

Förord

Laserscanning är ett användbart hjälpmedel för avståndsmätning i berganläggningar. En relativt ny användning för denna teknik är att använda scanning som hjälpmedel för att producera sprutbetong som bergförstärkning med automatisk styrning av sprutmunstycket. AB Besab har sökt och fått möjligheten att genomföra en serie provsprutningar med denna teknik i projekt Törnskogstunneln. Proven som har utförts som en del i produktionen, har följts upp och utvärderats med avseende på arbetsmiljö, kvalitet och produktivitet. Resultatet redovisas i denna rapport.

Ett särskilt tack riktas till Vägverkets projektledning och Odens platsledning i projekt Törnskogstunneln, för det stöd vi fått i samband med provsprutningarna. En referensgrupp bestående av Lena Reidarman, Vägverket Region Stockholm, Patrick Marelius, ODEN Anläggningsentreprenad AB och Anders Östberg, Veidekke samt medlemmarna i FoU-Väst har granskat rapporten.

Projektet stöds ekonomiskt av Vägverket Region Stockholm, ODEN Anläggningsentreprenad AB, AB BESAB samt SBUF.

Göteborg i mars 2007

Tommy Ellison
Projektledare

Sammanfattning

Betongsprutning i bergtunnlar med robot är ett arbete som kräver stor yrkesskicklighet. För att resultatet skall bli godtagbart måste munstycket föras på ett nästan konstant avstånd över bergytan och med lagom hastighet. Dessutom skall munstyckets vinkel vara så nära vinkelrätt mot bergytan som möjligt. Arbetet försvåras av att avståndet mellan operatör och bergytan är stort speciellt i tak, återslag från sprutningen försämrar sikten och bergytan är ojämn. Dessa omständigheter leder till ojämna skiktjocklekar och större betongspill än på en jämn yta. Vid tunna skiktjocklekar måste kapaciteten hållas låg så att operatören hinner med att föra munstycket över ytan som skall sprutas på ett kontrollerat sätt. Betongsprutning med robot medför ofta en obekvämlig och statisk arbetsställning för operatören.

Allt detta leder till att förstärkningen inte alltid blir som konstruktören hade tänkt sig. Lokalt undertramp i skiktjocklek leder ofta till kompletterande betongsprutning vilket medför att medeltjockleken blir större än önskat och överförbrukning av sprutbetong. Utbildning av robotförare kräver mycket övning och kostar stora belopp i ökad betongåtgång under lärotiden samt kvalitetsfelkostnader. Dessutom förekommer, på grund av den monotona arbetsställningen, inte sällan arbetsskador hos robotförarna i form av nackstelhet eller ryggbesvär, vilket kostar stora pengar i produktionsbortfall och inte minst lidande för den enskilde arbetstagaren.

Med scanning-teknik kan bergytans geometri avläsas mycket noggrant. Tekniken används allmänt för att avläsa slutlig bergprofil, men har inte tidigare använts i någon större omfattning som hjälpmedel i betongsprutningsarbetet. Meyco som ingår i koncernen BASF har utvecklat en sprutbetongrobot som utnyttjar scanning för att styra utförandet av sprutbetongarbetet. Denna teknik har testats i en serie provsprutningar i projekt Törnskogstunneln.

Resultatet av provsprutningarna kan sammanfattas i tre punkter:

- Automatisk sprutning innebär stora fördelar för robotförarens arbetsmiljö. Det är framförallt risken för belastningsskador på nacke och rygg, som resultat av den monotona arbetsställningen, som minskar kraftigt.
- Tekniskt innebär tekniken avsevärt mindre variationer i skiktjocklek. För att kunna nyttja dessa fördelar är det önskvärt att se över tillämpningen av mätreglerna. Övriga tekniska egenskaper blir enligt undersökningen minst lika bra som med manuell sprutning.
- Mindre variation i skiktjocklekar kan innebära reducerad betongåtgång och kan på så sätt ge en ekonomisk fördel. Detta har inte kunnat bevisas av de utförda provsprutningarna, men en mindre variation i skiktjocklekar får den konsekvensen.

Det finns alltså goda förutsättningar för att kunna utföra billigare och bättre bergförstärkning med reducerade hälsorisker med scanningteknik. För att fördelarna skall kunna nyttjas på ett effektivt sätt måste tekniken göras mindre störningskänslig. Dessutom behöver kunskapen om bergförstärkningens verkningssätt ökas genom forskning, vilket kan leda till något ändrade dimensioneringsförutsättningar och normkrav. Slutligen är det önskvärt med en förbättrad utbildning av robotförare för att möta kraven på bergtekniskt och maskintekniskt kunnande, samt för att kunna utföra kompletterande sprutning på ett effektivt sätt.

Innehållsförteckning

Förord.....	1
Sammanfattning	2
Innehållsförteckning.....	3
1 Bakgrund.....	4
1.1 Allmänt om sprutbetong.....	4
1.2 Bergförstärkning.....	4
2 Faktorer som påverkar sprutresultatet.....	5
2.1 Faktorer som påverkar slutprodukten.....	5
2.2 Ekonomiska faktorer	6
2.2.1 Kostnader genom bristande kvalitet.....	6
2.2.2 Kostnader för personalförsörjning	7
2.3 Faktorer som påverkar arbetsmiljö.....	7
3 Målbeskrivning.....	8
4 Scanningteknik.....	8
4.1 Allmänt om laserteknik	8
4.2 Utveckling av betongsprutning med scanning	9
4.2.1 Nya krav	9
4.2.2 Meyco.....	9
4.2.3 Aliva	11
4.2.4 Normet.....	11
4.2.5 Övriga tillverkare	11
4.2.6 GHRR/RTC.....	12
5 Fältprov med robot utrustad med scanningteknik	12
5.1 Beskrivning av fältproven	12
5.2 Utvärdering av fältproven	13
5.2.1 Allmänt.....	13
5.2.2 Sprutresultat	14
5.2.3 Ekonomi	14
5.2.4 Arbetsmiljö.....	17
6 Slutsatser	17
7 Diskussion.....	19
8 Förslag till fortsatt utveckling	20
9 Referenser.....	21
10 Bilagor.....	22

1 Bakgrund

1.1 Allmänt om sprutbetong

Betongsprutning innebär att betongmassa sprutas mot en yta med hjälp av tryckluft. Betongmassan kan vara antingen torr eller våt.

Vid torrsprutning transporteras en nästan torr betongmassa med hjälp av tryckluft till ett munstycke där vatten tillsätts till önskat vattencementtal, vct. Genom att anpassa vct så erhålls en stark betong som kan samverka med underlaget.

Våtsprutning innebär att färdig betongmassa med önskat vct transporteras till sprutmunstycket genom t ex pumpning. I munstycket tillsätts drivluft och accelererande tillsatsmedel.

Tidigare var den allmänna uppfattningen att torrsprutning gav en bättre slutprodukt på grund av att betongpumpningen med den våta metoden krävde en lösare konsistens på betongmassan och alltså en högre vattenhalt. För att betongen skulle fastna på underlaget krävdes då att accelererande tillsatsmedel tillsattes, något som också kunde leda till en försämring av betongens sluthållfasthet. Med modern tillsatsmedelsteknik har denna bild förändrats så att våtsprutning kan ge en lika bra slutkvalitet som torrsprutning.

Vid reparation av skadade betongkonstruktioner som broar, föredrar man ofta att använda torrsprutningsteknik. Dessa arbeten utförs i allmänhet med handhållen teknik, och ställer särskilt höga krav på sprutarens hantverksskicklighet. Eftersom volymerna ofta är små har kapaciteten inte någon avgörande betydelse för ekonomin.

De stora volymerna för betongsprutning används framförallt i samband med byggande av tunnlar och andra anläggningar i berg. När sprutbetong sprutas mot en sprängd bergyta får man en mycket effektiv förstärkning av bergkonturen. Metoden har genom utveckling av fiberarmering och robotteknik blivit mycket kostnadseffektiv, och används nästan alltid i samband med nybyggnad och renovering av undermarksanläggningar.

