

RAPPORT

Bergdrivning i vibrations- och kastkänsliga områden med gasgenerator

SBUF rapport nr 12492



Sammanfattning

Vid bergdrivning i storstadsmiljö samt i andra områden där vibrationer och kast vid sprängningsarbeten anses utgöra ett problem finns för både Entreprenörer och Beställare ett utvecklingsbehov av alternativa produkter att använda.

Veidekke har tillsammans med KirsaNova Rock Engineering utfört tester med Gasgeneratoren, en produkt utvecklad av KirsaNova Rock Engineering. Gasgeneratoren är en patenterad produkt som är framtagen för att skonsamt kunna utföra spräckning av berg/betong vilket ger upphov till minimerad sprickbildning samt lägre vibrationer och kast.

Fältproverna utfördes mellan december 2010 och februari 2011 på Veidekkes projekt Tvärbanan deletapp 1, i Alvik väster om Stockholm. Totalt utfördes 6st tester under 4 fältförsöksdagar. Strossning i tunnelvägg och även en kilmodell provades för att utvärdera olika användningsområden och möjligheter för spräckning med Gasgeneratoren.

Fältproven gav varierande resultat. Två försök upplevdes som lyckade, två som misslyckade och två som resultatmässigt placerar sig någonstans mitt emellan.

Rekommendationerna efter försöken är att fler fältprover behöver utföras för att kunna utvärdera och säkerställa produktens framtida potential. Utvecklingspotential finns inom framtagande av en billigare och mer driftsäker produkt samt anpassning till en snabbare applikation vid bergdrivning.

Innehållsförteckning

Bakgrund	1
Syfte.....	1
Potentiella framtida användningsområden	1
Målbeskrivning	1
Ingående produkter.....	2
Utförande	3
Provplats.....	3
Beskrivning av område för test	3
Fältprover	4
Spräckningstest 1, 2010-12-03, strossning.....	4
Spräckningstest 2, 2011-01-13, strossning.....	5
Spräckningstest 3, 2011-02-02, kilförsök	6
Spräckningstest 4, 2011-02-15, kilförsök	7
Utvärdering.....	7
Slutsatser och rekommendationer.....	13
Referenser	14

Bakgrund

De senaste åren har frågor om vibrationspåverkan på omgivande konstruktioner och luftföroreningar i samband med sprängarbeten ovan och under jord blivit extra aktuella. Den patenterade gasgeneratoren, framtagen av KirsaNova RockEngineering, för klyvning av berg/sten/betong erbjuder en lösning på vibrations- och kastrelaterade problem eftersom den minimerar sprickbildning samt bidrar till att skapa bättre luftmiljöer. Gasgeneratoren kan vara en fördel att använda vid hårda krav på ovanstående frågor och kan sannolikt användas i tätbebyggelse vid kontursprängning i tunneldrivning samt vid öppnande av tunnelfronter.

Syfte

Syftet med att utföra dessa fältprover är att utreda gasgeneratorns potential för framtida kontrollerade skjutningar/spräckningar vilket skulle kunna medföra, för både Beställare och Entreprenör, en säkrare och mer tillförlitlig bergschakt vid komplicerade förskärningar, genomslag eller i vibrationskänsliga områden.

Potentiella framtida användningsområden

1. I förskärningar och de första salvorna i en tunnel, där täckning är ett absolut krav för att undvika kast, är en mer kontrollerad bergschakt önskvärd och gasgeneratoren skulle kunna vara ett bra alternativ. Täckning utgör idag en stor kostnad vad gäller tid och risken att täckningen inte är 100 % -ig finns alltid. En otillräcklig täckning innebär en stor risk för 3:e man inklusive vår egen personal samt även materiella skador kan uppkomma.
2. Vid genomslag kan vid användande av Gasgeneratoren liknande vinster göras som för ovan beskrivna redogörelse. Behov av täckning borde minska drastiskt samtidigt som risker för 3:e man minskar. Spräckning av berg borde kunna utföras dygnet runt vilket ökar möjligheter att driva snabbare. (Vid konventionell sprängning finns ofta specificerade skjuttider definierade, t.ex. kl. 10:00 och 14:00)
3. I vibrationskänsliga områden kan Gasgeneratoren visa sig betydelsefull och även här innebära att drivning kan ske dygnet runt istället för på specifika tider. Entreprenören och Beställaren kan även känna sig säkrare då vibrationerna inte kommer att innebära något större problem.

