© 1991 Svenska Bergteknikföreningen och författare

ROCKET BOOMER I KLIPPIGA BERGEN OCH ITALIENS ALPER.

Svante Lundbrink, Face Drilling, Atlas Copco Tunnelling and Mining AB, S-10523 Stockholm.

Ny borrmaskin och hydraulborraggregat från Atlas Copco.

COP 1440 är typbeteckningen för en ny hydraulborrmaskin av driftertyp som introducerades av Atlas Copco 1987. Denna COP 1440 har högre borrsjunkning än sin föregångare COP 1238. Boomer borraggregat utrustade med COP 1440 identifieras idag genom prefixet Rocket.

Tillnamnet antyder att Rocket Boomern borrar snabbare än "vanlig" Boomer. Och det gör den. Den högeffektiva borrmaskinen COP 1440 ökar produktionsförmågan avsevärt vid en jämförelse i praktisk tunnelborrning.

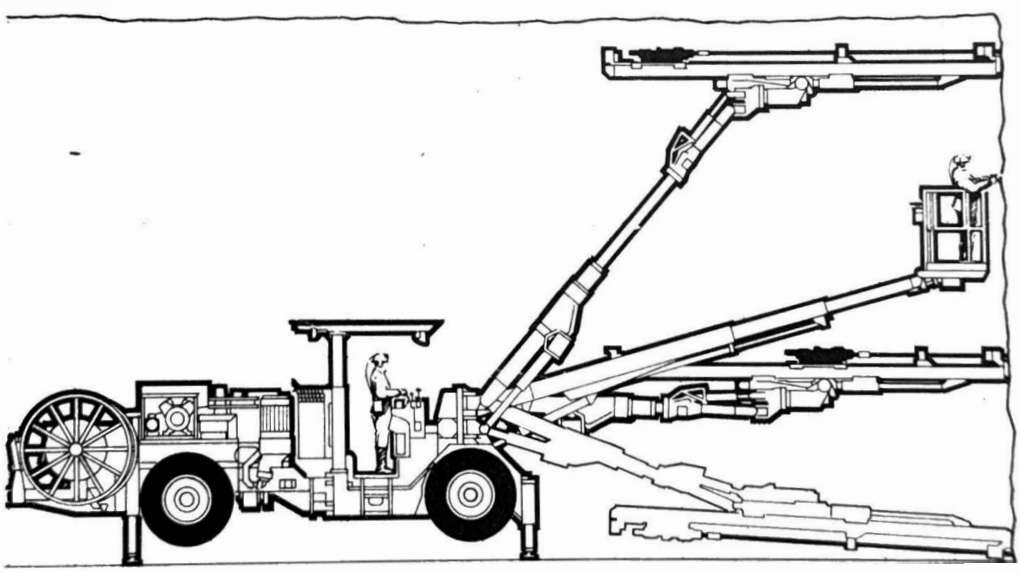

Fig 1. Rocket Boomer.

Rocket Boomer introducerades 1987. Den har sedan dess blivit ett populärt hjälpmedel för tunneldrivning världen över. Från början var Rocket Boomer en två-boms rigg. Tanken var att med två snabba COP 1440 borde kapaciteten räcka för de flesta tunneljobb. Men det dröjde inte länge förrän entreprenörerna insett att med tre maskiner borrade Rocketen ännu snabbare.

Idag finns ungefär 35 Rocket Boomers i arbete vid tunnelprojekt världen över. Dussinet med två bommar, dryga tjugotalet med tre bommar och några udda en-boms riggar.

© 1991 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Geografiskt dominerar Italien, följt av Norge och Österrike. Rocket Boomern är populär bland sina användare. Den höga borrkapaciteten är givetvis det som uppskattas i första hand. Men den har också ord om sig att vara lätt att arbeta med, dvs användarvänlig.

Kilowatt och borrmaskinseffekt.

Kraftpaketet till COP 1440 drivs av en elmotor på 55 kW. Som jämförelse drivs COP 1238 av en elmotor på 45 kW. Men det vore fel att bedöma borrkapaciteten efter skylten på elmotorn. Det en lång väg att transformera elektrisk energi till borrmeter.

Hur snabbt borrkronan äter sig genom berget beror av flera faktorer. Bland dessa hur hårt berget är. Och innan vi provat på att borra är vi hänvisade till gissningar.

Kilowatt associerar vi vanligen med elektriska termer. Men även bilmotorer mäts i kilowatt numera. Och borrmaskiner utgör inga undantag. Varje slag av kolven mot borrnacken innehåller energi, som borrstålet överför till borrkronan. Berget utsättes för höga tryckspänningar som utlöses genom sprickbilding.

Slagen upprepas 50 till 60 gånger per sekund, vilket ackumuleras till borreffekt. Effekten kan ökas både genom hårdare slag och en högre slagfrekvens. När effekten ökas stiger borrsjunkningen.