1.2 Bergförstärkning

Betongsprutning i bergtunnlar med robot är ett arbete som kräver stor yrkesskicklighet. För att resultatet skall bli godtagbart måste munstycket föras på ett nästan konstant avstånd över bergytan och med lagom hastighet. Dessutom skall munstyckets vinkel vara så nära vinkelrätt mot bergytan som möjligt. Arbetet försvåras av att avståndet mellan operatör och bergytan är stort speciellt i tak, återslag från sprutningen försämrar sikten och bergytan är ojämn. Dessa omständigheter leder till ojämna skiktjocklekar och större betongspill än på en jämn yta. Vid tunna skiktjocklekar måste kapaciteten hållas låg så att operatören hinner med att föra munstycket över ytan som skall sprutas på ett kontrollerat sätt. Betongsprutning med robot medför ofta en obekvämlig arbetsställning för operatören när denne tvingas ha blicken riktad mot tunnelns tak under långa perioder.

Allt detta leder till att förstärkningen inte alltid blir som konstruktören hade tänkt sig. Lokalt undertramp i skiktjocklek leder ofta till kompletterande betongsprutning vilket medför att medeltjockleken blir större än önskat och överförbrukning av sprutbetong. Om tjockleken däremot blir för stor får entreprenören inte betalt för den överskjutande betongmängden, och i värsta fall tvingas man bila bort partier med alltför stor tjocklek. Sprutbetong som träffar underlaget med alltför sned vinkel kan ge upphov till dålig vidhäftning mot underlaget. Detta

kan behöva åtgärdas med bultförankring. I samtliga fall leder felaktigt utförande till ett försämrat ekonomiskt resultat.

För att förstärkningen skall uppfylla ställda krav på säkerhet fordras att betongsprutningen utförs med så få fel som möjligt. Detta ställer krav på utbildning så att personalen vet hur arbetet skall utföras på bästa sätt. Utbildning av robotförare kräver mycket praktisk övning och kostar stora belopp i form av kvalitetsfel och ökad betongåtgång under lärotiden. Även om robotföraren är välutbildad så kan ett ögonblicks ouppmärksamhet orsaka ett felaktigt resultat. Detta kommer alltid att kunna hända så länge roboten styrs av mänsklig hand, särskilt som betongsprutning kräver mycket stor koncentration.

Den höga koncentrationen och ofta obekväma arbetsställningen orsakar inte sällan arbetsrelaterade besvär hos robotförarna i form av nackstelhet eller ryggbesvär, vilket medför produktionsbortfall och inte minst lidande för den enskilde arbetstagaren.

2 Faktorer som påverkar sprutresultatet

2.1 Faktorer som påverkar slutprodukten

För att förstärkningen skall få den tänkta funktionen krävs att sprutbetongen uppfyller vissa krav:

a) Vidhäftning

Vidhäftningen skall vara tillräckligt bra med hänsyn till bergets sammansättning. I vissa bergarter t ex med glimmerinnehåll kan kravet inte uppfyllas. Då utförs ofta förstärkningen med en sprutbetong som förankras med bultar.

Vidhäftningen provas genom provdragning av friborrade kärnor enligt svensk Standard SS 13 72 43. Kravet är oftast att vidhäftningen skall vara minst 0,5 MPa på en frisk bergyta.

För att vidhäftningen skall bli bra fordras att bergytan är noggrant rengjord. Dessutom skall sprutningen utföras så mycket som möjligt vinkelrätt mot bergytan. Då en sprängd bergyta är mycket oregelbunden samtidigt som sprutbetongens träffyta har en viss utbredning i sidled kan det vara mycket svårt att utföra detta. Om sprutkapaciteten är hög är det svårt för operatören att hinna parera alla ojämnheter.

Det finns såvitt känt ingen undersökning av hur sprutrikningens avvikelser från normalen inverkar på återslaget. Det kan dock antas att mindre avvikelser kan accepteras, medan om strålen träffar underlaget med mycket sned vinkel så blir resultatet ett mycket stort betongspill.

b) Skiktjocklek

Sprutbetongens tjocklek skall uppfylla krav på minsta medeltjocklek och variationen får inte vara för stor. Vid provning enligt svensk Standard SS 13 72 21 borras en grupp om fem hål inom en m². Medelvärde skall då vara minst den beställda tjockleken, och minsta värdet får inte understiga ett visst värde beroende på konstruktionen. Om sprutbetongen är bergförankrad fungerar den som en platta upplagd som är upphängd i bultar, och då får inget värde understiga beställd tjocklek.

Ibland är det väsentligt att sprutbetongen inte är för tjock eftersom den då kan inkräkta på det fria utrymmet t ex trafikutrymmet i en väg- eller järnvägstunnel.

För att åstadkomma en jämn skiktjocklek med små variationer fordras att munstycket förs på över bergytan med en jämn hastighet och att avståndet från bergytan hela tiden är nästan konstant och inte för stort, 1,2-1,5 m är ett idealiskt avstånd. Vid högt betongflöde är det mycket svårt att hinna utföra detta arbete på ett korrekt sätt. Det gäller även om operatören är mycket skicklig och har lång erfarenhet.

2.2 Ekonomiska faktorer

2.2.1 Kostnader genom bristande kvalitet

Det är som framgår av ovanstående beskrivning mycket lätt att misslyckas med sprutningen på något sätt. Det kan bero på händelser i omgivningen, maskinkrängel eller betongrelaterade problem som kan stjäla koncentration från själva sprutningen. Om operatören brister i koncentration på grund av trötthet eller en allmänt dålig dag kan resultatet också bli att kvaliteten försämras.

Betong pumpas ut ur munstycket med ett flöde som vanligen är 150-200 liter per minut. Störningar kan betyda att betongen under korta tidsperioder placeras på fel ställe eller med felaktig vinkel och avstånd till berget. Om störningar uppgår till 3-5 minuter under ett lass, så innebär det att cirka 10-15 % av betongsprutningen blir felaktigt utförd. Konsekvensen av detta kan bli felaktig skiktjocklek eller bristande vidhäftning.

Vid provning av den färdiga förstärkningen kan en enstaka sämre utförd sprutbetong resultera i anmärkning och åtgärder.

a) Vidhäftning

Undertramp i vidhäftningshållfasthet kan, om det inte finns naturliga förklaringar som glimmer eller annan försvagning i underlaget, leda till komplettering av förstärkningen med bultar. Åtgärden för kompletteringen kan bli högre än för den ursprungliga förstärkningen.

b) Skiktjocklek

Undertramp i skiktjocklek kan innebära att ett område måste kompletteras med ytterligare sprutbetong utanpå den underkända. Åtgärden kan ofta begränsas men leder ändå till avsevärda tilläggskostnader och extra tidsåtgång. Detta får ofta entreprenören stå för.

Om istället skiktjockleken blir för stor blir den ekonomiska konsekvensen att betongförbrukningen blir för hög. I vissa fall kan en för stor skiktjocklek leda till åtgärder för att ta bort överflödig betong på entreprenörens bekostnad.

Det finns alltså stora vinster att göra genom att undvika de ovan nämnda felen. Om detta kan åstadkommas genom en bättre teknik kan det vara mycket lönsamt.

2.2.2 Kostnader för personalförsörjning

Utbildning av robotförare är en mycket kostnadskrävande del av betongsprutningen. Det finns ingen utbildning för robotförare med statligt stöd, utan all utbildning sker internt i berörda företag. Någon användbar simulator finns inte att tillgå.

Själva utbildningen bör omfatta en mindre teoridel, medan den dominerande tiden ägnas åt praktisk övning. Oavsett om övningarna sker på en övningsplats eller på en verklig arbetsplats, så medför det höga kostnader för maskinell utrustning och förbrukning av material. Under praktiktiden kan förväntas många felmanövrer, låg kapacitet och felaktig slutkvalitet. Högre betongförbrukning än beräknat är den enskilt största merkostnaden. Utbildningen kan ta lång tid och kostnaderna för en färdigutbildad robotförare kan uppgå till många hundratusen kronor. En färdigutbildad och skicklig robotförare återbetalar nedlagda kostnader under ett antal år. På grund av de höga utbildningskostnaderna är det önskvärt att en robotförare kan vara yrkesverksam under lång tid efter avslutad utbildning.

