© 1995 Svenska Bergteknikföreningen och författare

CASE – EN METOD ATT VÄLJA BORRSTÅL MED HJÄLP AV DATOR

Göran Carlbaum, Produktchef
AB Sandvik Rock Tools, Sandviken

INTRODUKTION

I många fall då vi besöker kunder med borrningsproblem, är problemen ofta relaterade till att man har tagit i mycket mer än vad nöden kräver. Detta angreppssätt har ofta döljt orsaken till problemet, eller rättare sagt medfört att problemet dykt upp någon annanstans. Ofta skyller man problemet på borrstålet.

Bergborrning är ett system, vilket kan jämföras med hur man slår en spik i en bräda med en vanlig hammare. Om man inte är nöjd med hur man själv lyckas slå i spiken ska man inte nödvändigtvis använda en större hammare.

(Fig. 1)

I denna enkla jämförelse med bergborrning har hammaren ersatt borrmaskinen, spiken ersatt borrstålet och brädan berget. Om man använder en för kraftig hammare kommer man bara att förstöra spiken. Det har inget som helst att göra med att man har valt en för klen spik. Det indikerar endast att det är någon typ av obalans i borrningssystemet. Denna typ av problem blir allt vanligare i och med introduktionen av kraftfullare borrmaskiner,ökade håldjup och högre krav på ökad produktivitet.

På fältet har man oftast, mycket traditionellt, försökt lösa borrningsproblemen praktiskt och empiriskt; genom att prova sig fram. Och eftersom kunderna är praktiker, så blir också de kundorienterade säljbolagen. Efter att ha arbetat i bergborrbranchen i mer än hundra år har Sandvik Rock Tools insamlat en avsevärd mängd information och erfarenhet. I början av 1980-talet satt vi upp som mål att förstå bergborrningens mekanik. Ambitionen var att blanda praktisk erfarenhet med en teoretisk förståelse. Genom att balansera borrningssystemet vill vi skapa optimala betingelser för borrstålet, eller en med andra ord optimal borrsjunkning.

(Fig. 2)

Ju mer energi man tillför systemet, desto högre borrsjunkning ska man förvänta sig. Det energitillskott som inte resulterar i högre borr sjunkning, kommer bara att dyka upp någon annanstans och rubbar därmed balansen i systemet. Detta kan observeras som:

© 1995 Svenska Bergteknikföreningen och författare

- Krokiga hål
- Kraftigt slitage i gängskarvar
- Värmeuppbyggnad i borrstålet
- Rekyl tillbaka till hammaren, vilket medför att temperaturen i oljan stiger, vilket resulterar i snabbare slitage och således ökad risk för kollaps av nackadaptern.

Borrning med topphammare kan även ses som ett effektivt sätt att krossa berg. Borrmaskinens kolv genererar energin som borrkronans stift eller skär behöver för att krossa berget. Således är bergborrning egentligen ett sätt att överföra energi från kolven ner till berget genom en borrsträng bestående av nackadapter, stänger, skarvhylsor och borrkrona. Den modell Sandvik Rock Tools använder för att beskriva och analysera ett sådant system kallas CASE, Computer Aided Simulation of Efficiency, datorstödd simulering av energiutnyttjande. CASE består av två delar, beräkning av verkningsgrad samt mätning av berginträngningsmotstånd, RPR (Rock Penetration Resistance).

VERKNINGSGRAD

Verkningsgraden hos ett borrningssystem kan uttryckas som förhållandet mellan den energi som används för att krossa berget och den energi som genereras av kolven.

(Fig. 3)

Om förhållandet är lika med 1 betyder det att all inkommande rörelseenergi från kolven används till att krossa berget. Verkningsgraden blir således 100%. Praktiskt sett kan man dock aldrig förvänta sig att topphammarborrning når en högre verkningsgrad än 80%. När borrmaskinens kolv träffar nackadaptern initieras en spänningsvåg som trycks genom borrsträngen.