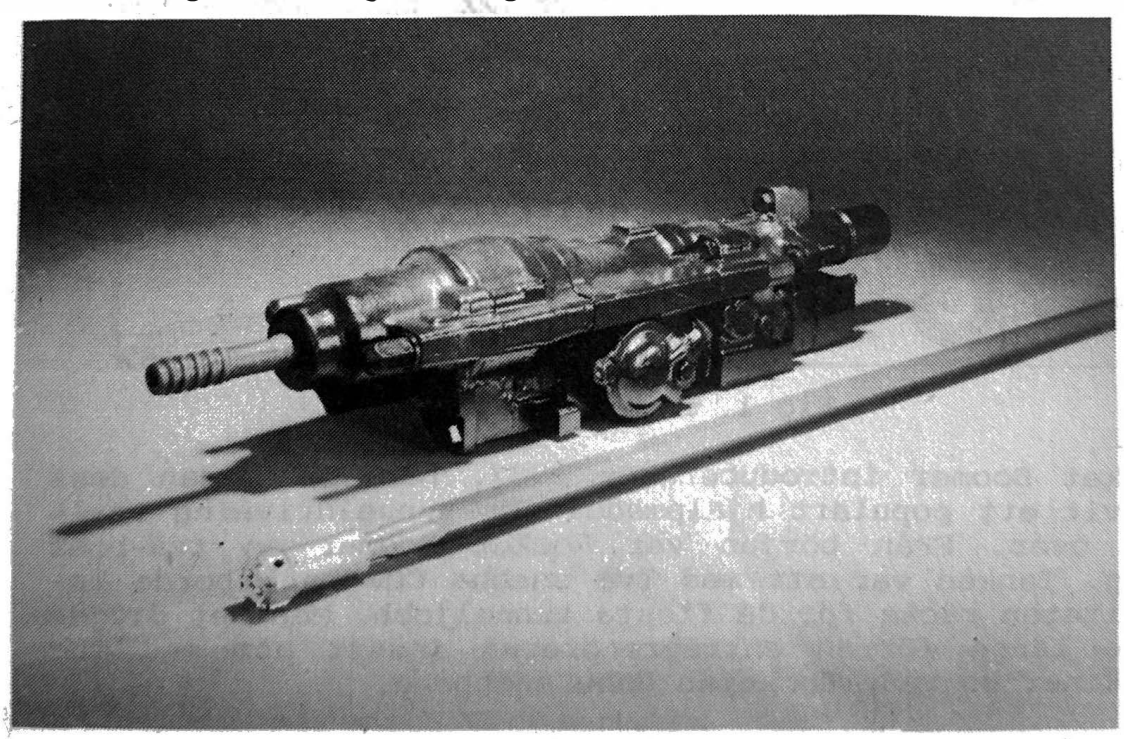

Fig 2. Hydraulbergborrmaskin COP 1440.

De första exemplaren av Rocket Boomer var försedda med ett större kraftpaket och en borreffekt av 20 kW togs ur COP 1440:s slagverk.

© 1991 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Med dessa 20 kW åstadkoms en nettoborrsjunkning av 3.6 m/min i vårt svenska urberg. Och i löst berg borrade man bra mycket snabbare. En Rocket Boomer som verkligen gjorde skäl för namnet. Men raketfarten hade nackdelar.

Borrstålet brast efter kort tid. Det var svårt att uppnå acceptabel tillgänglighet på borrutrustningen. 20 kW slagenergi var klart i mesta laget. Men med hydraulik som energimedia kan effektuttaget regleras via trycket i systemet. Trycket reducerades så att borreffekten motsvarar 17 kW.

Man tappade något av borrsjunkningen, men med 2.5 m/min borrar COP 1440 fortfarande snabbare än de flesta andra borrmaskiner. Och prefix Rocket består.

RPCF = Rotation Pressure Control Feed.

För att slaget skall ha effekt gäller det att kronan ligger an mot berget i samma ögonblick som den nås av stötvågen. Annars kommer stötvågen tillbaka som rekyl. Eftersom energi inte kan förstöras, måste rekylen någonstans att ta vägen.

Där kommer borrmaskinens rekyldämpare in i bilden. Denna tar upp energin och förhindrar att den försvinner ut i borraggregatets mekaniska struktur där den skulle orsaka vibrationer med slitage som följd.

Men tomslag ger inga borrmetrar. Därför bör borrkronan med större säkerhet hållas i kontakt med berget. Det går att öka matningstrycket men detta ger inga garantier.

Där kommer RPCF, Rotation Pressure Control Feed-systemet in i bilden. Detta känner av trycket i rotationskretsen, dvs momentet som roterar borrstålet, och anpassar matningstrycket efter detta. Bästa resultat erhålles vid konstant vridmoment.

I hårt berg ger varje slag en begränsad inträngning i berget och motståndet mot rotationen blir relativt mindre. Matningstrycket ökar tills balans erhålles. Omvänt gäller om motståndet ökar pga av sprickor i berget eller dylikt. I löst berg ger slaget större inträngning och behovet av moment för rotationen ökar.

RPCF-systemet anpassar nu matningstrycket så att balans erhålles. Totalt ger RPCF en automatisk justering av matningstrycket, anpassat till bergets hårdhet, samt en säkerhet mot glapp i borrsträngen så att slagenergin effektivt går till att krossa berget.

Borraren behöver bara positionera och hugga på. Så snart kronan har fått fäste i berget tar automatiken över. Slagenergin utnyttjas till fullo, samtidigt utsättes ej borrsträngen för onödig påfrestning. Livslängden ökade till i nivå med andra hydraulborrmaskiner.

© 1991 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Rocket Boomer i Hanging Lake, Colorado, USA.