Målbeskrivning

Målet med dessa fältförsök är att utvärdera gasgeneratorns potential för användning vid genomslaget från den nya tvärbanetunneln mot Tvärbanan i Alvik samt för framtida förskärningar, genomslag till omliggande kritiska ytor samt vibrationskänsliga områden.

Ingående produkter

Gasgeneratoren ser ut som på bilden nedan. Den består av ett platsrör som innefattar de ingående komponenter som behövs för spräckningen. I botten av röret placeras ett plastlock för att hindra att komponenterna glider ur. På toppen så placeras en specialtillverkad tändhatt som vid appliceringen ”klickas” fast för att försäkra sig att tändmekanismerna får kontakt med materialen för spräckning. Från tändhatten utgår en tändtråd. För att försäkra sig om att inget vatten tränger in kan man täta skarvarna mellan röret och locken med kit eller likvärdigt material. Storleken på rören varierar med styrkan på gasgeneratoren. Normalt används gasgeneratoren i storlekarna 50 gram, 90 gram och 120 gram. Diametrarna kan variera men för dessa försök så användes gasgeneratorer med en diameter på 25 mm.

De ingående komponenterna samt recepten kommer inte att redovisas till fullo i denna rapport då de är viktiga för KirsaNova RockEngineerings fortsatta konkurrenskraft. Huvudkomponenterna är dock natriumklorat och plast. En liten mängd diesel kan tillföras natriumkloratet i gasgeneratoren vid arbeten med berg med mycket hög densitet/fasthet eller många sprickor. Detta medför enligt leverantören att koncentrationen av hälsofarliga restprodukter kan hållas väligt låga vid jämförelse med gällande hälso- och miljönormer. Utredningar av restprodukterna har utförts, enligt KirsaNova RockEngineering, av oberoende institut på *Forskarinstitut för Hälso- och Arbetsmiljö* i Sankt Petersburg, Ryssland. Ingen analys av restprodukter utfördes under dessa försök.

Vid genomförandet av dessa försök skedde packningen mellan gasgeneratorerna i hålen med hjälp av färdigpreparerade sandkorvar med en diameter på 25 mm.

Låsningen i hålen fyllda av gasgeneratorer och sandkorvar utgjordes av specialtillverkade träkilar som slogs fast i hålmynningen med hammare.



(Bild tillhör KirsaNova RockEngineering)