2.3 Faktorer som påverkar arbetsmiljö

Utvecklingen av robotar för betongsprutning innebar en stor förbättring av arbetssituationen för den enskilde arbetstagaren jämfört med handhållen teknik. Det fysiskt påfrestande arbetet med att släpa på den tunga matarslangen och att hålla munstycket eliminerades. Med handhållen sprutteknik tvingades operatören att stå mitt i sprutningens centrum med återslag av sprutbetong och risker för nedfallande kakor av färsk betong och bergfragment. En robotförare kan ställa sig på ett lämpligt avstånd, dock så att han har möjlighet att se hur arbetet fortskrider.

Efterhand som arbetstempot i tunneldrivningen har skruvats upp har nya olägenheter för arbetstagaren uppstått. Kraven på att utföra arbetet med hög kvalitet fordrar att sprutaren koncentrerar sig maximalt under perioder om 10-15 minuter. Efter en kort vila, kanske 3-5 minuter kommer ett nytt pass med maximal koncentration. Detta mönster upprepas med enstaka lite längre pauser under hela arbetsskiftet. Merparten av sprutningen sker i tak vilket innebär att robotföraren måste titta uppåt för att kunna se vad han gör. Detta leder inte sällan till stelhet och värk i nacke och rygg. De monotona handrörelserna kan också leda till skador i händer och armar.

Hur stort problemet med belastningsskador är illustreras av följande statistik. Arbetsskador hos manliga arbetstagare i bygg- & anläggningsbranschen till följd av påfrestande arbetsställningar har ökat från 11,6 % 1998 till 16,5 % 2005 enligt Statistiska Centralbyråns statistik. Tendensen är en kraftig ökning fram till 2003 och därefter har andelen arbetstagare med besvär minskat något. Siffrorna säger inget om arbetsskador till följd av robotsprutning specifikt, men visar att belastningsskadorna är ett mycket stort problem för den enskilde arbetstagaren, byggbranschen och samhället. Referens (5).

Tunnelbyggen innebär ofta att resurser hämtas långt från arbetsplatsen. Många tunnelarbetare har lång färdväg till arbetet, och det innebär ofta att arbetet bedrivs i någon form av förlängda arbetsskift. I gengäld får man en längre sammanhängande ledighet. De långa skiften innebär möjligen att de ovan nämnda besvären förvärras. Om den längre ledigheten kan kompensera detta är ovisst.

Risken för skador av robotsprutning leder ofta till att en robotförare inte kan fortsätta med denna arbetsuppgift under lång tid. Omplacering till andra uppgifter eller i värsta fall

sjukskrivning och omskolning kan bli följden redan efter några år som robotförare. Med tanke på att utbildningen kan vara mycket kostnadskrävande så leder arbetsskadorna till en mycket hög kostnad för personalförsörjning samt brist på utbildad personal. Det senare orsakar kostnader genom kvalitetsproblem.

3 Målbeskrivning

Förbättringar i arbetsmiljön för robotförare och bättre kalkylerbara förutsättningar för sprutbetongarbeten är prioriterade frågor för Besab och kanske också för andra aktörer inom undermarksbyggande.

För att höja kvaliteten på sprutbetongarbeten och minska olägenheterna med arbetsskador, måste teknik som är till hjälp för robotföraren utvecklas. På grund av den oregelbundna och komplicerade formen på bergytan kan inte produktionen på ett enkelt sätt automatiseras. Industriell robotteknik som används för t ex sprutlackering är inte användbar i detta sammanhang.

Målet bör istället vara att låta tekniken sköta den del av betongsprutningen som är av enkel karaktär, medan de mera komplicerade ytorna även fortsättningsvis måste sprutas med manuell styrning. Under den automatiska delen av arbetet kan då robotföraren ägna sig åt att övervaka processen och slipper den höga anspänningen. Under de korta perioder som han måste utföra arbetet manuellt hinner förhoppningsvis skador inte att uppstå. Målet kan då formuleras:

Utveckla en ny teknik för bergförstärkning med sprutbetong som kan:

- Utföra huvuddelen av betongsprutningen automatiskt
- Utföra arbetet med hög och jämn kvalitet
- Ge bättre underlag för att bestämma betongåtgången
- Reducera betongförbrukningen
- Minska risken för arbetsrelaterade skador
- Sänka kostnaderna för bergförstärkning med sprutbetong

I denna rapport skall en metod för att lösa en del av dessa problem utvärderas.

4 Scanningteknik

4.1 Allmänt om laserteknik

Laser är en förkortning för ”Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation”, Laserljuset är enfärgat och innehåller alltså en specifik våglängd som beror av vilket grundämne eller mineral som används för att generera ljusvågorna.

Rubin (CrAlO_3) är ett vanligt ämne och det ger rött ljus med våglängden 694 nm (nanometer = 10^{-9} m). Laserljus är speciellt lämpligt för att mäta avstånd, som då blir en multipel av den aktuella våglängden. Eftersom våglängden är kort kan avståndet bestämmas mycket noggrant. Denna teknik används idag allmänt vid avståndsmätning t ex i byggnadssammanhang. I kombination med tidmätning kan hastighet bestämmas noggrant vilket utnyttjas av polisen för att fastställa hastighetsöverträdelser. Laserljuset innehåller relativt låga energimängder men kan koncentreras till en kraftig stråle så att det får penetrerande verkan i de flesta material. Referens (1).

Laser vidareutvecklades från upptäckten av Maser-tekniken av Townes, Basov och Prakharov under 1950-talet, och de fick dela Nobelpriset i fysik 1964 för sina insatser. Den första fungerande lasern byggdes dock av Maiman 1960. Referens (2).

Laser har idag en bred användning, varav den vanligaste är CD-spelare. Även laserskrivare och kopieringsmaskiner tillhör de vardagliga användningsområdena. Enkla avståndsmätare för privatbruk har blivit vanliga på senare år. Tekniken används också inom kirurgi speciellt ögonoperationer. Ett annat användningsområde är skärning och borrar i olika material med hög precision. Ljuseffekter i form av ljusspel är ytterligare ett exempel på laserteknikens möjligheter.

Laserscanning är en metod där avståndsmätning med laser används för att skapa en geometrisk bild av en yta. Genom att mäta avståndet till punkter med ett visst inbördes avstånd kan föremålets ytkontur beskrivas på ett effektivt sätt. Ju mindre avstånd mellan mätpunkterna ju högre upplösning får man. Laserscanning är en effektiv metod att beskriva en sprängd bergyta med sin mycket oregelbundna form. Metoden används idag för att kontrollera resultatet av sprängning och identifiering av trånga sektioner, utfall mm.

4.2 Utveckling av betongsprutning med scanning

4.2.1 Nya krav

Många har förstått vikten av att minska den mänskliga faktorns inverkan på resultatet vid betongsprutning. Kraven på en korrekt utförd sprutbetong ökar som en följd av ökade kvalitets- och säkerhetskrav. En dålig arbetsmiljö för de som utför arbetet kan i längden inte accepteras. Dessutom måste produkten sprutbetong på ett bättre sätt än tidigare bli ekonomiskt kalkylerbar. Detta problem och många andra har under senare år aktualiserats genom de strävanden att förbättra samarbetet mellan beställare och entreprenör som pågår inom projektet Förändringar I Anläggningsbranschen – FIA.

Nedan följer en kort överblick av den pågående utvecklingen av nya maskinella lösningar för att möta dessa krav.