(Fig. 4)

Denna våg fortplantar sig genom stål i en hastighet av 5 000 m/s. En typisk an-slagshastighet av en kolv är 10 m/s och en vanlig frekvens är 50 Hz. En normal nackadapter väger 10 kg, vilket medför att den maximala kraften (dvs vågens amplitud eller höjd) är i storleksordningen 300 kN (eller 30 ton) för en 45 mm stångsektion. Den inkommande energin per slag, genererad av kolven, Wp, är enkel att beräkna:

$$Wp = (m \times v^2)/2$$

där m = kolvens massa (10 kg)
v = kolvens hastighet (10 m/s)

$$Wp = (10 \times 10^2)/2 = 500 \text{ (J/slag)}$$

Detta motsvarar en utgående effekt på 500 J/slag x 50 Hz = 25 kW.

© 1995 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Spänningsvågen kommer att behålla sin form tills något försöker att ändra den, t ex en areaförändring på borrstålet. Vissa förändringar är man tvungna att acceptera såsom en skarvhylsa; Man måste ju skarva ihop stängerna med nackadaptern och borrkronan. Den del av den inkommande energin som inte utnyttjas till krossningsarbete kommer att stanna kvar i systemet. Om man antar 70% verkningsgrad, medför detta att 30 % av den inkommande effekten 25 kW, dvs 7.5 kW eller 10 hk kommer att stanna kvar i borrsystemet. Denna effekt förstörs inte utan kan resultera i t ex ökat slitage på gängorna, rekyl upp till hammaren som då får ett minskad livslängd eller värmer upp hydrauloljan i hammaren.

För att simulera verkningsgraden behöver man känna till hammarens konstruktion (dvs kolvens utseende), nackadaptertyp, vilka stänger man använder, tvärsnitt, antal stänger, MF-stänger, håldiameter etc. För varje enskilt borrsystem får man då ett unikt fingeravtryck eller ett diagram som uttrycker verkningsgraden som funktion av berginträngningsmotståndet, RPR. Alla dessa beräkningar utföres med hjälp av datorer.

(Fig. 5)

Här ser man att varje verkningsgradskurva har ett maximun som motsvarar ett visst berginträngningsmotstånd.

BERGINTRÄNGNINGSMOTSTÅND, RPR

Berginträngningsmotstånd definieras som det motstånd borrsystemet möter hos berget. En kanske enklare sätt att uttrycka detta är den kraft som krävs för att tränga in 1 mm i berget.

Det är mycket enkelt att ha intuitiva uppfattningar om berginträngningsmotståndet på vissa isolerade förändringar. Några exempel kan vara;

- Det är lättare att pressa in en liten krona 1 mm in i berget än en stor krona.
- Det är lättare att pressa in ett litet stift i berget än ett stort stift
- Det är lättare att pressa in en nyslipad krona i berget än en sliten krona.
- Det är lättare att pressa in ett litet antal stift i berget än många stift
- Det är lättare att pressa in en krona i ett mjukt berg än i ett hårt berg.

Det är mycket mer komplicerat, för att inte säga omöjligt, att ha liknade intuitiva uppfattningar om vad som skulle hända om man ändrade håldiameter samtidigt som man valde fler men mindre stift och samtidigt ändrade tvärsnitt på stängerna.

Sandvik Rock Tools har byggt en hydraulisk press där man pressar in borrkronor i ett bergprov och genererar därmed samma typer av spänningar som man har i verklig borrning.

© 1995 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Man provar olika borrkronor i olika berg för att utröna vilka borrkronor som passar bäst i varje enskilt berg; systemet måste balanseras. Genom att trycka varje borrkrona 20-30 gånger i bergprovet kommer man att erhålla ett förhållande mellan kraft och inträngning. Således kommer berginträngningsprovet att ge oss ett RPR värde för varje borrkrona.