Våra Europavägar motsvaras i USA av motorleder som där nämnes Interstate Highways. I-Highway markeras av en sköldformad symbol med blå bakgrund, röd bård och vita tecken. USA genomkorsas av ett väl utbyggt nätverk av dessa motorleder, där de viktigaste, med nummer I 90, I 80, I 70, osv går från öst till väst, medan I 85, I 75, I 65 går i nord-syd.

Dessutom kan man färdas kors och tvärs på I-Highways med skiftande numrering. I USA är det snarare vägnumret som leder trafikanten rätt än destinationsorten.

Vägverkets ambition är att täcka hela kontinenten med dessa motorleder. Man startade 1957, i dag är nätet av Interstate Highways tillnärmelsevis komplett. Men några luckor kvarstår fortfarande. En av dessa finner vi i Klippiga Bergen, längs Interstate 70, 300 km väster om staden Denver.

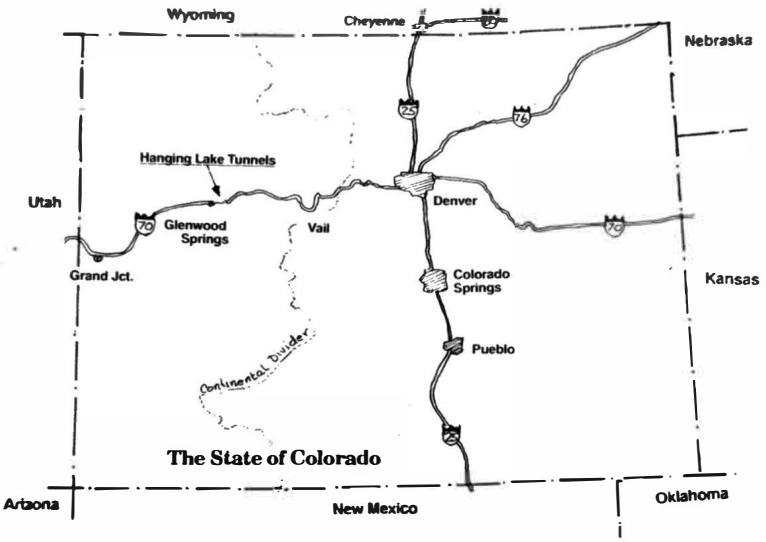

Fig 3. Orienteringskarta, Hanging Lake.

Vägbeskrivning: Tag I 70 från Denver i riktning Salt Lake City. Passera de klippiga Klippiga Bergen, kör genom Eisenhower Tunnel, fortsätt genom skidorten Vail. Sedan
förändras landskapet till en högplatå med mjukare bergformationer. Plötsligt slutar motorledens transportsträcka och dyker ned i en djup dalgång, Glenwood Canyon, där I 70 förvandlas till en vindlande väg med beteckning US Route 6.

Här pågår ett projekt att förlänga motorleden och skarva i en av de felande 16 km av Interstate 70. Några kilometer motorväg som sägs vara de dyraste som någonsin byggts i USA. Detta på grund av att Glenwood Canyon är en nationalpark där miljön skall bevaras.

Glenwood Canyon är naturskön, trång dalgång kantad av branta, upp till 900 m höga bergsidor. I dalens botten

© 1991 Svenska Bergteknikföreningen och författare

ringlar sig Colorado Rivers gulbruna vatten och trängs längs på ena stranden med Rio Grande Railway, på den andra med den starkt trafikerade US Route 6.

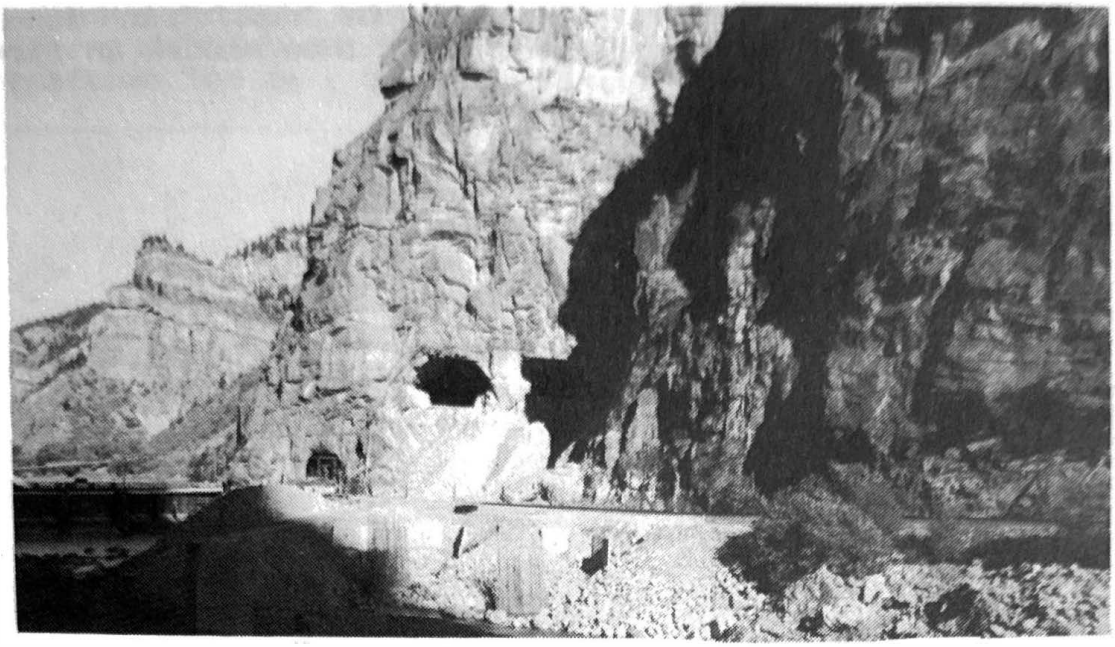

Fig 4. Glenwood Canyon, med tunnelportaler.