4.2.2 Meyco

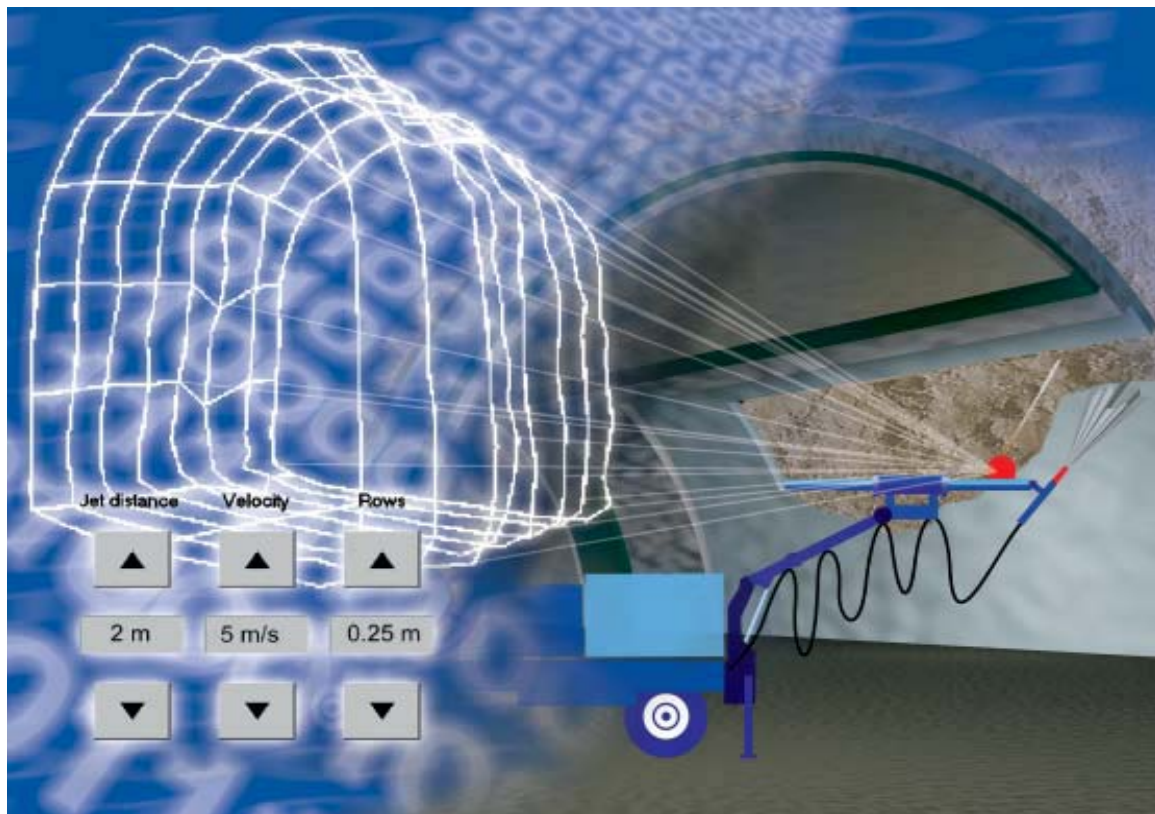
Det schweiziska företaget Meyco Equipment som numera ingår i BASF-gruppen, insåg tidigt att det behövdes tekniska hjälpmedel för att underlätta betongsprutning med hög och jämn kvalitet i bergtunnlar. Redan i slutet av 1980-talet började man utveckla en prototyp utrustad med scanningteknik. I mitten av 1990-talet presenterades den första Meyco Logica med scanningteknik. Den aktuella utrustningen har utvecklats ytterligare och har använts i produktion sedan ett par år. Figur 1 visar robotarmen med scanningutrustning och sprutmunstycke.



Figur 1. Detalj av robotarm på Meyco Logica. Scanningutrustningen är placerad strax till vänster om sprutmunstycket i bildens högra del.

I grova drag fungerar tekniken på följande sätt.

1. En laserscanner sveper över en viss yta i tunneln, figur 2. Ytan begränsas av den linjära stickan som används för att föra sprutmunstycket fram och tillbaka utmed ytan som skall sprutas. Stickan kan förflyttas i sidled så att en viss area täcks. Ytans begränsningspunkter bestäms i förväg av operatören. Mätpunkternas täthet kan väljas, och maximal upplösning är någon centimeter. Mätvärdena lagras och bearbetas i en kraftfull dator som kan beskriva relativa avstånd samt bergytans lutning genom att jämföra avståndet till närliggande mätpunkter.
2. Mätvärdena används därefter för att styra betongsprutningen. Med kunskap om aktuellt betongflöde och förväntat återslag kan munstyckets rörelse över ytan styras så att rätt mängd betong anbringas per ytenhet. Munstyckets avstånd och vinkel kan styras med hjälp av de bearbetade mätvärdena.
3. Efter utförd sprutning görs en ny scanning över ytan. Mätvärdena kan sedan jämföras och en bild av sprutresultatet kan presenteras där sprutbetongens tjocklek framgår i form av olika färger.



Figur 2. Bilden visar i princip hur scanning går till med Meyco Logica.

4.2.3 Aliva

Likaledes schweiziska Aliva ingår i Sika-gruppen och har ett samarbete med tyska Putzmeister när det gäller sprututrustning. Aliva utvecklar för närvarande hjälpmedel som använder scanningteknik i kombination med en robotarm där munstycket har fri rörlighet i alla riktningar. En sådan robotarm kräver mera datorkraft för att styra sprutmunstycket korrekt. Med denna teknik finns förutsättningar för en väl utförd sprutbetong även på ytor med stor lutning och stora bergutfall. Detta kan möjligen leda till att den automatiskt sprutade förstärkningen blir väl utförd på en större andel av bergytan med minskad tid för manuell bättring som följd. En prototyp kan möjligen presenteras under 2007.

4.2.4 Normet

Det finska företaget Normet Oy tillverkar sprutrobotar med konventionell styrning av munstycket. Enligt muntlig uppgift från tillverkaren har man för avsikt att utveckla ett system för automatisk sprutning. Hur långt detta arbete har fortskridit är inte bekant.

4.2.5 Övriga tillverkare

Det finns ytterligare några större och mindre tillverkare av sprutbetongutrustning. Bland dessa märks norska AMV, japanska Mitsubishi och Kuresawa (reservation för namnet) samt amerikanska Reed. Dessa företag har ingen färdig produkt på marknaden. Om dessa företag

har börjat utveckla teknik för automatisering av betongsprutning är inte känt för författaren i nuläget.

4.2.6 GHRR/RTC

Gällivare Hard Rock Research, GHRR numera Rock Tech Center, RTC har anknytning till Luleå Tekniska Universitet, LTU och LKAB samt stöds av Europeiska Unionens strukturfonder. GHRR/RTC leder och samordnar bergtekniska FoU-projekt samt arbetar med kompetensutveckling. Med GHRR/RTC som huvudman pågår ett projekt ”Snabbare och bättre tunneldrivning”. I detta projekt studeras alla moment i tunneldrivningen för att identifiera ”Best Available Technology - BAT”. Det övergripande projektmålet är:

- Färdig tunnel skall ha färre, och mindre omfattande, kvalitetsavvikelser än idag
- Drivningshastighet skall öka väsentligt
- De totala kostnaderna för tunneldrivning skall minska med minst 20 %

I projektet studeras bland annat ny teknik för bergförstärkning som innefattar betongsprutning. En målsättning är att specificera ändamålsenlig maskinutrustning. Projektet stöds av Banverket, Boliden, LKAB, SKB och GHRR. I en andra etapp som har påbörjats medverkar även NCC och Falconbridge. Etapp 2 pågår för närvarande och, etapp 3 som omfattar ett storskaligt försök utfördes under 2006. Projektet skall slutrapporteras under 2007. Referens (5).

5 Fältprov med robot utrustad med scanningteknik

5.1 Beskrivning av fältproven

En robotutrustning typ Meyco Logica demonstrerades i projekt Törnskogstunneln i december 2005. Demonstrationen gav ett positivt intryck och tekniken verkade intressant. Efter demonstrationen fanns ett stort antal frågor som tillverkaren inte kunde ge tillfredsställande svar på. Det beslutades då att genomföra en serie provsprutningar under realistiska förhållanden samt att utvärdera dessa.

Proven utfördes under fyra veckor i april 2006 som en del i verklig produktion i nämnda Törnskogstunneln.



Figur 3. Bilden är tagen vid en av provsprutningarna och visar sprutning på bultbrickor. Detta arbete kan inte utföras med hjälp av scanning.