(Fig. 6)

Som exempel kan man ta följande prov i Bergborrlaboratoriet på Sandvik Rock Tools. Två borrkronor av lika utförande men med olika stiftform pressades in i samma bergprov, kopparmalm från Australien. Diagrammet ovan visar att det krävdes drygt 250 kN för att pressa borrkronan med sfäriska stift 0.6 mm in i berget. Det krävdes endast 150 kN för att pressa kronan med ballistiska stift 1.2 mm in i berget.

Detta betyder att 100 kN mindre kraft åtgick för att pressa den dubbla inträngningen. Berginträngningsmotståndet för borrkronan med sfäriska stift blir K(s) = 420 kN/mm medan för den ballistiska kronan blev K(b) = 125 kN/mm.

I detta specifika fall är alltså berginträngningsmotståndet 3 gånger högre för borrkronan med sfäriska stift.

OPTIMERING

Nu måste man anpassa dessa två ganska teoretiska betraktelsesätt; Att anpassa borrsystemets verkningsgradsmaximum till den krona som ger detta berginträngningsmotstånd. Eller med andra ord, att kunna ge en generell borrstålsrekommendation baserat på borrmaskinen och berget. Några förutsättningar måste dock uppfyllas;

- God kontakt mellan borrkrona och berg.
- Tillräckligt raka hål
- Ny alternativt nyslipad krona
- Tillräckligt god spolning
- Rimliga borrningsparametrar.

EXEMPEL

USA

Ett stort planerat entreprenadarbete i USA har beslutat att tunnelborra med 51 mm kronor. SRT har antagit att man väljer T38 - HEX 35 - R32 driftterstänger, 4.9 m långa. Man har ännu inte valt rigg.

Verkningsgradskurvor på möjliga borrmaskiner har beräknats av SRT. Ett bergprov av granit har skickats till Bergborrningslaboratoriet för upp mätning av berginträng-ningsmotstånd. Följande intressanta slutsatser kunde dras;

© 1995 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Borrmaskin A hade ett verkningsgradsmaximum på 65%, vilket motsvarar ett berginträngningsmotstånd på 200-250 kN/mm. Vi rekommenderar en krona av typen -4251-SXX.
Borrmaskin B hade ett verkningsgradsmaximum på 61%, vilket motsvarar ett berginträngningsmotstånd på 150-200 kN/mm. Vi rekommenderar en krona av typen -4651-BXX.
Borrmaskin C hade ett verkningsgradsmaximum på 67%, vilket motsvarar ett berginträngningsmotstånd på 250-300 kN/mm. Vi rekommenderar en krona av typen -4651-SXX.

(Fig. 7)

Detta visar oss, kanske lite förvånande att för borrmaskin A och C rekommenderar vi sfäriska stift, medan vi rekommenderar ballistiska stift till borrmaskin B.

Det visar även att borrmaskin A fungerar bättre med en krona försedd med några stora stift, medan borrmaskin B och C kräver en krona med flera små stift.

Slutsatsen är att olika borrmaskiner kräver olika borrkronor för att man ska få en hög verkningsgrad i borrsystemet, trots att det är samma berg.

Australien

En stor underjordsgruva i Australien använder 45 mm kronor på T38 - HEX 32 - R32 drifterstänger, 4.3 m långa vid drifterborrning. Som borrmaskin använder man en Tamrock HL438 borrmaskin. Gruvans standardkrona motsvarar vår -4245-BXX. När vi provborrade med vår -4645-SXX krona ökade vi både borrsjunkning och livslängd. En verkningsgradskurva baserad på borrmaskinen beräknades av Sandvik Rock Tools. Ett stycke kopparmalm skickades till Bergborrningslaboratoriet för uppmätning av berginträngningsmotstånd. Följande resultat kunde utläsas;
Borrmaskinen gav ett verkningsgradsmaximum på 64 % vilket motsvarade ett berginträngningsmotstånd på 200-270 kN/mm. De uppmätta skillnaderna i berginträngningsmotstånd för -4245-BXX och -4645-SXX är mycket tydliga. Vi rekommenderar naturligtvis krona typ -4645-SXX, vilket redan var bevisat.

