© 1988 Svenska Bergteknikföreningen och författare

TEKNOLOGIER FÖR FRAMTIDA BERGBRYTNING
(Futures arbetsdag år 2018)

Jan Holdo, Atlas Copco AB, Stockholm

Future vaknade mjukt och stilla ur en härlig nattsömn på grund av den nya hemdatorns hjärnstimulerande elektromagnetiska väckningspulser. Denna nya datortillsats hade han anskaffat några dagar tidigare. Även efter den blötaste kväll kände man sig helfräsch bara efter några få timmars sömn. Future hette han efter pappa Ture och mamma Fu som var av kinesisk börd. Som flicka hette mamma FU-KUL-TJEJ. Pappa Ture hade träffat henne då han på 1960-talet hade rest som teknisk expert på Kina för Atlas Copcos räkning.

Det var endast i familjekretsen som man använde namnet "Future". I alla offentliga sammanhang användes numera individnumret 660229-0015. I kamratkretsen användes dock kortformen "0015".

Innan Future gick in i den tvål- och schampofria ultraljuds-masserande duschen, konstaterade han, att klockan var 06.42 torsdagen den 15 mars 2018. Han hade bara några veckor tidigare firat en härlig 52-årsdag. Sedan han dragit på sig den ultralätta arbetsdräkten med nervimpulsstyrd fukt- och temperatur-reglering gick han in i köket där frukostautomaten ställt fram en frukost vilken datorberäknats med hänsyn till den blodanalys som automaten gjort vid läggdags dagen innan, genom att Future stuckit in ett finger under några sekunder i automatens analys-modul. Härigenom fick frukosten exakt den sammansättning som skulle tillförsäkra Future maximal komfortkänsla under dagen.

Future arbetade i operatörslaget för driften vid gruvbolaget New Special Minerals Ltd. (NSM) vid deras gruva Semikolajauri. I Semikolajauri bröt man det nyupptäckta grundämnet Holdium. Ett ämne med hög kvark- och mesonaktivitet och med atomnumret 106 och atomvikten 259. Detta ämne hade fått stor användning på grund av dess katalysatorliknande effekt på kärnreaktionerna i både fissions- och fusionsreaktorer. Holdium nyttjades i det svenska kärnkraftprogrammet. Vid folkomröstningen 1998 hade man bestämt att detta program skulle gå vidare och utvecklas.

Den gammalmodiga, utvecklingsfientliga och osakliga inställningen hos delar av det svenska folket hade fått ge vika för en mer sansad syn på betydelsen av god tillgång till den miljövänliga och flexibla elenergin. Genom det vidareutvecklade kärnkraft-programmet hade också Sverige blivit en storexportör av elenergi

© 1988 Svenska Bergteknikföreningen och författare

till hela Europa där mycket av kol-, olje- och gasförbränningen nu upphört på grund av miljöskäl. Inte bara försmutsningseffekter hade antagit orimliga proportioner utan även den s k drivhus-effekten genom enorma och oundvikliga koldioxidutsläpp. Detta hade under flera år vållat stora översvämningar i alptrakterna på grund av stor glaciäravsmältning liksom också att havsytans medelnivå höjts 0,2 m på grund av ökad isavsmältning vid polar-trakterna. Inte minst danskarna var mycket glada att Barsebäcks-verket byggts ut för ökade elleveranser då man varit tvungna att följa EG-direktiven om miljöskydd och stänga så gott som alla de egna kol- och gaseldade kraftverken.

Avfallet från kärnkraftverken togs numera om hand enligt flera alternativa, säkra metoder. Den s k "svenska metoden" att depo-nera avfallet djupt ned i berggrunden med bentonit - koppar-inslutning hade visat sig mycket effektiv och ekonomisk. "Av jord är du kommen - jord skall du åter varda". På senare år hade man numera också börjat skjuta upp avfallet i raketer i riktning solen där det naturligtvis blev helt oskadliggjort. Därutöver hade det också visat sig att Semikola-gruvans Holdium - derivat hade en avaktiverande effekt på det förbruka-de kärnbränslet som gjorde detta strålningsfritt bara efter några få år.