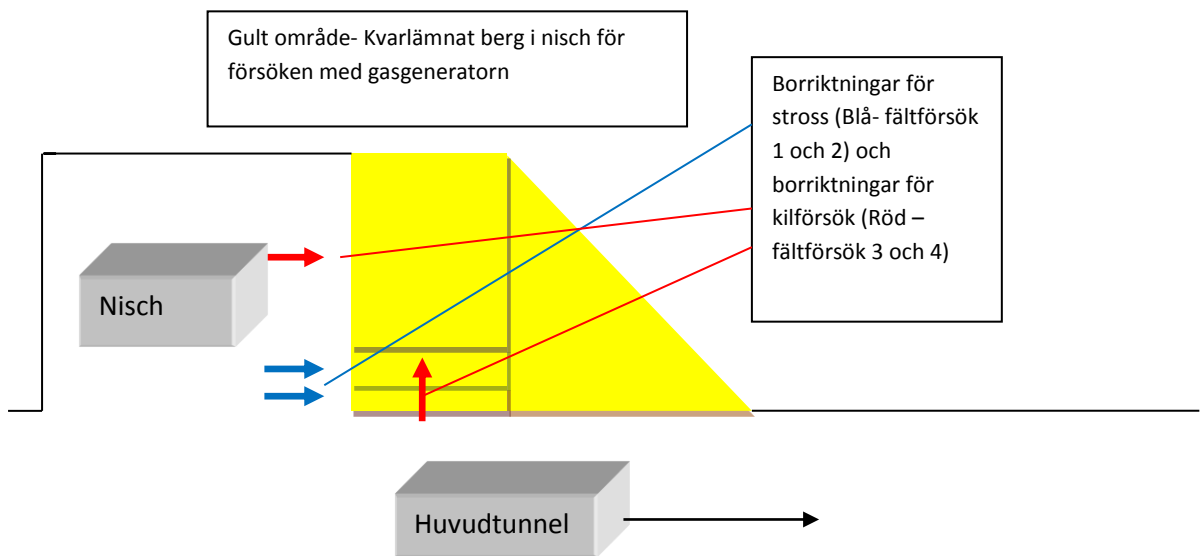
Utförande

Provplats

Det testområde som valdes var Veidekkes arbetsplats på Tvärbanan Etapp 1 i tunneln som leder mellan Alvik och Margretelund.

Beskrivning av område för test

En del av en nisch i tunneln valdes ut som provplats och innebar att försöken med gasgeneratoren kunde pågå ostört och inte påverka framdriften av huvudtunneln, som låg på kritisk linje i projektet. Nischen var placerad ca 300 meter innanför mynningen och nedan visas en skiss på provområdet. De blå pilarna redovisar strossförsöken och de röda kilförsöken.



Planritning av nisch område (Ej skalenlig)

Fältprover

Spräckningstest 1, 2010-12-03, strossning

Utförande:

Veidekkes personal laddade hålen efter instruktioner och arbetsledning från KirsaNova RockEngineerings representanter. KirsaNova RockEngineering har tidigare gjort ett test med endast 2 fria ytor. De följande spräckningstesterna gav KirsaNova RockEngineering möjlighet att justera sprängtabellen som var anpassad för spräckning med 3 fria ytor samt berg med mindre densitet.

Detaljerade uppgifter om bergets egenskaper såsom fasthet, dragkrafter etc. var ej kända men känslan hos Veidekke var att berget i aktuellt område var extremt bra och hårt med Q-värdet uppskattat till högre än 10. Några få sprickor kunde skönjas mellan borrhålen.

Borrhålens djup var ca 3m, borrade av en mindre pallrigg med en håldiameter på 32 mm. Generellt var avstånden mellan borrhålen ojämna, varierande mellan 40cm och 60cm, samt olika riktade och vinklade. Detta i kombination med avsaknaden av uppgifter om bergets egenskaper försvårade beräkningen av de optimala laddningsvikterna, som i detta fall borde varit olika för varje hål.

Två gasgeneratorer användes i varje borrhål: 90 gram och 50 gram. Sandpackning utfördes upp till hålets mynning. Inga träpluggar slogs fast i mynningarna på hålen för att låsa laddningen eftersom detta normalt inte skall krävas enligt Kirsa Nova Rock Engineering när avståndet mellan gasgeneratorn och hålets mynning är större än eller lika med 1,5m.

Resultat:

Vid upptändning flög sandkorvar med pappersomslag ut ur hålen med ett resultat som kan sammanfattas som en lätt ”fyrverkerieffekt”. Pappersomslag på sandkorvarna som hamnade på marken var obrutna, vilket tyder på att de satt löst i borrhålen. Förmodligen hade sandkorvarna i borrhålen packats för löst.

Slutsatser:

- 1) Kvalitativ borring är av stor vikt. Avvikelser från borrplanen kan eller skall inte vara så kraftiga som under detta försök eftersom förfarandet försvårades för mycket.
- 2) Kännedom av och uppgifter om bergets egenskaper är av stor vikt. Detta eftersom borrplanen och val av laddningsvikter måste göras utifrån bergets egenskaper.
- 3) Att packningen utförts noggrant är av stor vikt, energin skall riktas mot berget och inte ut ur borrhålet.

Spräckningstest 2, 2011-01-13, strossning

Utförande:

Personal från Kirsa Nova RockEngineering utförde hela laddningsarbetet på egen hand. Veidekke bistod med att köra skylift samt att assistera med handräckning.