5.2 Utvärdering av fältproven

5.2.1 Allmänt

Under den aktuella provperioden utfördes 19 olika provsprutningar. Den totala mängden sprutad betong var 212 m³. Total arbetstid på plats i tunneln var 65:23 timmar. Övrig tid har använts för väntetid att få komma in i tunneln, transport till och från arbetsstället och annat som inte skall påverka resultatet av detta försök. Att genomföra provsprutningar under pågående bergdrivning medför betydande praktiska problem. Flera av provsprutningarna kan inte användas för att utvärdera tekniken. Nio av provsprutningarna har valts ut för att utvärdera själva automatiken. I de övriga utgör scanning/sprutning < 25 % av den sammanlagda tiden. Anledningen till detta är flera:

- Manuell sprutning utfördes när sprutning var svår att utföra med automatik, t ex sprutning på bultskallar och dräner
- Störningar från fläkt tub eller annan installation i tunneln ledde till att scanning inte kunde användas
- Upprepade fel på scanningfunktionen under provperioden

- Ovan personal trots instruktion
- Tekniska fel på robotens övriga tekniska system
- Betongrelaterade fel

Samtliga prov redovisas i bilaga 1.

5.2.2 Sprutresultat

Där berget har stor lutning mot den parallella stickan på sprutroboten eller om lokal stora bergutfall förekommer, kan inte sprutmunstyckets position och vinkel ändras tillräckligt mycket och sprutbetongen träffar underlaget på ett ofördelaktigt sätt. Resultatet blir en för tunn sprutbetong och det kan också inverka menligt på vidhäftningen. På sådana ställen måste sprutningen bättras med manuellt styrd sprutning efteråt.

Ingen utökad provning har utförts på de områden som provsprutats, men de provningar som har gjorts på tjocklek och vidhäftning visar inga anmärkningsvärda skillnader jämfört med förstärkning som utförts med konventionell teknik. Det var heller inte väntat att dessa egenskaper skulle förändras på något avgörande sätt.

5.2.3 Ekonomi

Produktivitet

Av totalt 19 provsprutningar har tio stycken utförts till minst 75 % med manuell styrning av robotens rörelser. Dessa avser framförallt sprutning på dräner där automatiken visar sig svår att använda. De provsprutningar som avser bergförstärkning och som har utförts med scanning och automatisk sprutning till minst 25 % visar fördelning av tiden enligt tabell 1. Under rubriken ”Annat” har all manuell sprutning registrerats. Det gäller såväl kompletteringar efter scanning och automatisk sprutning som sprutning som gjorts utan scanning.

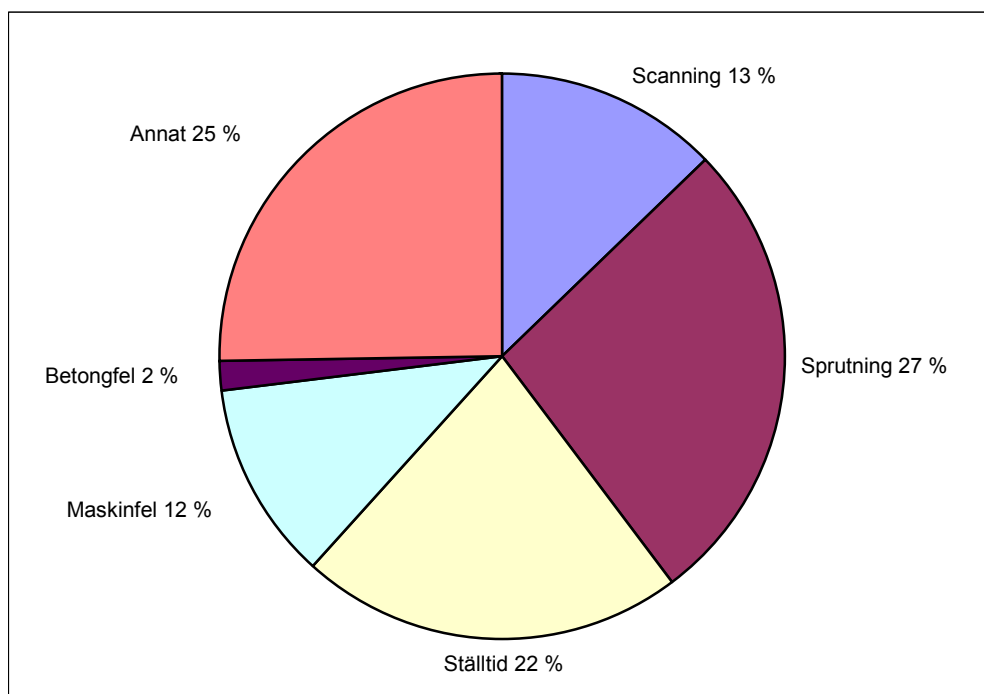
Prov	Scanning tt:mm	Sprutning tt:mm	Ställtid tt:mm	Maskinfel tt:mm	Betongfel tt:mm	Annat tt:mm	Total tt:mm	Anmärkning
P1	0:05	0:50	1:55	0:00	0:00	0:00	2:50	1 lass
P2	0:15	0:20	0:00	0:55	0:25	0:00	1:55	
P3	0:20	0:40	1:55	0:20	0:00	0:40	3:55	
P5	1:10	1:35	2:15	0:15	0:00	1:45	7:00	
P6	1:05	1:10	0:35	0:05	0:00	2:55	5:50	
P8	0:30	1:00	0:15	1:10	0:00	1:05	4:00	
P12	0:10	1:05	0:20	0:10	0:10	0:35	2:30	
P17	0:40	2:22	0:30	0:00	0:00	0:59	4:31	
P19	0:25	1:00	0:17	1:20	0:00	1:20	4:22	
Summa	4:40	10:02	8:02	4:15	0:35	9:19	36:53	
%	13 %	27%	22%	12%	2 %	25%	100%	

Tabell 1. Tidfördelning för de nio provsprutningar som har utförts med automatisk sprutning till minst 25 %.

Nedan förklaras vad rubrikerna i de olika kolumnerna står för.

- Scanning är den tid som det tar för utrustningen att mäta in berget och lagra informationen i minnet.
- Sprutning avser den betongsprutning som utförs automatiskt med stöd av scannade mätdata.
- Ställtid är ”produktiv tid” som innefattar uppställning och flytt av utrustningen på arbetsstället. Tid som åtgår för att transportera maskinen till och från arbetsstället har inte tagits med, inte heller raster mm.
- Maskinfel är tid som åtgått för att konstatera och eventuellt reparera fel i utrustningen. Fel på scanningutrustning som inte kunnat repareras på plats har oftast lett till att sprutningen har utförts manuellt istället.
- Betongfel avser betongleverans som lett till störning i sprutningen.
- Annat är i hög utsträckning manuell sprutning som utförts när scanning inte kunnat användas på grund av tekniskt fel eller komplicerad sprutning t ex på bultskallar eller dräner.

I figur 3 visas tidfördelningen på ett mera överskådligt sätt.



Figur4. Tidfördelning för de nio provsprutningar som har utförts med automatisk sprutning till minst 25 %.

Scanning av en bergyta tar några minuter innan sprutningen kan börja. Själva sprutningen av den scannade ytan kan därefter utföras mycket snabbt. Robotens dator klarar att styra robotarmens rörelser, även när betongpumpen är inställd på hög matning (>13 m³/h), utan att resultatet äventyras. Efter sprutningen görs en ny scanning, varefter manuell komplettering behöver utföras. Sammantaget ökar produktiviteten något men i praktisk användning har skillnaden liten betydelse.