Ryssland

En stor underjordsgruva i Ryssland använder 102 mm borrkronor till produktions-borrning. En verkningsgradskurva på deras borrningssystem ser lite annorlunda ut. Den maximala verkningsgraden är på 67 %, vilket i detta fall motsvarar ett berginträngningsmotstånd på 800-1000 kN/mm. Detta är ett mycket högt värde, även för en stor krona.

(Fig. 9)

© 1995 Svenska Bergteknikföreningen och författare

En typisk 102 mm borrkrona har 14 mm periferistift respektive 12 mm frontstift. För att erhålla en borrkrona med ett så pass högt berginträngningsmotstånd som krävs enligt ovan, provborrade vi med en borrkrona med avsevärt större stift. Det resulterade i en ökad borrsjunkning.

SLUTORD

CASE har visat sig vara ett mycket användbart verktyg för att hitta ett välbalanserat och anpassat borrningssystem, dvs borrmaskin, borrstålsdetaljer och berg i harmoni. Sandvik Rock Tools har på så sätt lyckats undvika dyr och tidskrävande provborrning av borrstålsdetaljer. I framtiden ser vi ytterligare utveckling och anpassning av CASE för att hjälpa kunderna i deras strävan att öka produktiviteten och sänka kostnaderna.

© 1995 Svenska Bergteknikföreningen och författare

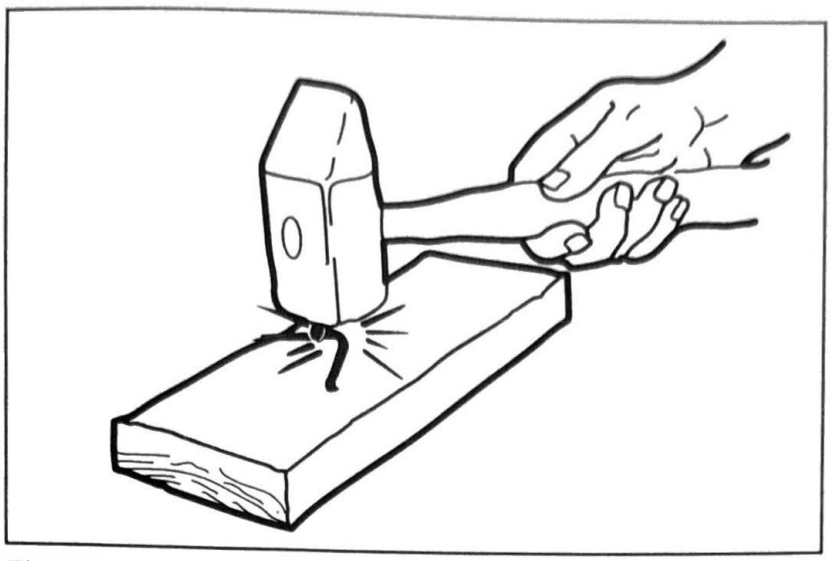

Fig. 1

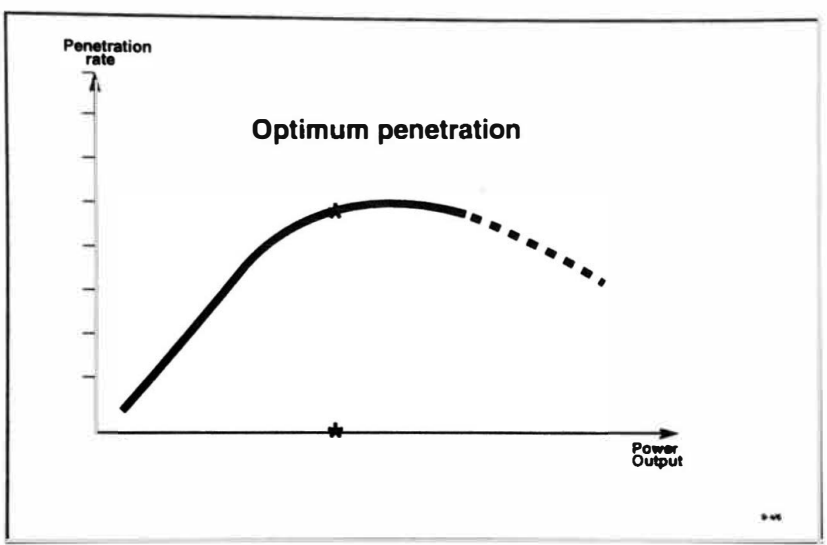

Fig. 2

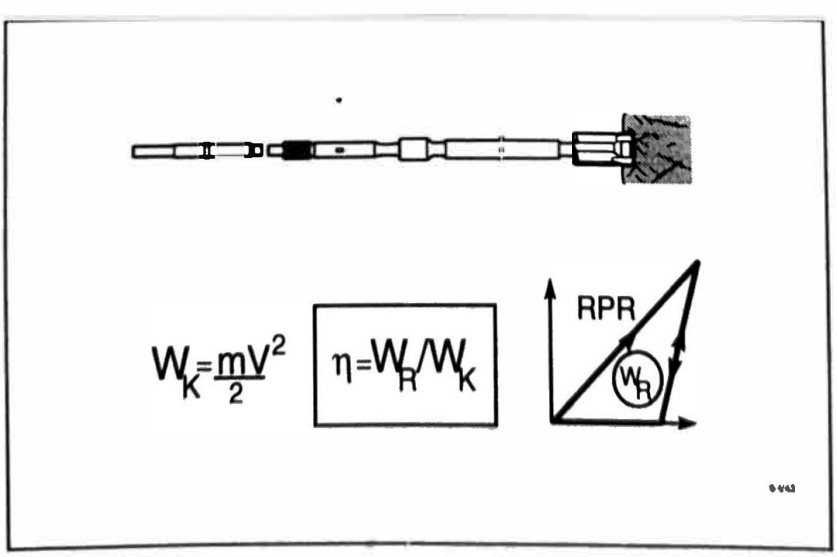

Fig. 3

© 1995 Svenska Bergteknikföreningen och författare

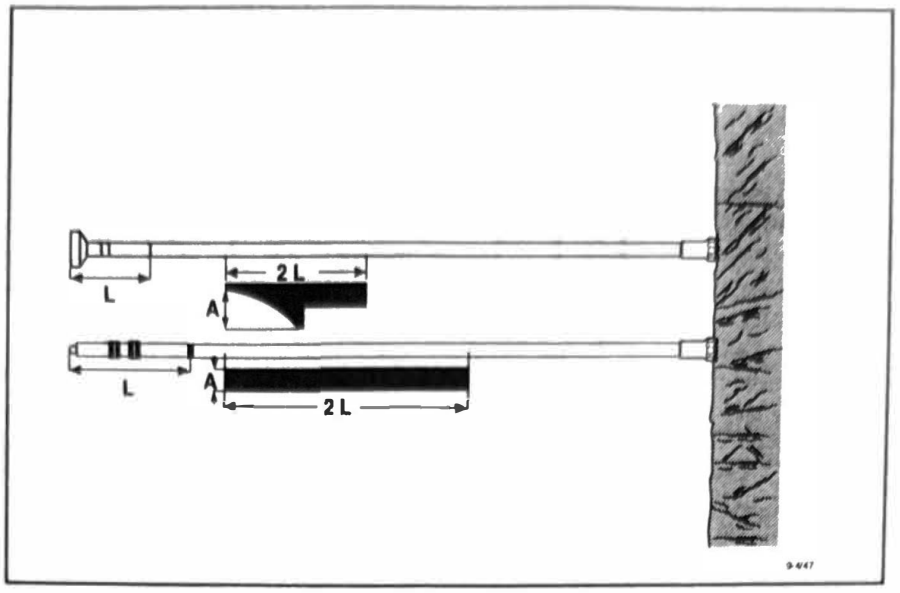

Fig. 4

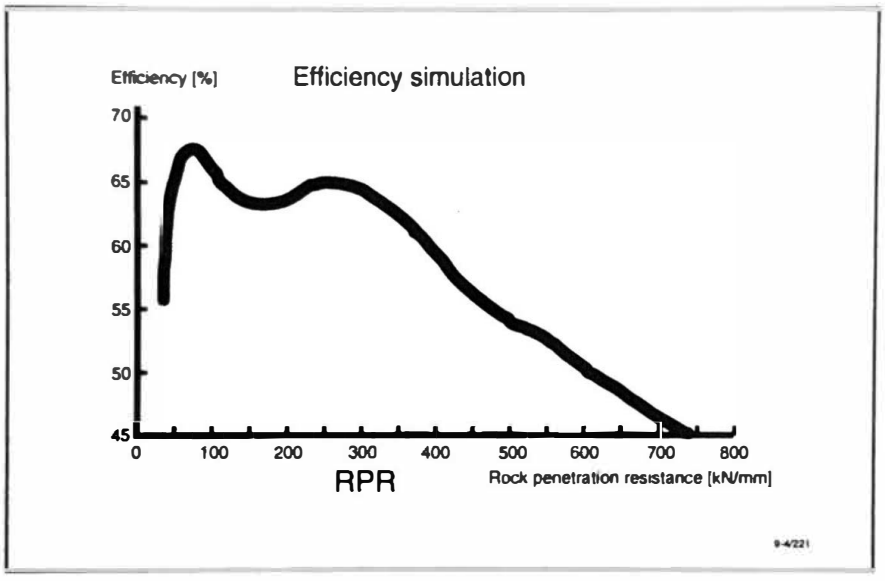

Fig. 5

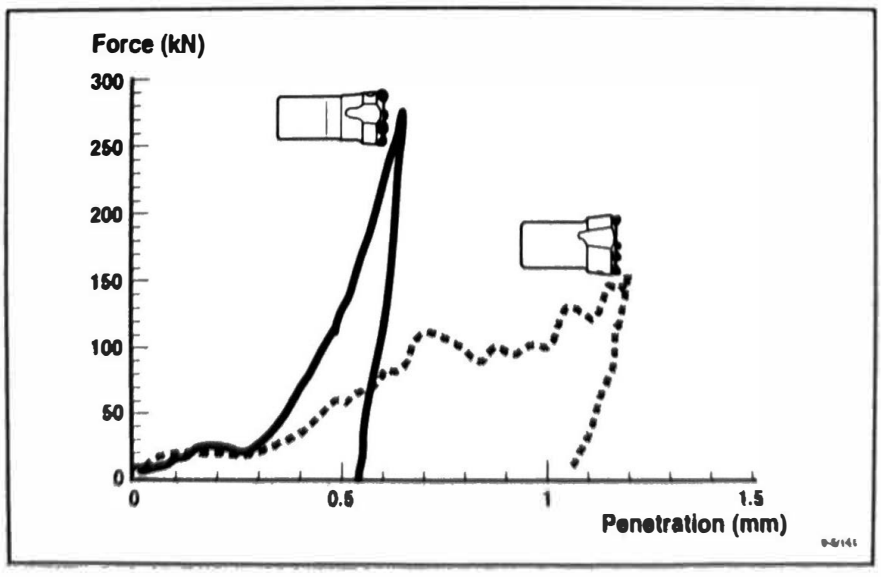