Efter frukost kände sig Future verkligen pigg på att börja dagens arbete. Normalt arbetade han fyra 5-timmarsskift per vecka. Arbetet kunde han utföra vid gruvans operatörscentral på huvud-kontoret eller vid terminalen i bostadens kontorsmodul. Oftast föredrog han att åka ned till operatörscentralen för att få den stimulerande sociala kontakten med arbetskamraterna. Två av de fyra veckoskiften var han skyldig att vara i operatörs-centralen som jourreparatör om något allvarligt fel skulle inträffa. De flesta felen kunde åtgärdas genom fjärrstyrning från centralen eller de olika bostadsterminalerna men i bland krävdes direkt manuell reparationsinsats av personal ute i gruvan.

I dag hade Future valfrihet och hade bestämt sig för att sköta arbetet från hemmaterminalen. Hustrun hade känt sig litet hängig den senaste veckan och skulle därför i dag genomgå en kroppsdataanalys via dataöverföring till Ronald Reagan Memorial Hospital i Sacramento, Kalifornien. Undersökningen krävde anslut-ning av en del elektroder och analyssonder som Future måste hjälpa hustrun med.

Future gick in i arbetsmodulen och tog plats i den nya vatten/luftsvävarfåtöljen "Molnet", genom vilken yttrycket på kroppen var så lågt och jämnt fördelat att man tyckte sig sväva fritt i luften. Han talade om för terminalen att han var på plats och beredd att avlösa den avgående operatörskollegan. Datorns röst-analysator kontrollerade därvid att det verkligen var "0015" och att han hade behörighet övertaga operatörsuppgiften samtidigt som "release"-besked gavs till operatörskollegan. Future började med några kontrollfrågor till datorn om bergborrsystemen SIMBA X5 72 fungerade normalt och om matningen av lakningsvätskan var optimal.

© 1988 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Terminalen gav jakande besked både genom utskrift på den plana tavelskärmen och med den syntetiska röstgeneratorn. Future kunde därför slå sig till ro och bara avvakta om någonting onormalt skulle komma att ske.

Det stora problemet för operatörerna var att alla system normalt arbetade med mycket hög tillförlitlighet och tillgänglighet. Att under flera timmar då hålla sig pigg och på alerten vid dator terminalen kunde vara nog så svårt. Vid tjänstgöring i det centrala kontrollrummet kunde man naturligtvis umgås med de 5 kollegerna och utöva t ex motion i det angränsande aktivitets-centret. Via sin terminal kunde Future naturligtvis också del-taga i kamraternas samtal. Via terminaler kunde han också ta in olika förströelseformer, såsom elektroniska tidningar, TV-program, föredrag i olika ämnen, företagsspel mot andra gruv-företag, mm. Dessutom hade företaget i datorn lagt in olika simulerade driftstörningar vilka slumpvis och helt oregelbundet matades ut till operatörerna för åtgärd. Inte förrän efteråt gavs besked om det gällde ett verkligt eller simulerat fel. Då gavs också bedömning av de åtgärder som vidtagits. Detta var förutom uppmärksamhetstest också ett led i den ständigt pågående vidareutbildningen av operatörerna.

Medan Future tänkte på vad slags aktivitet han skulle ägna sig åt under arbetspasset gick hans tankar plötsligt tillbaka till ungdomsåren då han som 22-ing för första gången deltog i Berg-sprängningskommitténs diskussionsmöte i Stockholm 1988. Det hade varit en oförglömlig upplevelse att få lyssna till alla de intressanta föredragen från äldre erfarna kolleger. Speciellt minns han den reslige och vänlige generalsekreteraren - han hette bestämt Ottosson - som tipsat honom om några bra kontakter då det gällde att söka arbete.