Bergets egenskaper är som i det tidigare försöket okända men eftersom samtliga prov utfördes vid samma plats har de heller inte förändrats. I detta försök användes träpluggar i hålmynningarna vid samtliga 3 omgångar.

Försök 1 – Testsprängning/spräckning av ett mindre objekt med 4st hål på ca 3m (3st hål med ca 60cm avstånd + 1st hål på 120 cm avstånd för att hålet däremellan hade borrats ut genom sidan av väggen). Hålen laddades med 1st gasgenerator på 120g i botten och 1st på 90g i mitten. Laddkoncentrationerna har således ökats från föregående försök.

Resultat av försök 1: En liten bortklyvning skedde i botten av hålen och en svag låga gick genom en av sprickorna som skapades under föregående försök i december. Slutsatsen var att hålavstånden på 60cm var för stora och laddvikterna ansågs vara för små.

Försök 2 – 6st borrhål på ca 3m laddades. Avstånden mellan hålen fortfarande ca 60cm. Laddningarna ökades ytterligare, nu användes 3st gasgeneratorer på 120 gram/st i varje hål. Hålen pluggades med träplugg.

Resultat av försök 2: Sandpackning med träplugg blev kvar i hålen. En större bit klövs bort. Lågan och gaserna gick genom sprickor som uppkommit under de tidigare försöken, vilket tog bort effekten av den ökade laddningen.

Försök 3 – 5st borrhål på ca 3m i längd laddades. Avståndet mellan hålen ca 50-60cm. Borrhålen laddades med 4st gasgeneratorer i varje hål: 120g i botten, därefter 90g, sedan 90g igen och avslutningsvis 120g placerad ca 1,5m innanför hålens mynning. Dieselmängden ökades också till 2,5ml för 90-grammare och 3ml för 120-grammare, en ökning på 1,5ml mot det vanliga förfarandet.

Resultat: Bra bortklyvning av berget. Ett litet kast (2-3m) av bergmassorna sker. Någon enstaka gasgenerator brinner en kort stund efter spräckningen, vilket tyder på för kraftig laddning. Där berget inte klövs bort bildades istället sprickor tillräckligt stora för att berget senare lätt kunde tas ned genom skrotning.

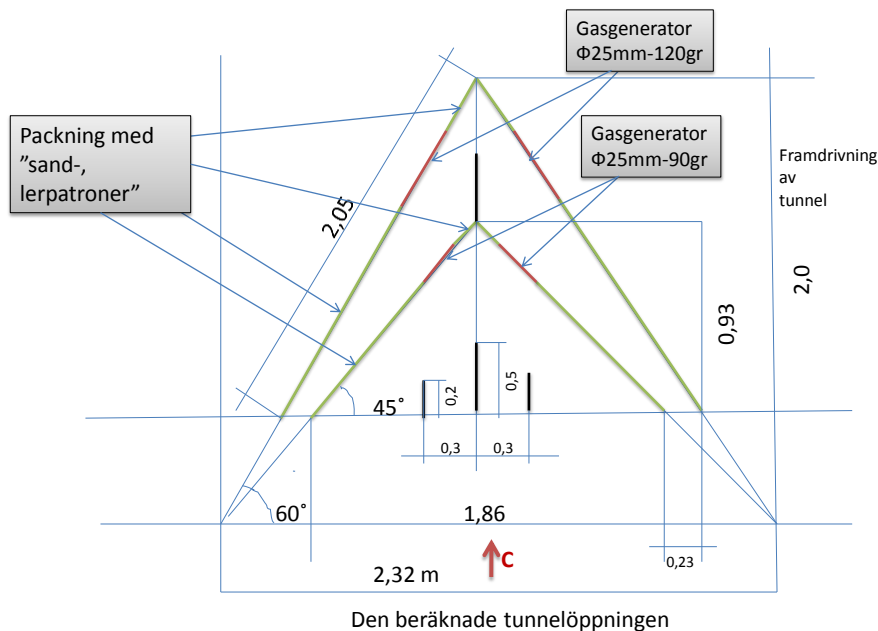
Videoinspelningen av detta försök finns på Kirsa Nova RockEngineerings hemsida www.gasgenerator.se