Fig. 6

© 1995 Svenska Bergteknikföreningen och författare

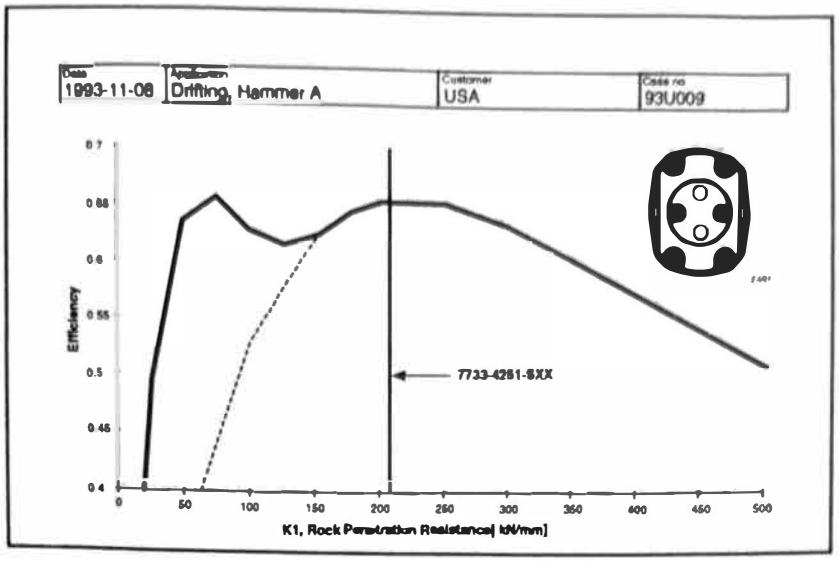

Fig. 7:1

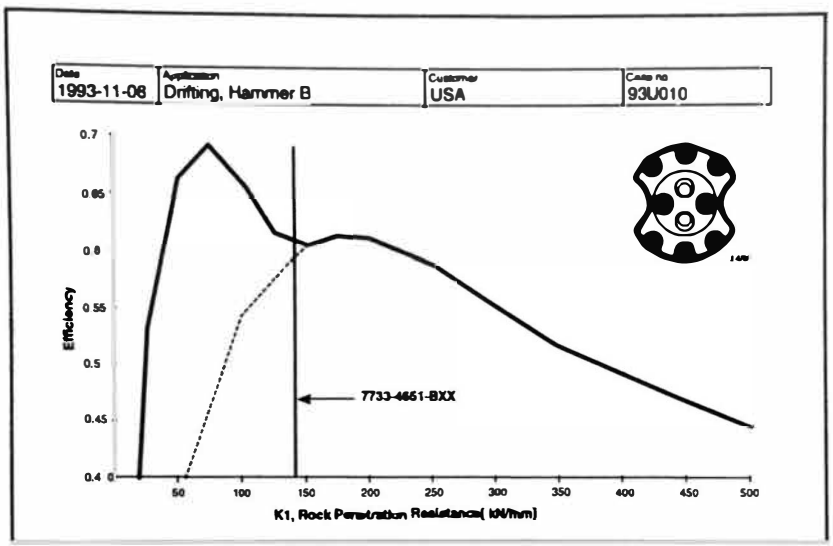

Fig. 7:2

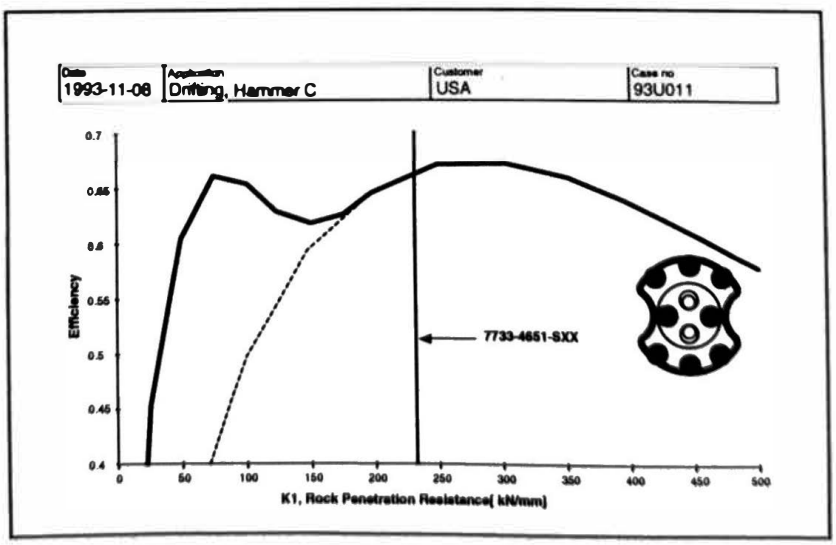

Fig. 7:3

© 1995 Svenska Bergteknikföreningen och författare

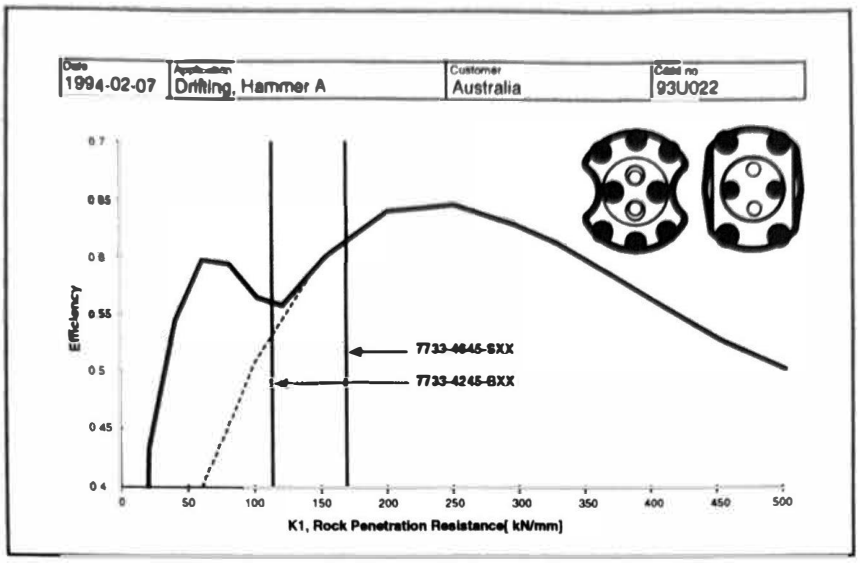

Fig. 8

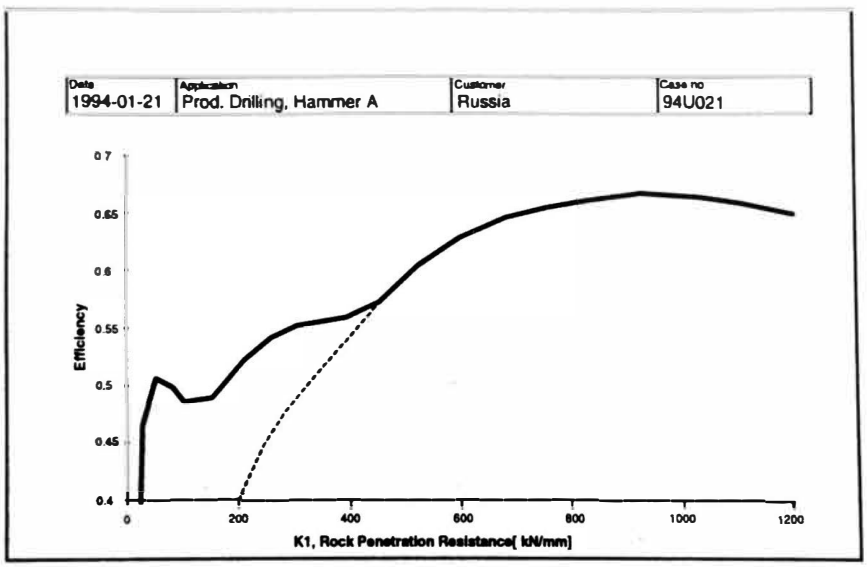

Fig. 9