Apropå Stockholm var ju denna ort inte längre Sveriges huvudstad. I en av de många folkomröstningar som varit under 1990-talet hade svenska folket bestämt att riksdag och regering skulle utlokaliseras till landsorten. Det hade varit den första helt datoriserade folkomröstningen där väljarna haft möjlighet att också ange förslag till ny lokaliseringsort. Med tanke på den intellektuella miljön hade därvid väljarna med överväldigande majoritet föreslagit Grönköping, en idyllisk stad mellan Hjo och Skövde.

För övrigt spelade riksdag och regering en allt mindre roll i och med att Sveriges nya stora riksdator tagits i bruk. Denna fattade automatiskt alla beslut efter att kontinuerligt inhämta alla väljares uppfattning via det allomfattande hemdatornätet. En viss gradering gjordes därvid också automatiskt med hänsyn till de olika väljarnas kompetens och erfarenhet.

Ett avbrott för åtgärdande av en felindikation från gruvans stora lakningsseparator gjorde att Future för några minuter måste lämna sina tankar på ungdomsåren. Felet var ett av de många simulerade och datorn gav några synpunkter på hur bra Future hade åtgärdat detsamma.

© 1988 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Hans tankar gick åter tillbaka till Bergsprängningskommitténs möte 1988 och han tyckte sig komma ihåg att en äldre man hade levererat ett föredrag om någonting som handlat om tekniken i framtida bergbrytning. Det kanske kunde vara kul att fördriva tiden med att lyssna på det föredraget och jämföra med hur det verkligen blev. Future kodade in sökorden "Bergsprängnings-kommittén 1988" och "Framtidsförutsägelse". Datorn svarade med "Teknologier för framtida bergbrytning" av Jan Holdo, Atlas Copco. Referat 15 minuter. Önskas uppläsning? Future beordrade upp-läsning och lutade sig tillbaka i fåtöljen.

På skärmen framträdde den digitalt lagrade 3-dimensionella bilden av en man i 60-årsåldern med trevligt utseende i talar-stolen på Älvsjömässan. Hans fasta och klara stämma återskapa-des i stereo av terminalens röstgenerator som till och med fram-hävde den vackra stockholmsdialekten.

Jan Holdo sade följande:

"Fysikaliska metoder för bergsönderdelning

På 60- och 70-talen pågick på många håll i världen omfattande studier av olika metoder för att bryta berg. Snart sagt varje fysikaliskt fenomen undersöktes. Vid sidan av de traditionella mekaniska metoderna såsom slående borrning och sprängning samt fräsande och krossande bergsönderdelning kan några exempel nämnas på s k exotiska metoder: Högtrycksvattenstrålar, höghastighets-projektiler, högtemperaturbrännare, elektrisk uppvärmning, elektriska blixturladdningar, ultraljud, laserteknik, elektron-strålar och smältning med små kärnreaktorer. Vi vet ju nu att ingen av dessa exotiska metoder lyckats slå igenom jämfört med de traditionella mekaniska metoderna. Detta hänger naturligtvis samman med de olika metodernas effektivitet och uppskattade ekonomi. Jag avstår från att här ge någon beskrivning av dem och nöjer mig med att visa några jämförelsetal på deras "energieffektivitet". Denna anges som volymen berg som bryts sönder per tillförd energienhet angiven i mm^3 berg per Joule. Tabell I visar dessa jämförelsetal.

Tabell I

Metod	Volym berg/energienhet mm^3/J
Borrning och sprängning	250 1)
Artilleri	110
Fullortsborrning	20
Skärande borrning (endast hålvolym)	5 - 10
Erosionsteknik (högvattenstråle)	1

1) Sprängmedlet utför praktiskt taget hela arbetet, stort styckefall

Om vi i stället gör jämförelsen för slitsskärning får vi följande tabell.