Det utrymme som står till byggets och byggarnas förfogande är extremt begränsat. Motorleden har förlagts omväxlande genom tunnlar inne i bergsidorna eller i våningar uppstyltad på pelare, för att göra minsta ingrepp i naturen och ej störa trafiken på genomfartsleden US Route 6. Det första vägavsnittet i projektet, Reverse Curve Tunnels, blev klart 1989. Nästa etapp, Hanging Lake Tunnels, är på god väg. Bergarbetena avslutades i december 1990, nu pågår betongingjutning och installationer. Arbetena beräknas vara avslutade sommaren 91.

Namnet Hanging Lake stammar från en närbelägen sjö, ovan dalgången, på bergplatån.

Projektet består av ett vägavsnitt med dubbla bergtunnlar med en längd av 1.200 m. Sektionen är D-formad, typisk vägtunnelprofil med en area av ca 70 m3.

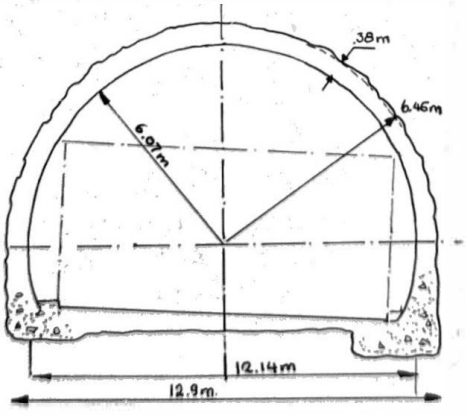

Fig 5. Tunnelsektionen.

© 1991 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Tunneln går genom Glenwood Canyons södra bergsida in en mjuk S-kurva, se figur 6. Tunnelsträckningen går i dagen en kortare sträcka, där Cinnamon Creek skär in i berget. Här har entreprenören satt upp sin bas. Från denna strategiskt välplacerade position är inte mindre än fyra tunnelportaler inom bekvämt räckhåll.

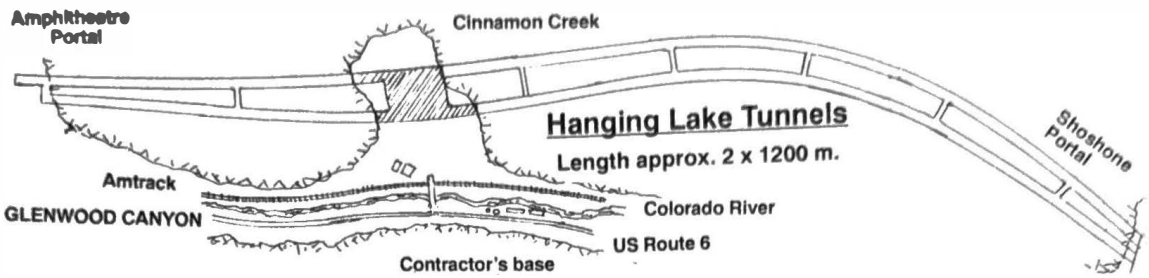

Fig 6. Projektet Hanging Lake.

Hanging Lake Joint Venture.

Tunnelbygget har anförtrotts en grupp av entreprenörer som gått samman till ett konsortium, Hanging Lake Joint Venture. Sponsor, som den ledande organisationen här nämnes, är företaget Frontier Kemper tillammans med Traylor Brothers, båda hemmahörande i USA, samt Wayss & Freitag från Tyskland och Österrikes Beton Monierbau representerande mera internationell tunnelteknik.

Ett tunnelprojekt är en relativt sällsynt företeelse i USA. Detta var Frontier Kempers första erfarenhet av hydraulborrning. Av partnern Beton Monierbau fick man rådet att satsa på en Rocket Boomer när det blev dags att skaffa maskiner. Något Frontier Kemper inte ångrat.

För borrning i tunneln finnes två st två-boms Rocket Bommer H245. Vart och ett av dessa hanteras i enlighet med bestämmelser i USA aggregat av två man.

Dessutom finnes för bergbultningen två Boltec H351 bultaggregat.

På platsen står en Atlas Copco servicecontainer. Service av borrutrustningen går på kontrakt med Atlas Copco Roctec, som håller en man permanent på platsen.

Drivningsteknik.

Berget i dalens botten består av äldre, prekambriska bergarter, skiktad gneiss som genombrutis av yngre granit och pegmatitgångar. Denna del av berggrunden är relativt uppsprucken. Urberget överlagras av yngre kalkstenar, dolomiter och skiffrar.