Spräckningstest 3, 2011-02-02, kilförsök

Utförande:

Gasgeneratorn hade aldrig tidigare använts för att spräcka en kil men en kil borrades enligt bilden nedan. Dock avstod Veidekke från att borra en dubbelkil utan endast den främre. Totalt var det 22st hål i sidorna samt 6st kortare, ej laddade, i mitten av kilen som borrades. De 22st sidohålen borrades med 20cm avstånd, 11st på varje sida, med den riktning och längd som bilden visar. Tillskillnad från ritningen så laddades samtliga hål med gasgeneratorer på 90g plus 3st extra gasgeneratorer på 50g/st i ett antal hål som var något djupare än de övriga.

Ritning 1(a) Vy ovanifrån



(Bild tillhör KirsaNova RockEngineering)

Resultat: Ingen verkan alls, det hördes ett lätt ”puff”- ljud som tydde på att gasgeneratorer inte hade antänds. Misstankarna var att gasgeneratorer och tändhattarna inte monterats på ett korrekt sätt. Locket på ena sidan av gasgeneratorn skall tas av och tändhatten sättas på med presspassning tills det klickar, så att tändhattens hylsa når inre delen av gasgeneratorn. Detta är av stor vikt för att säkerställa en säker antändning. Slutsatsen från KirsaNova Rock Engineering var att, efter att studerat videoinspelningen, medhjälpare från Kirsa Nova Rock Engineering inte vevat tändapparaten tillräckligt länge för att uppnå den uppladdningsnivå som krävdes för den aktuella salvan.

Spräckningstest 4, 2011-02-15, kilförsök

Utförande:

Liknande kil borrades som i det tidigare försöket. Totalt 22st borrhål med 20cm avstånd, 11st på varje sida. De 3st översta hålen på högra sidan gick inte att använda på grund av att de rasat igen och således gick inte gasgeneratorn respektive sandkorvarna att få in.

Försök 1, test av nytt parti gasgeneratorer – Testförsök på 3st borrhål på vänstra sidan som saknade de motsvarande 3st hål på högra sidan. Laddning utfördes med 2st gasgeneratorer på 90g i varje hål. Syftet var här att testa ett nytt parti gasgeneratorer.

Resultat av nytt parti gasgeneratorer: Gasgeneratorerna antändes, en spricka bildades och en liten bit ovanför borrhålen klövs bort. Det nya partiet gasgeneratorer ansågs vara tillfylles.

Försök 2 – Laddning av resterande 8st hål på varje sida laddas med gasgeneratorer på 120g plus 90g. Hålens djup varierade mellan 80cm och 140cm. En extra gasgenerator på 90g placerades i det hål som mätte 140cm för att säkerställa funktion.

Dieselmängden under det här försöket med kilmodellen var detsamma som vid standardförfarande, dvs 1,0 respektive 1,5ml.

Resultat: Största delen av bergmassan kastades 2-3m, en mindre del uppåt 8-9m. Bergvolymen som kom loss var ungefär 1m³. Ingen flamma syntes, en gasgenerator fortsatte att brinna med jämn och svag låga.

Utvärdering

Totalt utfördes 6st prover med gasgeneratorn under 4 dagar, varav 2st var kilförsök och övriga 4st var strossningar. Resultaten varierade och två av försöken anses som helt misslyckade, (Första strossningen och första kilen), medan två kan klassas som helt lyckade, (Det sista strossförsöket och den andra kilen).

Anledningar till de två misslyckade försöken kan vara felaktigt utförande av personen/personerna som laddade eller alternativt felaktiga instruktioner och således kan inte produkten belastas för detta. I de två försöken som lyckades så var laddningsmängden ökad med antingen fler eller större gaspatroner eller alternativt med ökad dieselmängd per gaspatron. Detta tyder på att för den geologi och bergkvalitet som rådde i aktuell tunnel så räckte inte det som ansågs vara tillräckligt ur ett generellt perspektiv. Vid fler försök i framtiden så är det därför viktigt att på förhand ta reda på bergets fysikaliska egenskaper, alternativt börja med en större laddningsmängd för att om gasgeneratorn inte lyckas spräcka berget utan istället brinner inne i hålen medför det problem att i ett senare skede rensa hålen för att ladda om dem. Risken finns då att kasten kan bli något längre vid ett första försök men oftast kan detta skyddas med sprängmattor eller likvärdigt.