© 1988 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Tabell II

Metod	Slitsarea/energienhet m^2/kWh	mm^2/J
Slående borrning (sömborrning)	0,5	0,14
Laserskärning	0,2	0,06
Erosionsteknik	0,2	0,06
Fräsande bearbetning	0,2	0,06
Tunnelborrning (medelhårt berg)	3,6	1,0

Om vi summerar ovanstående redovisning kan vi dra slutsatsen att de mekaniska metoderna för bergbrytning kommer att dominera även efter år 2000. Med mekanisk bearbetning menar jag därvid slående och roterande spränghålsborrning och fräsande och krossande road-headers och tunnelborrningsmaskiner. Jag räknar in sprängning bland de mekaniska metoderna, eftersom det är gastrycket som spräcker upp berget. Möjligen kommer högtrycksvätskestrålar i speciella fall att komplettera de ovannämnda processerna.

Det betyder, att vi under flera decennier framöver kommer att driva orter och tunnlar med maskiner som arbetar efter samma principer som i dag. Metoderna och maskinerna kommer naturligtvis gradvis att förbättras och förfinas för att möta krav på snabbare arbete och lägre totalkostnader. Inte minst utvecklingen på materialsidan kommer att ha stor inverkan på bergbrytningstekniken."

Apropå material. Future avbröt terminalens refererande. Han kom att tänka på att han borde gå in och kontrollera status för skären på produktionsfräsarna. Han beordrade därför terminalen en sådan undersökning. Efter någon sekund kom svaret att alla skär var "O.K." åtföljt av prognosen att skärbyte borde utföras efter ytterligare 200 driftstimmar. Numera var det mycket få skärproblem sedan de nya "Biotriplexskären" introducerades för ett tiotal år sedan. Dessa skär hade en automatisk tillväxt i de områden där förslitningen tenderade att vara störst. I det porösa grundmaterialet av titan- och volframkarbid med inslag av bornitrid (därav "triplex") hade man impregnerat kulturer av genmanipulerade bakterier av arten "Bacillius tribologus". Dessa små mikrovarelser hade egenskapen att i sin ämnesomsättning föra slitmaterial från skärets bakre delar till de varmare partierna där slitaget förelåg. Idén påstods enligt ryktet ha kläckts mot slutet av 80-talet av dåvarande chefen för Sandvik Rock Tools, Lars Östholm, då han efter en skidtur skrapade sina liktornar. Denna upptäckt hade för övrigt också lett till att Sandvik fusionerats med Fermenta.

Efter skärkontrollen återgick Future till Jan Holdos föredrag.

"Stora maskiner - stora investeringar

Vad som är intressant för den framtida bergbrytningen är naturligtvis inte bara energiförbrukningen utan även andra faktorer

© 1988 Svenska Bergteknikföreningen och författare

som på ett väsentligt sätt påverkar kostnadsbilden. Ett intressant diagram publicerades för några år sedan av Dr. P-A Persson och Dr. Finn Ouchterlony, SveDeFo. Detta diagram 1 visar den totala brytningskostnaden per m^3 berg som funktion hål/tunneldiametern från diametern 0,025 m upp till 25 m. Kostnadsskalan är relativ för att undvika inverkan av valutafluktuationer och inflation. Typiska värden för de olika mekaniska bergbrytningsmetoderna har markerats. Borrning och sprängning har därvid räknats som en mekanisk metod.

Det är intressant att notera hur kostnaden per m^3 utbrutet berg avtar omvänt proportionellt mot hål eller tunnelarean. 10 ggr större hålarea minskar kostnaden per m^3 till en tiondel. Storskalighet betalar sig. Åren framöver kommer vi därför att se en fortsatt trend mot storskaligare metoder och större och effektivare maskinsystem. Detta innebär större investeringar och krav på god tillgång på billig elenergi om vår konkurrenskraft skall bibehållas. Stor bergavverkning kräver också stora matningskrafter. För att åstadkomma dessa måste maskinerna göras tunga och stabila eller spännas fast mot bergväggarna. I diagram 2 visas sambanden mellan matningskraft, maskinvikt, eleffekt och ungefärlig framdrift för slående borrning, roadheaders och tunnelborrningsmaskiner.