Tunnelprojektet har föregåtts av omfattande förundersökningar med bl a en undersökningsort längs en av tunnlarna. Mycket arbete har nedlagts på att försöka klassi-

© 1991 Svenska Bergteknikföreningen och författare

fiera berget och förutsäga hållfasthet och behov av bergförstärkning. Detta reflekteras i kontraktshandlingarna som reglerar entreprenörens drivningsteknik i minsta detalj. Föreskrifterna har tydlig påverkan av modern NATM-teknik, med bergbult och sprutbetong som ersättare för de i USA traditionella stålbågarna.

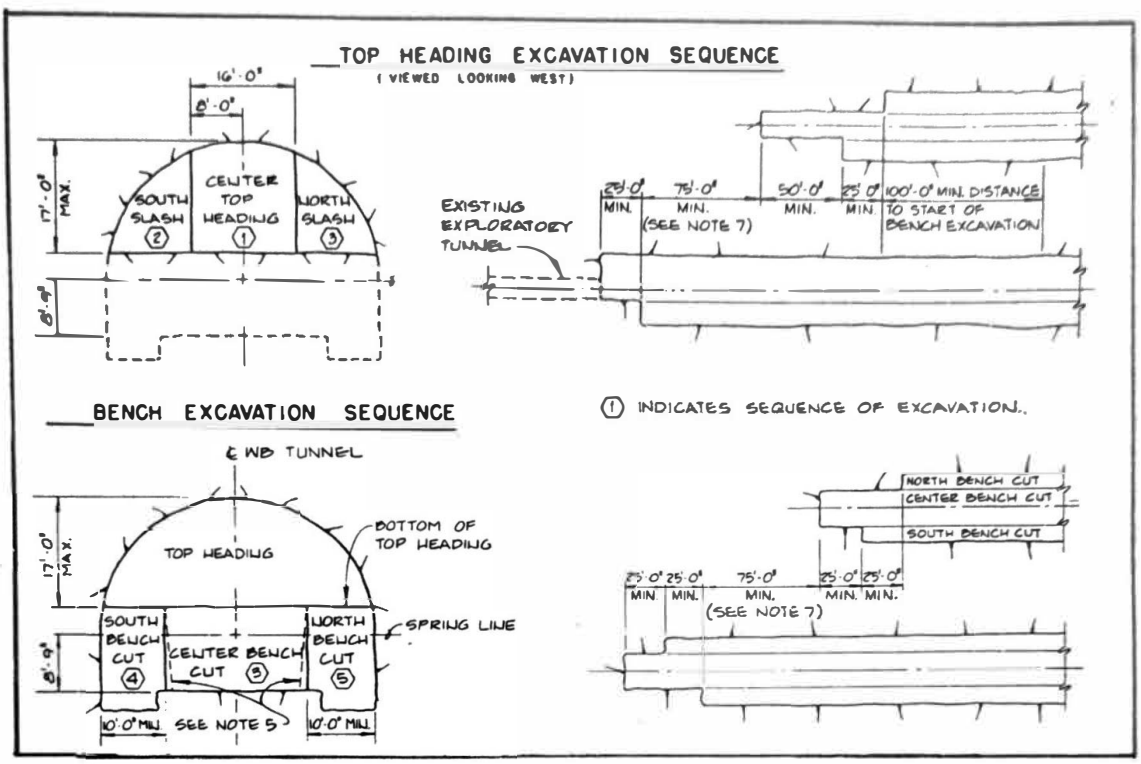

Fig 7. Tunneltekniken - från kontraktshandlingar.

Bergkvaliten längs tunnelsträckan indelas i tre klasser. med följande fördelning: Klass 1, god, 70 %, Klass 2, medel, 21 %, Klass 3, svår, 9%. Bergklasserna styr sedan parametrar för borrning, sprängning och bergförstärkning.

Tunneln drivs med takort och pall. Takorten med en pilot som följs av två sidostrossar som följer efter. Även pallen delas i mittsektion med sidostrossar på höger och vänster sida. Totalt blir det 6 fronter att borra och spränga.

Salvlängd för varje front samt avstånd till strossen från piloten i takorten specificeras. I bergklass 1 tillåts en salvlängd av 3.6 m i piloten och 4.8 m i strossen. I klass 2 gäller begränsningen 2.4 m resp 3.0 m.

De båda Boomeraggregaten är försedda med långa matare för 5.5 m borrstål som borrar 5.2 m djupa hål. Detta kan verka underligt då håldjupet i salvan maximerats till 3.6 m. Men inga restriktioner gällde för liggarpall och sidostrossar. Där ville Frontier Kemper utnyttja möjligheten att borra längre salvor.

© 1991 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Med tunneldrivningen uppsplittrad på normalt åtta fronter är det svårt att definiera något framdriftsrekord. Däremot tillät omständigheterna ett mycket effektivt utnyttjande av maskinutrustningen.

Platschefen Del Brock uttalar sin tillfredsställelse med borriggarna och de resultat som uppnåtts vid Hanging Lake tunnlarna. Däremot var han förtegen med driftsstatistik, då han befarade att ett offentliggörande kunde gynna konkurrenter när nästa tunnelprojekt blir aktuellt för anbud.

Rocket Boomern blev snabbt en favorit bland borrarna. Användarvänligheten var vad som rankades högst. På en direkt fråga om det var något han inte gillade, svarade borrare Phil Romero eftertänksamt, att de långa matarna gjorde att man fick ställa riggen så långt från stuffen så att det ibland kunde vara besvärligt att se påhugget.