Laddtiden för att ladda med gasgeneratorn upplevdes som lång och laddningen var för tidskrävande. 22st hål i kilen tog ca 4 timmar att ladda. Stor möda lades på att packa

ordentligt och att inte skada laddtrådarna för gasgeneratorerna. Vid en längre användning av produkten och tillvägagångssättet så borde laddtiden kunna minskas, vilket är nödvändigt ur ett ekonomiskt perspektiv. I våra försök blev kapaciteten för drivning med kilen ungefär 0,25m³/h och för strossarna omkring 0,5-0,75m³/h. (I strossen laddades 3st hål med c/c 0,5m och längd 3 meter i ca 2-3 timmar)

Kostnaden för produkten var under dessa försök omkring 390 kr/gasgenerator, beroende på storlek och styrka. Således kostade enbart materialet vid spräckningen av kilen då 22st gasgeneratorer användes ca 8800 kr. I kilförsöket spräcktes en volym på ca 1,0m³, vilket ger en kostnad på ungefär 8800 kr/m³ (Dyrare under andra försöket). Vid strossförsöken där 2st gasgeneratorer användes per 3m hål och c/c 0,5 meter så är kostnaden ca 1600kr/m³. Då ingen direkt jämförelse kan göras mot SSE sprängmedel eller patronerat sprängmedel så borde en jämförelse istället ske mot produkter som besitter liknande egenskaper vad gäller spräckning av berg. I dagsläget finns en del konkurrerande produkter på marknaden som används vid spräckning. typ hydraulisk spräckning eller kemiskt expanderade produkter.

Hållängden testades upp till 3m vid strossförsöken. Ett problem som uppstod var att berget inte sprack längs med hela hållängden i alla försök utan endast delar av bergmassan. Anledningarna kan vara många med troligast är för dålig packning eller för liten laddning för det berg som skulle spräckas. Det fanns planer att genomföra försök med 6m hål men på grund av tidsproblem så hann detta aldrig testas.

Borriktning och försättning är av stor betydelse. Vid ett par av försöken upplevdes det som om att avstånden mellan borrhålen samt avståndet till den fria ytan inte var optimal. Synpunkter fanns framförallt på att hålens inte var parallella med varandra, dvs vinkel och lutning varierade mellan, vilket ”störde” verkan av gasgeneratorm. Generellt var avstånden mellan borrhålen ojämna, varierande mellan 40cm och 60cm, samt olika riktade och vinklade. Avvikelser från borrhöplanen kan eller skall inte vara så kraftiga som under ett par av försöken eftersom förfarandet försvårades för mycket.

Veidekke hade också för avsikt innan försökens påbörjande att utvärdera möjligheter till större försättningar och avstånd mellan hålen, till exempel att gå från ett c-c avstånd mellan hålen i strossraden på ca 0,5m upp till avstånd på ca 0,8m. Detta var något som dock inte gick att prova och utvärdera då problem uppstod redan vid de avstånd som var borrhåden för strossförsök 1 till 4. I framtiden är detta något som kan provas och utvärderas om man med klarhet kan se att gasgeneratorm klarar att spräcka berg på avstånd upp till ca 0,5m mellan hålen.

Borringen av hålen utfördes av en pallrigg modell mindre. Detta gjordes för att kunna komma ner i håldimension då detta var ett krav från KirsaNova RockEngineering. Hålen som borrhåden hade en dimension på ca 32mm. Veidekke hade helst använt tunnelborriggen som fanns på plats då denna har högre kapacitet och att behovet att ha ytterligare maskiner på plats hade undvikits. Då gasgeneratorm ska placeras med så lite luftutrymme mellan gasgenerator och hålvägg som möjligt så innebar en diameter på

25mm för gasgeneratoren att ett 48 mm borrhål var för stort. Vid tillfället för fältförsöken fanns ingen gasgenerator som passade för ett 48 mm hål.