Slående borrning är en intermittent bearbetningsmetod vid vilken höga sönderbrytningskrafter kan erhållas med måttliga matningskrafter. Tänk på knämatningsmaskinen med endast några 100-tal N matningskraft som kan slå sönder berg med flera tusen bars tryckhållfasthet.

Allt eftersom ökande borrningskapacitet krävs måste de slående maskinerna sättas på bommar och riggar för att ge de nödvändiga matningskrafterna.

Om bergförhållandena så medger kan snabbare indrift erhållas med kontinuerligt arbetande maskiner. En sådan maskintyp med stor flexibilitet är s k roadheaders (varför inte bomfräsmaskiner på svenska). Dessa är fräsande maskiner som successivt bearbetar delar av bergytan. De går vanligen på larvband och är därför relativt lätt flyttbara. Ju hårdare berg - ju tyngre maskin för att ge stabilitet vid de högre skärkrafterna.

De mest kontinuerligt arbetande maskinerna är tunnelborrningsmaskinerna som bearbetar hela tunnelarean på en gång. De kräver därför mycket stora matningskrafter - så stora att det vore orimligt dyrt att bara åstadkomma dessa med hjälp av maskinvikten. Dessa maskiner måste därför spännas fast mot bergväggarna. Av den anledningen ligger "matningskraftskurvan" över "viktskurvan" i diagrammet.

I och med att materialet i skär för både bomfräsmaskiner (roadheaders) och tunnelborrningsmaskiner utvecklas kommer dessa maskiner att kunna arbeta i allt hårdare bergarter. Detta betyder dock icke att borrning och sprängning behöver minska i betydelse. Den senare metoden har stora fördelar dels i hårt berg dels i applikationer där stor anpassbarhet till varierande

© 1988 Svenska Bergteknikföreningen och författare

tunnel- och bergrumsareor krävs.

Energitillförsel

En viktig fråga för framtida bergbrytningsutrustningar är energisystemet. Den primära energikällan är för närvarande elenergi eller dieselkraft. Den senare i begränsad utsträckning för underjordsbruk men mycket allmänt använd i ovanjordsapplikationer. Om någon förskjutning sker mellan dessa bägge primärenergier kommer det att vara mot elenergi - dock under förutsättning att inte elenergin görs orimligt dyr genom ingrepp från våra politiker.

Flertalet maskiner i gruv- och entreprenörverksamheten kommer att som hittills drivas direkt med el. Framtida elsystem kommer att med hjälp av kraftelektronik erbjuda vida större möjligheter för styrning och reglering av motorerna med hänsyn till skär krafter, varvtal, bergförhållanden, osv. Genom sensorer kan drivsystem alltid styras att arbeta med optimala driftsförhållanden. För lastning och transport under jord speciellt men även för ovanjordsarbeten kommer elenergi att användas i allt högre utsträckning.

Vid slående borraggregat kommer elenergin att vara primär drivkälla men för manöver av bommar och drivning av själva borrmaskinerna kommer man allt framgent gå via hydraulisk tryckenergi. Arrangemang med lineära elmotorer har inte och kommer ännu länge heller inte att ha den höga energitäthet som krävs i slående maskiner.

Då det gäller utvecklingen på själva bergbrytningsprocessen samt energitillförseln till denna skall vi inte förvänta oss någon revolution utan snarare en evolution i många småsteg men för den skull inte mindre betydelsefulla.

Automatiserade totalsystem

Genom modern datorteknik för styrning och kontroll av bergbrytningsprocessen kommer vi däremot att uppleva en revolution. Helautomatiska, avståndskontrollerade och avståndsstyrda maskiner kommer att bli vardagsföreteelser. Bemanningen ute i driften kommer att bli mycket begränsad och huvudsakligen endast att utgöras av reparatörs- och servicemanskap. Redan i dag finns den erforderliga tekniken till stora delar tillgänglig och den första generationen maskiner finns framme.

