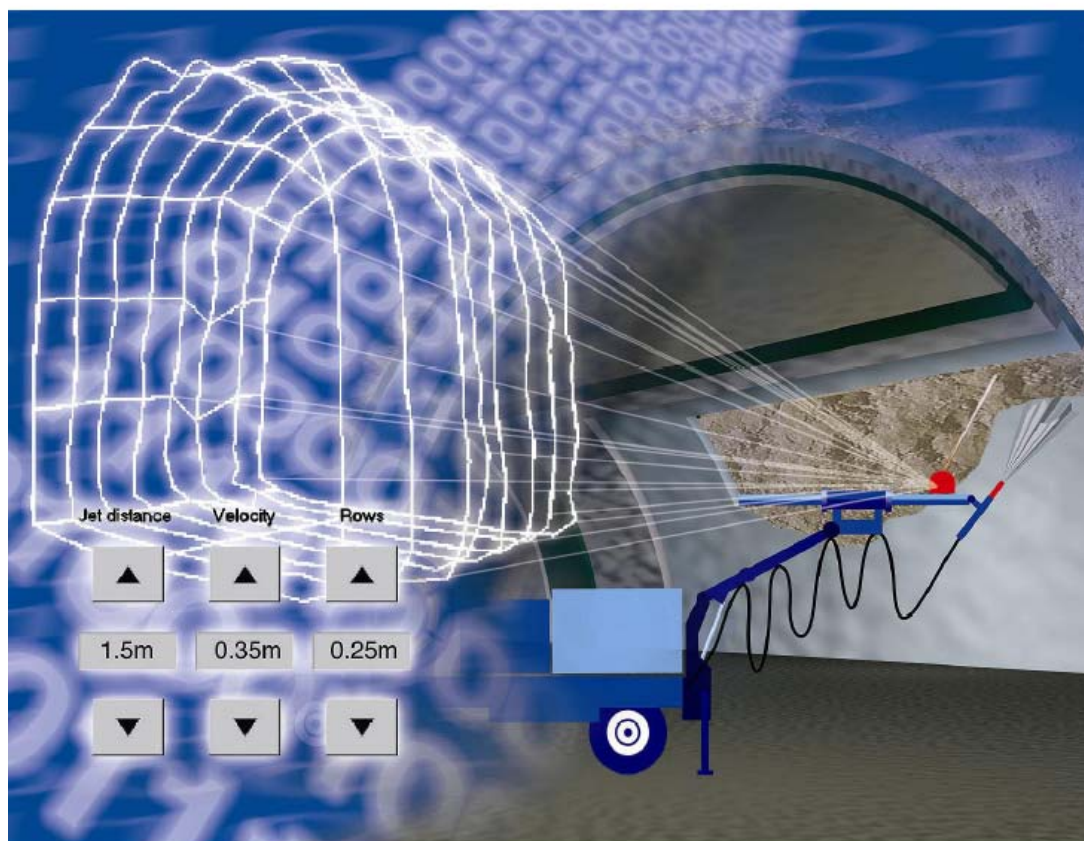
Slutligen besökte vi Laurentian University där vi träffade David Muldowney, en forskningsingenjör, som jobbade med ett projekt där man tittade på högtrycksvattens dynamik. Ett laboratorium höll på att färdigställas för detta syfte. Man avsåg att titta på högtrycksvatten både med avseende på skillnader i effekt vid olika tryck och flöde samt också med avseende på pulserat och konstant flöde. Detta projekt bedömde vi som mycket intressant för att förstå dynamiken och kunna säga något om vad som händer och vilken effekt med vattenstrålen har då den träffar bergytan.