Betongmängd

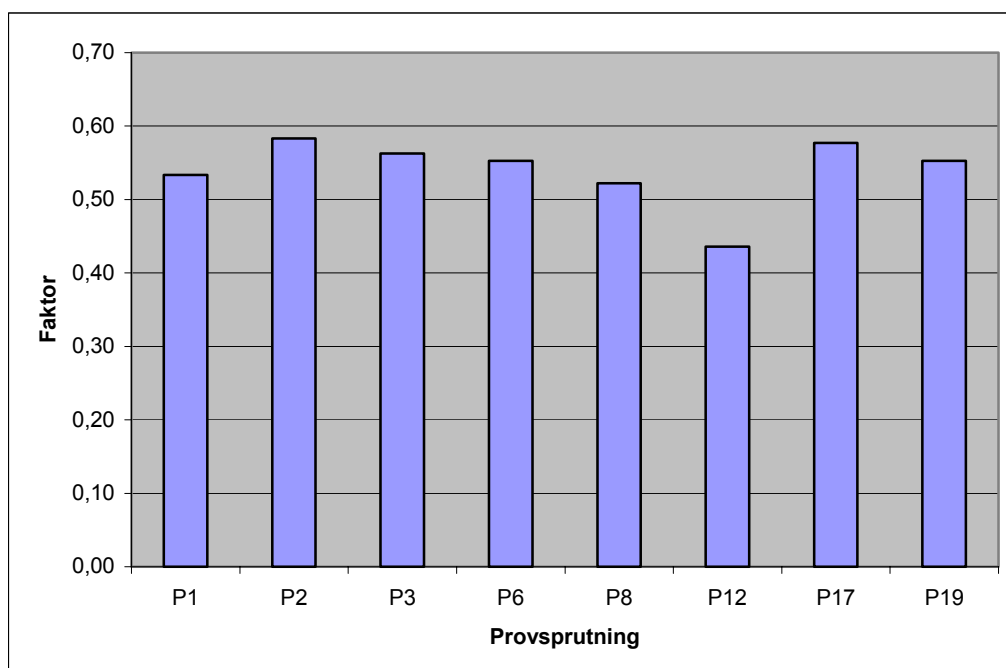
Betongmängden som fordras för att utföra en korrekt förstärkning kan förväntas minska när scanningteknik används. De utförda proven visar dock inte på någon säker reduktion av betongmängderna. Detta kan delvis bero på att provserien omfattade för få delprov. Inledningsvis ägnades en del möda åt att ställa in utrustningen för att ge lämplig tjocklek.

Man kan definiera sprutresultatet som den andel av levererad betong som resulterar i teoretisk uppmätt förstärkning. Nedan kallas denna faktor för effektivitetsfaktor.

$$E = V_{\text{teor}}/V_{\text{lev}}$$

där E Effektivitetsfaktor
V_{teor} Teoretisk uppmätt volym (vam³)
V_{lev} Levererad betong (m³)

Av de provsprutningar där minst 25 % av den totala tiden, rensad från störningar som beror av betongen, utfördes med automatik såg mängdfördelningen ut enligt följande. Genomsnittet för dessa åtta provsprutningar är 0,54 vilket är något lägre än motsvarande siffra för sprutning med konventionell utrustning under liknande förhållanden. Osäkerheten i siffrorna är dock stor, bland annat beroende på att de utförda provsprutningarna utgör små volymer och att repetitionseffekten är låg. Varje ny sprutning innebär att utrustningen måste ställas in på nytt.



Figur 5. Effektivitetsfaktor för åtta provsprutningar.

Effektivitetsfaktorn påverkas av mätregeln som säger att teoretisk yta skall mätas, den sprängda bergytans kontur, återslag och tjockleksvariationer. Av de utförda provsprutningarna kan ingen entydig slutsats dras när det gäller betongåtgång. Detta kan delvis bero på att de sprutade ytorna är relativt små, och det blir ett visst svinn när många mindre ytor sprutas jämfört med en stor sammanhängande yta. Sprutning med automatik ger mindre tjockleksvariationer än manuell sprutning, men relativt många bättringar där skiktjockleken blivit otillräcklig försämrar slutresultatet. Omfattningen av kompletteringssprutningen beror av flera faktorer:

- Bergytans struktur som beror av bergets naturliga sprickmönster och sprängningsutförande.
- Robotarmens rörelsemönster och begränsningar.

Den automatiska sprutningen kan utföras med högre kapacitet jämfört med manuell sprutning vilket medför att tidsåtgången för samma mängd förstärkning blir mindre om automatik används. Det kan alltså vara missvisande att jämföra tiden för automatisk sprutning med tiden för manuell sprutning. Om man tar med tid för scanning före och efter sprutning blir dock kapacitetsförbättringen mindre och betyder inte så mycket i praktiken. Det är också sannolikt så att ställtiderna blir något mer omfattande för sprutning med scanning.

5.2.4 Arbetsmiljö

När roboten körs med automatik blir arbetet för robotföraren mindre ansträngande, eftersom han då endast övervakar att systemen fungerar, planerar arbetet samt håller ordning på logistiken med betongleveranser mm. Komplettering måste dock utföras med manuell styrning av roboten. Ju mer automatisk sprutning och ju mindre manuella kompletteringar desto bättre blir arbetsmiljön för robotföraren. Även en liten andel automatisk sprutning ger alltså klara förbättringar när det gäller risk för belastningsskador mm. Vid sprutning av stora sammanhängande ytor kommer förbättringen sannolikt att vara mera påtaglig än de utförda provsprutningarna visar.

6 Slutsatser

I vilken grad kan tekniken med laserscanning medverka till att uppfylla de mål som har formulerats i kapitel 3?

- Utföra huvuddelen av betongsprutningen automatiskt

Svar: Nej, i detta utförande når man inte detta högt ställda mål.

- Utföra arbetet med hög och jämn kvalitet

Svar: Ja, när scanning och automatisk sprutning används, så blir resultatet en jämn tjocklek och med bibehållet god vidhäftning och andra tekniska egenskaper.

- Ge bättre underlag för att bestämma betongåtgången

Svar: Ja, det är högst sannolikt att scanningtekniken ger bättre kalkylunderlag för bergförstärkning. Provsprutningarna avser många små ytor och med olika karaktär. Under dessa förutsättningar kan inte tekniken göras rättvisa.

- Reducera betongförbrukningen

Svar: Nej, det är inte bevisat att scanningteknik skulle ge en mindre betongåtgång. Den manuella bättringen innebär att vinsten från den automatiska sprutningen försvinner. Det krävs antagligen någon förändring av kraven för att det skall vara möjligt att utnyttja metodens fördelar i detta avseende.

- Minska risken för arbetsrelaterade skador

Svar: Ja, alla moment som kan utföras utan manuell styrning av robotarmen ger en förbättrad arbetsmiljö. Det är dock önskvärt att öka andelen automatisk sprutning