Exempel är det helautomatiska borraggregatet Atlas Copco Robot Boomer. Detta är ett 2-boms borraggregat med datorstyrning så att en komplett tunnelsalva kan borras utan något ingrepp eller någon närvaro av operatör. Operatörsinsats behövs endast för framkörning och uppställning av aggregat varefter det sköter sig helt på egen hand. Datorn är programmerad att ta hand om alla de varianter av störningar som kan uppstå vid borrning i en ortgavel och som normalt pareras av en operatör.

© 1988 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Ett exempel på den första generationen av morgondagens produktionsborrningsaggregat är SIMBA 269-02. Detta är ett sänkborraggregat med fullständig automatik för borrning av 100 m djupa hål. Flera aggregat kan samtidigt avståndsövervakas från en särskild operatörskabin.

Atlas Copco-Eickhoffs bomfräsmaskiner (roadheaders) kan redan i dag förses med dator i vilken huvudprofilen programmeras och efter vilken maskinen sedan styrs.

Att koppla ihop dessa automatmaskiner med en gemensam driftscentral är naturligtvis redan i dag tekniskt möjligt. Svårigheterna att göra detta finns på det praktiska planet. Bergbrytning är ännu i dag en verksamhet som kan bjuda på många oförutsedda, icke programmerbara överraskningar vilka kräver mänskliga bedömningar och improvisation. Ras, bergförstärkningsbehov, vatteninströmning, skut, mm är exempel på sådana faktorer. Många deloperationer förekommer också vilka inte ännu kunnat automatiseras. De hårda och krävande miljö- och driftsbetingelserna vid bergbrytning gör också att driftsäkerhet, förebyggande underhåll och service måste utvecklas innan den helautomatiska bergbrytningen ser dagens ljus. En ny teknik som därvid blir en nödvändighet är datorbaserade expertsystem i bland betecknade "artificiell intelligens". Med hjälp av den bärbara dataterminalen kan serviceingenjören på reparationsplatsen föra en dialog med all samlad expertkunskap och erfarenhet som lagrats i datorns minne. Genom väl strukturerade frågor och svar kan felsökning göras snabbt och effektivt varefter lämpliga åtgärder för reparation anvisas. Hela detta expertsystem kan lagras i maskinens egen dator och kopplas direkt samman med maskinens felindikeringar.