Phil's partner Bob uttryckte sig mera substantiellt: "Best f--ing drill ever built" tarvar knappast översättas.

Servicekontraktet tillsammans med regelbundet underhåll bidrog till en tillgänglighet av över 90 %. Kostnad för reservdelar för både borrmaskin och bärare registrerades till 9 ct/ft = 2.00 SEK/borrm.

Från början befarade man att det högre effektuttaget med borrmaskin COP 1440 kunde medföra ökade borrstålskostnader. Därför gjordes en noggrann uppföljning av livslängder. Resultatet, efter ca 500.000 borrmeter, motsvarar 2.00 SEK/borrm, vilket är fullt jämförbart, snarast bättre än vad som förväntas av andra hydraulborrmaskiner.

Bergarbetet för Hanging Lake tunnlarna stod färdigt vid månadsskiftet november-december 1990, 4 månader före i tidsplanen. Frontier Kemper har nu flyttat sina Rocket Boomer till nästa tunnelprojekt, där man provar på att borra i numera stelnade lavaflöden på Hawaii.

Rocket Boomer i Aosta-tunnlarna, Italiens alper.

I norra Italien pågår flera tunnelprojekt avsedda att förbättra vägförbindelser genom det alpina landskapet. I Aosta-dalen byggs nu en motorväg som skall avlasta en antikverad lokal slingerväg från de 9000 personbilar och 3000 lastbilar som dagligen passerar med destination Frankrike, via Mont Blanc-tunneln.

Den nya vägen har en stigning av 3.5 %, för att tillåta trafiken att färdas med en hastighet av 80 - 100 km/tim. För att åstadkomma detta har 27 km av vägsträckan lagts genom tunnlar och 3 km på viadukter. Tunnlarna ger dessutom ett bättre skydd för miljön och traktens jordbruk än en öppen vägsträckning.

© 1991 Svenska Bergteknikföreningen och författare

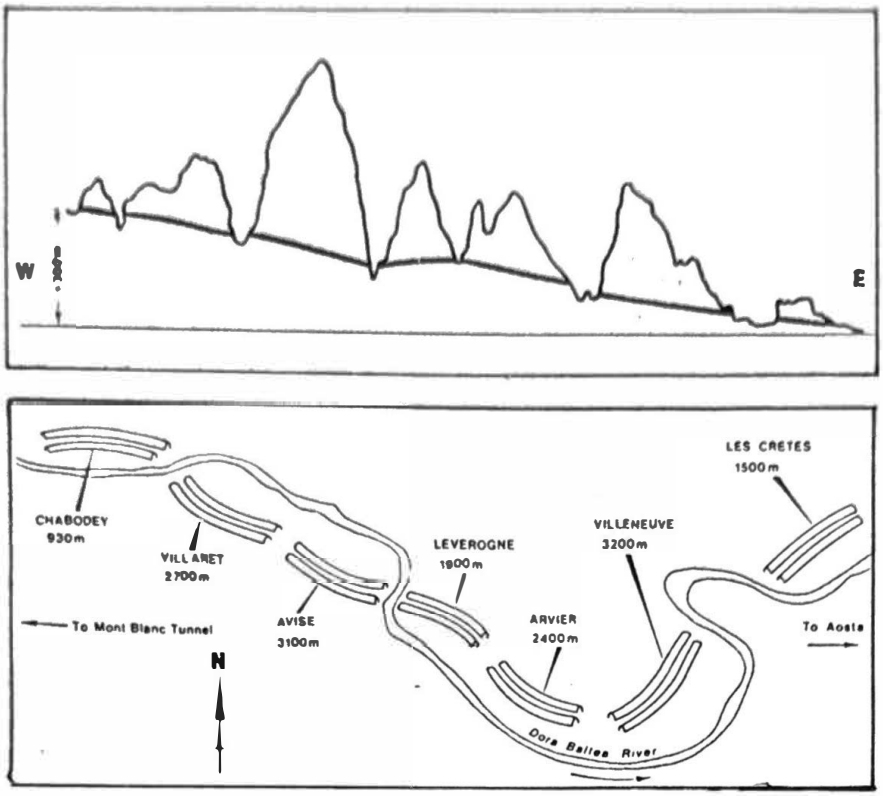

Fig 9. Vägtunnlarna i Aostadalen.

Totalt skall sju separata sträckor med dubbla vägtunnlar drivas. Den sammanlagda längden av tunnlarna blir drygt 30 km. Bygget har fördelats på ett flertal företag i branschen som har gemensamt att driva tunnlarna med borraggregat av typ Boomer.

Entreprenören Italstrade driver en sträcka med 2 * 2.8 km tunnel nära byn Villenueve. För borrningen finnes ett borraggregat typ Boomer H173, med 3 * COP 1238 hydraul-borrmaskiner. Detta borrar sida vid sida med en tre-boms Rocket Boomer H185, bestyckad med 3 * COP 1440 borrma-skiner.

Övriga entreprenörer har även en maskinpark med inslag av både Boomers och Rocket Boomers. En blandning som representerar en generationsväxling inom produktutbudet, sedan Rocketen introducerades 1987 har den blivit en av de italienska tunnelbyggarnas favoriter.

Stora vägtunnlar.