- Sänka kostnaderna för bergförstärkning med sprutbetong

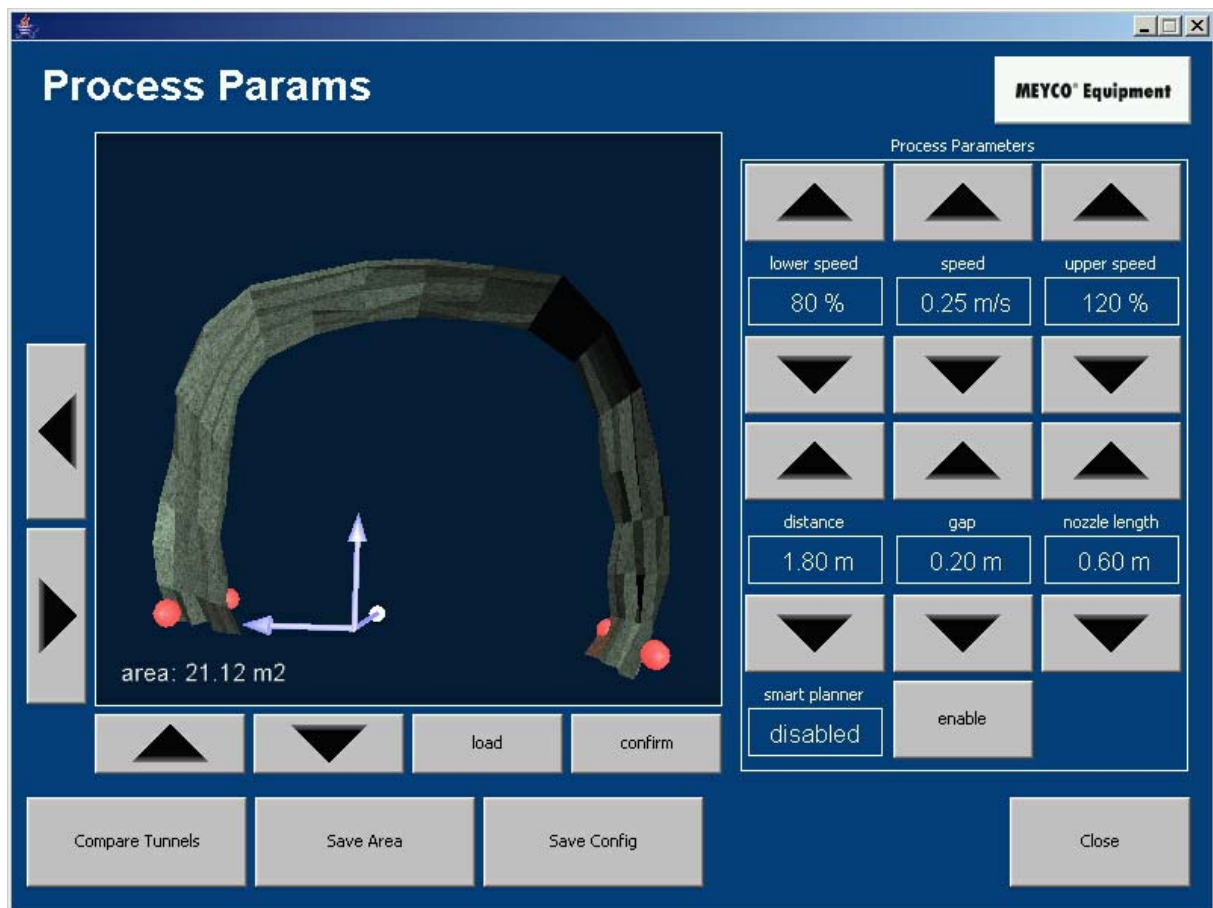
Svar: Om man väger samman alla parametrar som investeringskostnad, betongåtgång, produktivitet, arbetsskador och personalrekrytering så blir det sannolikt en lägre totalkostnad. Studien kan inte ge svar på hur stor reduktionen kan bli.

Betongsprutning med hjälp av scanning ger stora fördelar när det gäller arbetsmiljö. En förutsättning är dock att tekniken möjliggör automatisk sprutning i högre utsträckning än som varit möjligt under de genomförda provsprutningarna. Problemen med låg utnyttjandegrad under provsprutningsperioden har sina orsaker i dels förstärkningens karaktär – främst insprutning av bultar och dräninsprutning.

Bristande tillförlitlighet har också spelat en viktig roll för resultatet av de genomförda provsprutningarna. Det har framförallt varit mjukvarufel som lett till att flera sprutningar fått utföras manuellt. Den elektroniska hårdvaran verkar vara av hög klass, med bra knappar och display. Se figur 6. Denna utrustning sitter också placerad så att det inte onödigtvis skall utsättas för betongsprut och återstuds. Ett kompressorfel ledde till att provserien fick avbrytas något tidigare än beräknat. De mekaniska delarna verkar annars vara robusta och väl skyddade och har inte lett till några driftstörningar.

Produktiviteten kan förbättras med scanningteknik. Det gäller framförallt vid stora ytor som skall förstärkas med samma skiktjocklek, och där repetitionseffekten är hög. Vid mindre ytor och förändringar i skiktjockleken, förtas en del av effekten genom att inställning och kalibrering tar mycket tid.

Manuell komplettering är oundviklig och med dagens tillämpning av mätreglerna blir konsekvensen att bättringssprutning kanske måste utföras i alltför hög utsträckning. Med ökad kunskap om sprutbetongförstärkningens funktion kan möjligen detta moment reduceras. Då skulle även produktiviteten kunna öka väsentligt, och totalkostnaden reduceras avsevärt.



Figur 6. Bilden visar tangentbord för styrning av scanning samt display som visar resultatet.

7 Diskussion

Scanning medger mycket noggrann bestämning av bergytan före sprutning och betongens yta efter sprutning. Dessa uppgifter kan användas för att bestämma sprutbetongens skiktjocklek med god noggrannhet. Då blir tjockleksmätningen heltäckande och inte som tidigare grundad på stickprov.

Design av bergförstärkning har hittills utförts med ett stort inslag av erfarenhetsanpassning. Nya Europanormer kräver i framtiden att bergförstärkning skall bygga på sannolikhetsbaserad dimensionering med karakteristiska värden på hållfasthet och tjocklekar. Variationerna i skiktjocklek antas följa en normalfördelning. En minskad spridning i skiktjocklek innebär att standardavvikelsen minskar. Det kan betyda att den erforderliga mängden sprutbetong för att uppfylla kvalitetskraven kan reduceras. För att detta skall kunna användas för att optimera förstärkningen, måste mätregler och mätstandard och dess tillämpning ses över och anpassas. Se Stille och Holmberg, referens (3).

Den största vinsten av robotsprutning med stöd av scanning är utan tvekan relaterade till arbetsmiljön. En stor fördel är att robotförare kan arbeta längre tid i yrket. Det är viktigt att ta vara på dessa personers erfarenhet och rutin. För att förbättringen av arbetsmiljön genom användning av scanningtekniken, skall bli så effektiv som möjligt krävs att robotföraren har bra utbildning så att denne kan utföra kompletterande sprutning på relativt kort tid och med

minsta möjliga avvikelser. Sådan utbildning omfattar förutom teoretiska kunskaper i bergförstärkning och maskinkännedom en stor mängd praktisk träning. Övningsmomentet är mycket kostsamt eftersom det idag måste utföras i en verklig tunnel och med förbrukning av stora mängder betong.

8 Förslag till fortsatt utveckling

Förutom åtgärder som gör själva roboten med alla tekniska system mera robust och tillförlitlig, så kan några andra åtgärder vara befogade. För att tekniken med scanning och automatisk sprutning skall medföra de positiva effekterna som den antagligen förtjänar, så måste konservativa dimensioneringsmetoder och normer ifrågasättas. Författarens förslag till fortsatt utveckling av teknik som ger förbättrad arbetsmiljö, jämnare sprutresultat och bättre totalekonomi kan sammanfattas i följande punkter.

- **Utredning av vidhäftande sprutbetongs bärförmåga.**
I verkligheten har en sprutbetongförstärkning, på grund av bergytans oregelbundna form, genom valvverkan och inspänning, betydligt högre bärförmåga än en enkel statisk betraktelse ger. Detta har tidigare visats för bergförankrad och fiberarmerad sprutbetong av Ulf Nilsson, referens (4). En kompletterande studie av vidhäftande sprutbetongförstärknings samverkan med berget i form av en tryckt båge skulle vara värdefullt. Det skulle kunna leda till ett annorlunda synsätt på sprutbetongens tjockleksvariationer, och kan möjligen bidra till att de naturliga tjockleksvariationerna, som ger större skiktjocklek i svackor och mindre på toppar, blir accepterad som statistiskt riktig.
- **Tillämpning av statistiska metoder för att verifiera sprutbetongförstärknings bärförmåga.**
Stille och Holmberg, referens (3), har visat att en bättre kontroll av sprutbetongens skiktjocklek och en mindre spridning kan användas för att verifiera bärförmåga hos en sprutbetongförstärkning. Möjligen kan reducerade avvikelser från den teoretiska tunnelkonturen verka i samma riktning. Metoden skulle kunna ge billigare och säkrare tunnlar. Det behövs ett klarläggande och eventuellt en kompletterande utredning för att kunna tillämpa detta i praktiskt byggande.
- **Utveckling av simulator.**
För att kunna dra maximal nytta av scanning måste robotföraren ha en bra utbildning. En väl fungerande simulator skulle vara ett mycket användbart hjälpmedel vid utbildning av robotförare. En simulator är en utrustning som, med datastöd och visualiseringsteknisk utrustning som Virtual Reality, kan efterlikna en verklig sprutsituation. Det bör vara möjligt att kontrollera sprutresultatet med teknikens hjälp. Betongsprutning med hjälp av simulator skulle då kunna användas i ett inledande skede av utbildningen. Detta skulle reducera kostnaden för utbildning av robotförare kraftigt genom besparing i material, dubbelbemanning och minskade kvalitetsfelkostnader under övningsperioden. Tekniken skulle också kunna användas för inläring av ny utrustning och som fortlöpande träning av utbildad personal för att öka färdigheten.