Bilaga 3: MEYCO:s Robojet Logica

degussa.
creating essentials

MEYCO[®] Robojet Logica

Automated, High Capacity and Accurate Application Systems for Sprayed Concrete and Fire Protection Mortars



degussa.

creating essentials

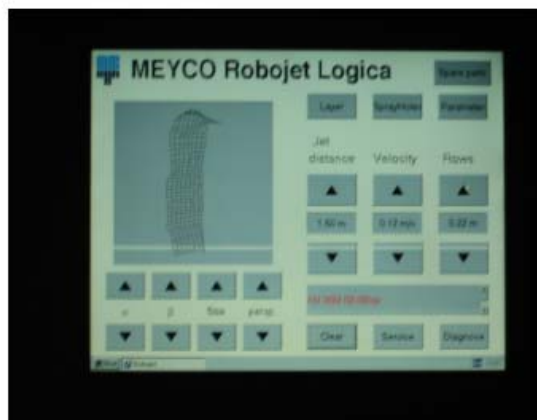
Originality, Creativity

A new computer controlled machine based on the well-known principle of the MEYCO[®] Robojet has been developed. The special aspect of this machine is the possibility to spray concrete or MEYCO[®] Fix Fireshield 1350 fire protection mortar fully automatically onto the surface of an excavated or final lining of a tunnel to the speed and accuracy the industry now demands!

The machine has a human oriented "joystick" control system, which is operating the robot with 8 degrees of freedom. The remote control enables the operator to manipulate the spraying jet not only in automatic, but also in semi-automatic and if needed in manual mode. The whole job of spraying, as well as the training of the operators, is simplified with this new machine. Sprayed concrete can be done in an efficient way with improved quality.

The system measures the profile of the tunnel with a laser scanner in a selected area and applies the material to the preset values automatically, or guided by the operator, onto the surface. The process allows a prescribed thickness of sprayed concrete or fire protection mortar to be applied to the correct thickness uniformly over the full profile. The accuracy of the thickness control is remarkable, with recent projects showing ± 3 to 4mm tolerance.

Sprayed concrete manipulators are well known worldwide, but the "Logica" system is the first robot system of its kind to date. It keeps the distance and the angle to the surface always correct and reduces rebound material to a minimum, enabling an improved quality of sprayed concrete. For MEYCO[®] Fix Fireshield 1350 application it enables a machined spraying with high speed, quality and even finish, instead of a mostly manual, time consuming process.



MEYCO® Robojet Logica

degussa.
creating essentials

Unique in the Underground Construction Market

- The first robot system on the market for sprayed concrete and MEYCO® Fix Fireshield 1350 application in tunnelling.
- Due to software control, completely open for future applications and technologies.
- MEYCO® Fix Fireshield 1350 application 6 to 7 times faster than conventional systems, and with an accuracy of $\pm 4\text{mm}$ of the design thickness

The cumbersome and partly dangerous works of applying sprayed concrete to tunnel walls was either executed by holding a spraying nozzle by hand or utilizing a remote controlled manipulator. To guarantee an optimal spraying distance and angle, only skilled and well-trained operators were able to perform. The MEYCO® Robojet Logica will guarantee these parameters under all circumstances and without a highly trained operator. That means the performance responsibility is partly transferred to the equipment manufacturer and relieves the contractor from training operators to become application specialists.

Economical Advantages

The parameters spraying distance, spraying angle and nozzle speed have an immediate effect on the rebound of sprayed concrete, and on the concrete quality, of course! As an example with ballpark figures, a project with a sprayed concrete volume of $50,000\text{ m}^3$ total. Overall rebound with today's equipment is $15\% = 7,500\text{ m}^3$ (wet spraying). With Logica technology the rebound can be reduced by 50% on average. 50% less = $3,500\text{ m}^3$ with a cost assumption of $\text{DM } 100.-/\text{m}^3$ (average) a saving of $\text{DM } 350,000$ can be achieved (in one project only)

- Easy use and training
- Improved quality control of process
- Spraying to design thickness (no overspray)

Ecological Advantages

- The disposal cost of rebound material is being reduced.
- Life span of robot prolonged compared to standard manipulator.
- Less energy used as process is faster.



For more information, contact MEYCO Equipment:
MEYCO Equipment
Division of Degussa Construction Chemicals (Switzerland) Ltd.
Hegmattenstr. 24
CH-8404 Winterthur
Tel. ++41 52 244 0700
Fax ++41 52 244 0707
www.meyco-equipment.com