Bergets kvalité i trakten är synnerligen växlande. Med normala undersökningsmetoder är det svårt att bilda sig en uppfattning om geologin längs tunneln. Därför har man vid ett flertal av tunnelsträckorna kostat på sig att TBM-borra ett pilothål med 3.9 m diameter.

Pilothålet ger detaljerad information om geologi och Bergkvaliten och dessutom förträfflig ventilation av tunneln. Och naturligtvis ett fantastisk uppskjut för långa salvor.

© 1991 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Total utsprängd tunnelarea ligger mellan 110 och 120 m2. Här föreligger inga restriktioner beträffande vare sig salvdjup eller drivningsarea, entreprenören har heller inga hämningar i den vägen. I mycket dåligt berg kortas salvlängden, i övrigt försöker man gå så stort som möjligt för att bättre utnyttja maskinernas kapacitet.
En kontrast mot den försiktiga drivningen i Hanging Lake.

Vanligen uttages först nära hela tunnelarean som en mastig takort. En ca 2.0 m hög skiva lämnas i tunnelbotten, bl a för att ge mera bekväm höjd för skrotning och förstärkning av tunneltaket, med bergbultar och sprutbetong. Bottenskivan borras med ståndarpall med en standard pallborrigg.

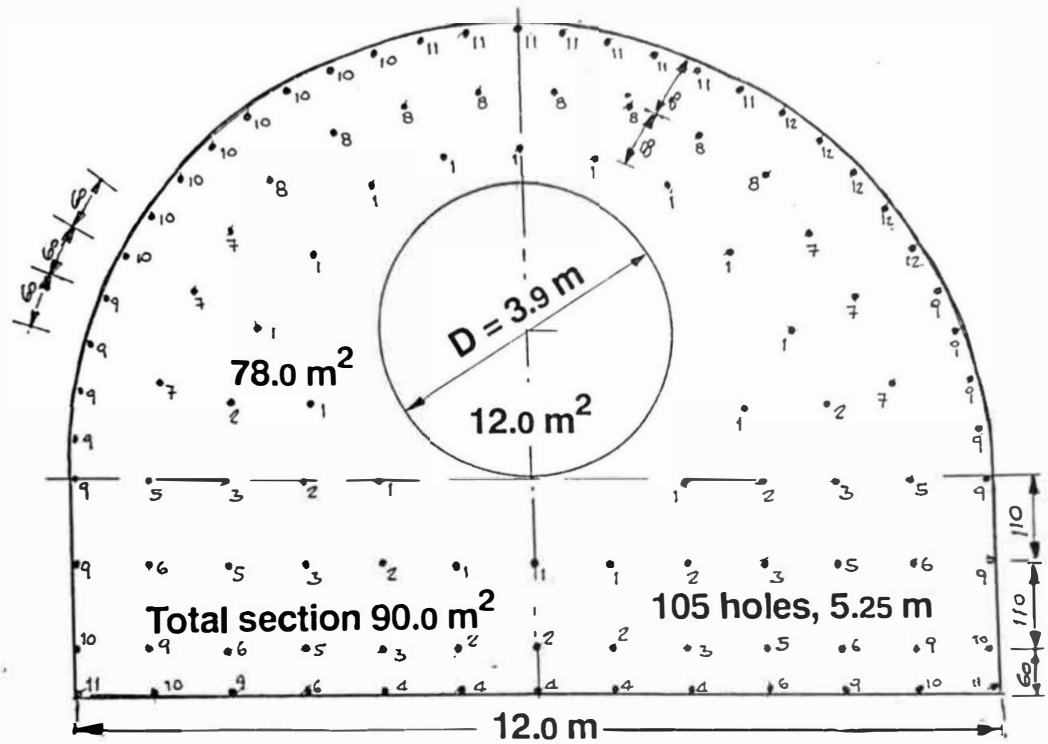

Fig 10. Borrplan för vägtunnel med grovhålsuppskjut.

Den övre delen av tunneln i Villenueve har en total area av 98 m2. I borrplanen är 12 m2 pilothål/uppskjut, resterande 86 m2 tunnelstross. Salvan innehåller 110 hål med djup 5.25 m.

Borrhålen laddas med patronerat sprängämne av varierande kaliber enligt uppgjord plan, inklusive slätspränging av kontur.

Borrning-ladda-spränga tar ca 4 tim. Sedan vidtager utlastning, sprutning med snabbhärdande betong, borrning och installation av resinbultar, L = 4.5 m, d = 24 mm. Bulttätheten motsvarar ca 11 bult per meter tunnel. Vidare sättes nät, som fästes vid förankringsbultar med elsvets. Sedan sprutas med fiberförstärkt sprutbetong.

© 1991 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Arbetet ske 3 sk 8 immar/dag, med en sammanlagd arbetsstyrk v 30 man. Större delen av manskapet är rekryterad rån byn Villenueve, som nu upplever en verklig boom i efterfråga på arbetskraft.

Framdriften är i genomsnitt 10.0 m/dag, i två intilliggande tunnlar.