9 Referenser

- (1) <http://science.howstuffworks.com/laser>
- (2) <http://nobelprize.org/educational>
- (3) Stille, H; Holmberg, M, ”En tillämpning av Bayesiansk statistik för kontroll av tjockleken på sprutbetongförstärkning”. Bergmekanikdagen, Stockholm 2006.
- (4) Nilsson, Ulf, ”Structural behaviour of fibre reinforced sprayed concrete anchored in rock”. KTH, Stockholm 2003.
- (5) <http://ghrr.nu/>
- (6) <http://scb.se/>

10 Bilagor

Bilaga 1	Sammanställning av alla Provsprutningar
Bilaga 2	Tidfördelning för Provsprutningar med minst 25 % automatisk sprutning
Bilaga 3	Effektivitetsfaktor för Provsprutningar med minst 25 % automatisk sprutning
Bilaga 4-22	Sammanställning av Provsprutning P1-P19

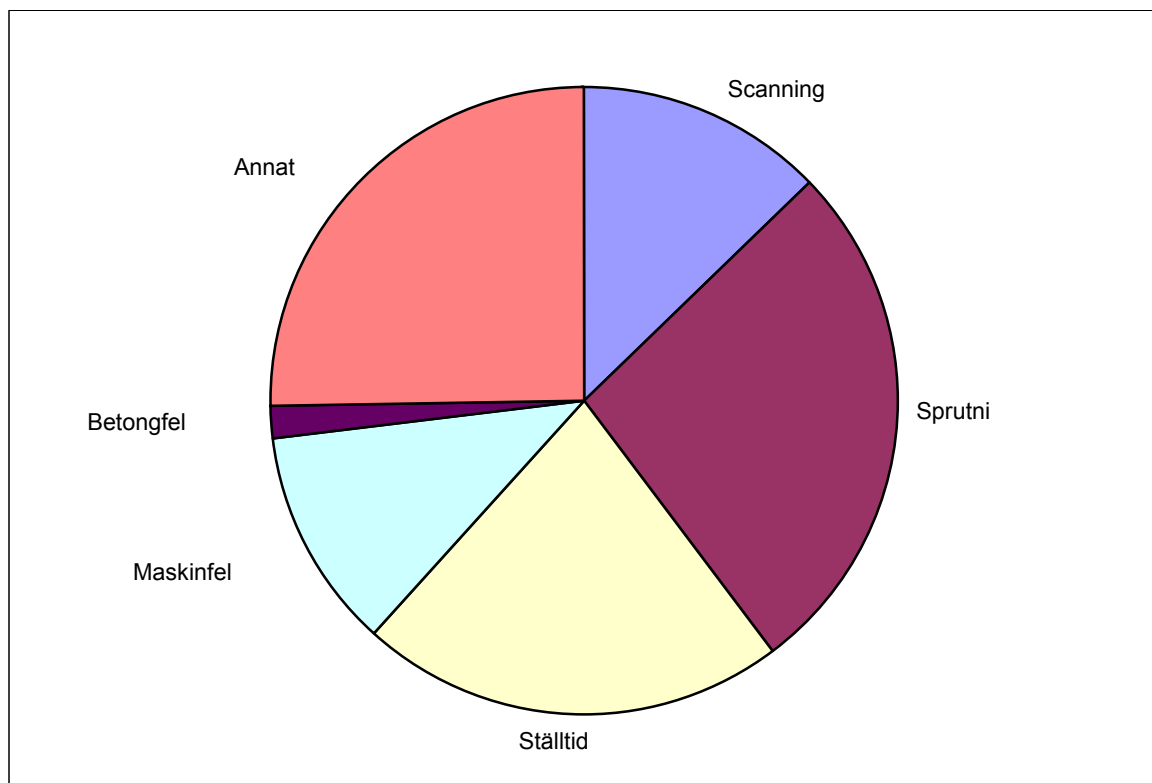
Sammanställning av alla Provsprutningar

A	B	C	D	E	F	G	H	I
Prov- sprutning	Scanning tt:mm	Sprutning tt:mm	Ställtid tt:mm	Maskinfel tt:mm	Betongfel tt:mm	Annat tt:mm	Total tt:mm	Mängd m³
P1	0:05	0:50	1:55	0:00	0:00	0:00	2:50	6,0
P2	0:15	0:20	0:00	0:55	0:25	0:00	1:55	1,5
P3	0:20	0:40	1:55	0:20	0:00	0:40	3:55	8,0
P4	0:10	0:10	0:00	0:40	0:00	2:10	3:10	12,0
P5	1:10	1:35	2:15	0:15	0:00	1:45	7:00	16,0
P6	1:05	1:10	0:35	0:05	0:00	2:55	5:50	14,5
P7	0:00	0:00	2:45	0:00	0:00	4:05	6:50	27,0
P8	0:30	1:00	0:15	1:10	0:00	1:05	4:00	8,5
P9	0:00	0:00	1:25	0:00	0:00	2:15	3:40	6,0
P10	0:00	0:00	0:30	0:00	0:00	0:35	1:05	3,0
P11	0:00	0:00	0:00	0:05	0:00	2:00	2:05	11,5
P12	0:10	1:05	0:20	0:10	0:10	0:35	2:30	11,5
P13	0:20	0:35	0:50	0:50	0:00	1:50	4:25	17,5
P14	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:40	0:40	4,5
P15	0:00	0:00	0:20	0:00	0:00	2:05	2:25	11,5
P16	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:45	0:45	3,5
P17	0:40	2:22	0:30	0:00	0:00	0:59	4:31	23,0
P18	0:00	0:00	0:32	0:52	0:00	2:01	3:25	13,5
P19	0:25	1:00	0:17	1:20	0:00	1:20	4:22	13,0
Summa	5:10	10:47	14:24	6:42	0:35	27:45	65:23	212,0
%	8%	16%	22%	10%	1%	42%	100%	

Tidfördelning för Provsprutningar med minst 25 % automatisk sprutning

Prov	Scanning tt:mm	Sprutning tt:mm	Ställtid tt:mm	Maskinfel tt:mm	Betongfel tt:mm	Annat tt:mm	Total tt:mm	Anmärkning
P1	0:05	0:50	1:55	0:00	0:00	0:00	2:50	1 lass
P2	0:15	0:20	0:00	0:55	0:25	0:00	1:55	
P3	0:20	0:40	1:55	0:20	0:00	0:40	3:55	
P5	1:10	1:35	2:15	0:15	0:00	1:45	7:00	
P6	1:05	1:10	0:35	0:05	0:00	2:55	5:50	
P8	0:30	1:00	0:15	1:10	0:00	1:05	4:00	
P12	0:10	1:05	0:20	0:10	0:10	0:35	2:30	
P17	0:40	2:22	0:30	0:00	0:00	0:59	4:31	
P19	0:25	1:00	0:17	1:20	0:00	1:20	4:22	
Summa	4:40	10:02	8:02	4:15	0:35	9:19	36:53	
%	13%	27%	22%	12%	2%	25%	100%	

Scanning och sprutning utgör av totaltiden, minst 25%



Effektivitetsfaktor för Provsprutningar med minst 25 % automatisk sprutning

Prov	Mängd m ³	Teor. Volym m ³	Eff. Volym
P1	6,0	3,20	0,53
P2	1,5	0,88	0,58
P3	8,0	4,50	0,56
P6	14,5	8,01	0,55
P8	8,5	4,44	0,52
P12	11,5	5,01	0,44
P17	23,0	13,28	0,58
P19	13,0	7,19	0,55
Summa %	86,0	46,50	0,54

Scanning och sprutning utgör av totaltiden, minst 25%