KirsaNova RockEngineerings egentillverkade tändhattar medförde att ingen skjutning med olika tändarnummer kunde utföras. Försök med att spräcka två rader eller fler samtidigt upplevdes innan försöken som en möjlighet om man hade haft olika tändarnummer. Dock skulle ett försök ha utförts med att spräcka upp till två rader samtidigt med samma tändarnummer. På grund av tidsbrist och problem med vissa salvor så fanns inte tiden att utföra detta prov.

Gasbildningen efter spräckning upplevdes som minimal och personer var framme vid spräckningsområdet inom ett fåtal sekunder. Restprodukterna från gasgeneratoren upplevdes inte som störande.

Inga konkreta mätningar eller kontroller skedde av sprickbildning i och kring hålen och närliggande berg efter spräckningsförsöken. Detta är något som måste kontrolleras noggrannare vid framtida fortsatta försök. Dock upplevdes det som om skadezonen var väldigt begränsad.

I målbeskrivningen var en av anledningarna till att testa gasgeneratoren att utvärdera dess möjlighet att hjälpa projektet vid genomslaget mot Tvärbanetunneln. Gasgeneratoren valdes inte som metod vid genomslaget i tunnelns södra del av framförallt två anledningar:

1. Gasgeneratoren lyckades inte till fullo visa dess potential för projektet vilket medförde att ledningen inte ansåg gasgeneratoren som det bästa alternativet vid genomslaget.
2. Vibrationskraven samt kastproblematiken för området vid genomslaget ansågs inte utföra ett sådant hinder att alternativa tekniker behövde användas. Således valde projektet att använda det i det här fallet mest ekonomiskt fördelaktiga alternativet, konventionell bergsprängningsteknik.

Slutsatser och rekommendationer

Veidekke anser att fler försök måste utföras för att med klarhet kunna utvärdera produkten och dess möjlighet till att vara en faktor vid bergdrivning i områden där vibrations- samt kastkrav är av stor betydelse. Nedan följer några slutsatser och rekommendationer:

- A- Användandet av produkten kräver noggrann vetskap om bergets fysikaliska egenskaper så från tillverkarens sida måste tydliga instruktioner för den försättning och laddningskoncentration som behövs för olika typer av bergkvaliteter finnas. Då Entreprenören antagligen kommer att utföra laddningen själv så är detta något som är väldigt viktigt. För liten eller för stor laddning kan få konsekvenser för projektet.
- B- Laddningen upplevdes som tidskrävande och således kostsam för projektet. En möjlighet till mer ekonomisk bergspräckning är att föredra och rekommendationer till KirsaNova RockEngineering var att se över möjligheten att tillverka redan färdiga laddrör i varierande längder där gasgeneratorer och sandkorvar är placerade i enlighet med tillverkarens instruktioner. En laddningscykel skulle således kunna kortas avsevärt och även underlätta eventuella risker med felaktig laddning/hantering från Entreprenören. KirsaNova Rock Engineering har idag tagit fram en patenterad produkt som finns för beställning och gör det möjligt att ladda med laddrör. Dock är dessa ej ännu provade.
- C- Då kostnaden per gasgenerator var hög så ansågs från Veidekkes sida att produkten måste bli billigare för att kunna konkurrera med andra produkter. KirsaNova Rock Engineering anser att produkten skulle kunna komma ner till åtminstone 50 – 70 % av priset om man tillverkar produkten i större skala.
- D- Veidekke anser att produkten måste anpassas till de tunnelriggar som finns idag och de håldiameterar som Entreprenörer oftast använder. KirsaNova RockEngineering ska ta fram gasgeneratorer som passar för 48 mm borrhål.
- E- Laddinstruktioner och rekommendationer samt säkerhetsföreskrifter måste tas fram av KirsaNova RockEngineering.

Referenser

Powerpoint presentation ”pvf080311-referensgruppen rev”, KirsaNova RockEngineering, 2011

www.gasgenerator.se. KirsaNova RockEngineering, 2012