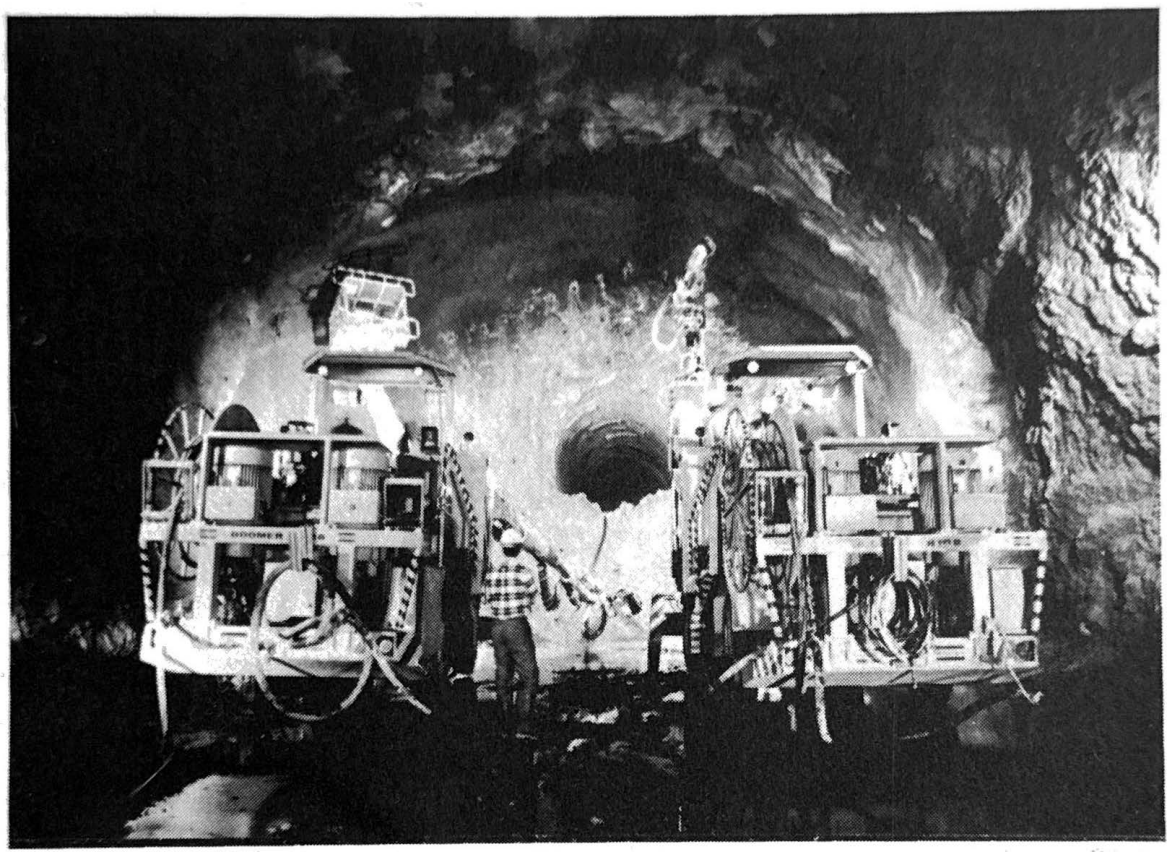

Fig 11. Här borras i en av Aosta-dalens vägtunnlar.

Statistik och borrningskapacitet.

Med hjälp av diverse rapporter från borrningen och olika entreprenörer kan vi presentera ett jämförelsemått mellan en "vanlig" Boomer och en Rocket Boomer:s produktionsförmåga. Se tabell 1 med ingångsvärden.

Tabell 1.

Företag	Borrmaskin	Berg	Area m2	Hål no:s	Håldjup m	Kapacitet bm/tim
CARNIA	COP 1440	Breccia	92	98	5.25	100
CARNIA	COP 1238	Dolomit	92	75	5.25	61
ITALSTR	COP 1440	Gneiss	86	110	4.60	95
C.A.F.	COP 1440	Kvartsit	90	190	4.60	90
C.A.F.	COP 1238	Kvartsit	90	140	4.60	60

Som förbehåll må sägas att uppgifter om bergets hårdhet saknas i de enskilda fallen. Slutsatser har därför inget vetenskapligt belägg. Men resultatet stämmer väl med manuella och databaserade analyser av hydraulborrmaskiners produktionsförmåga.

© 1991 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Den följande sifferexersisen är av intresse endast för den som står i valet att anskaffa en Rocket eller en standard Boomer, och vill veta ungefär hur mycket tid på salvan man tjänar.

Av 1 st hydraulborrmaskin av typ COP 1238 förväntas en produktion = output av 60 borrm/timme. Detta i "hårt" berg som vi är vana vid. Bekräftas av tabellen ovan.

Borrhåls-, eller borrmeterproduktionen av en Rocket Boomer är 90 - 100 bm/tim dvs ca 50 % högre.

Applicerat på borrplanen i figur 10, som innehåller 110 hål x 5.25 m = 578 borrm klarar en tre-boms Rocket att borra klart på knappa 2 timmar medan Boomern får kämpa i drygt 3 timmar. 50 % regeln gäller således.

Långa salvor ökar effektiviteten.

Tabellen visar även att borrhålsproduktionen ökar med håldjupet. Helt naturligt, då fasta tider för positionering och påhugg fördelas på länge hål. Ett steg längre stål (= 0.60 m) ger en produktionsökning med 5 - 10 %. Ungefär ett hål mer per timme.

Den verkliga förtjänsten med längre salvor ligger dock i en generell rationalisering av salvcykeln, något som ej vidare avhandlas i detta sammanhang.