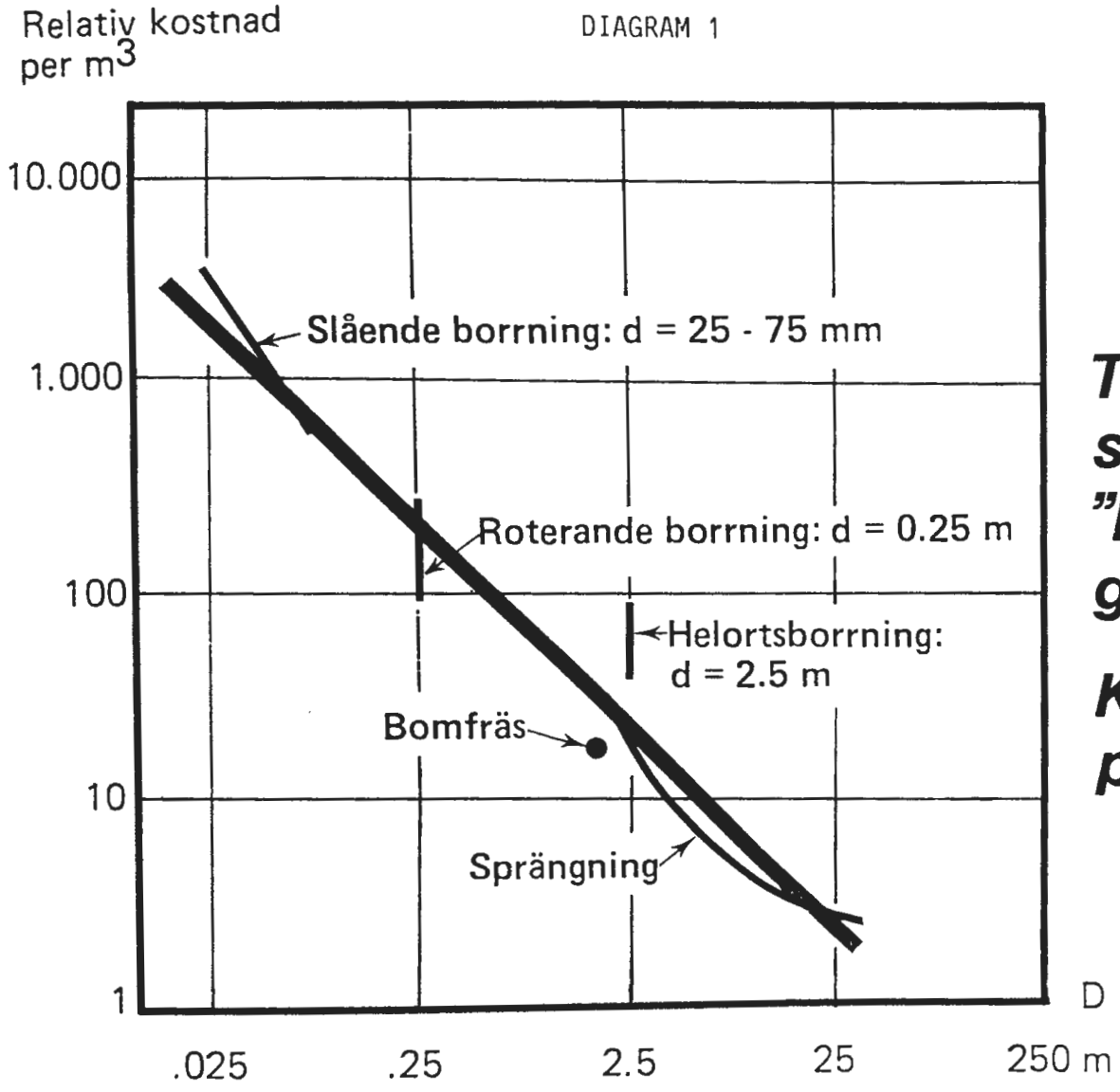
De sociala faktorerna

Andra viktiga faktorer som måste beaktas på vägen mot den helautomatiska bergbrytningen är ekonomi och sociala förhållanden. Stora investeringar krävs som måste utnyttjas i kontinuerlig drift under långa tidsperioder för att ge återbäring. De samhällen där en verksamhet av detta slag skall bedrivas står naturligtvis också inför stora sociala och samhälleliga förändringar som måste beaktas och problemen lösas för att de tekniska möjligheterna också skall ge utslag i form av förbättrad livskvalitet för medborgarna. Detta ligger dock utanför ramen för detta anförande."

Sedan bilden av Jan Holdo tonade bort på bildskärmen ackompanjerad av applåderna i Älvsjöhallen gjorde Future den reflektionen att allt det som sagts verkligen stämde med den verklighet han själv fått uppleva. Han funderade om möjligen Jan Holdo också levde och fått uppleva denna 30-åriga period av fantastisk teknisk utveckling inom bergbrytningen. Karlen borde vara omkring 90 år nu. Future beslöt sig för att via medborgarfilen försöka få kontakt med Jan Holdo. Det kunde vara trevligt att få en pratstund med honom. Efter några få sekunder meddelade terminalen att Jan Holdo avlidit bara några få dagar tidigare och just nu var på väg med begravningsraketen mot den eviga vilan i universum. Vi lyser frid över hans minne.

Atlas Copco

DIAGRAM 1



Total brytningskostnad som funktion av "håldiameter" i svensk granit.

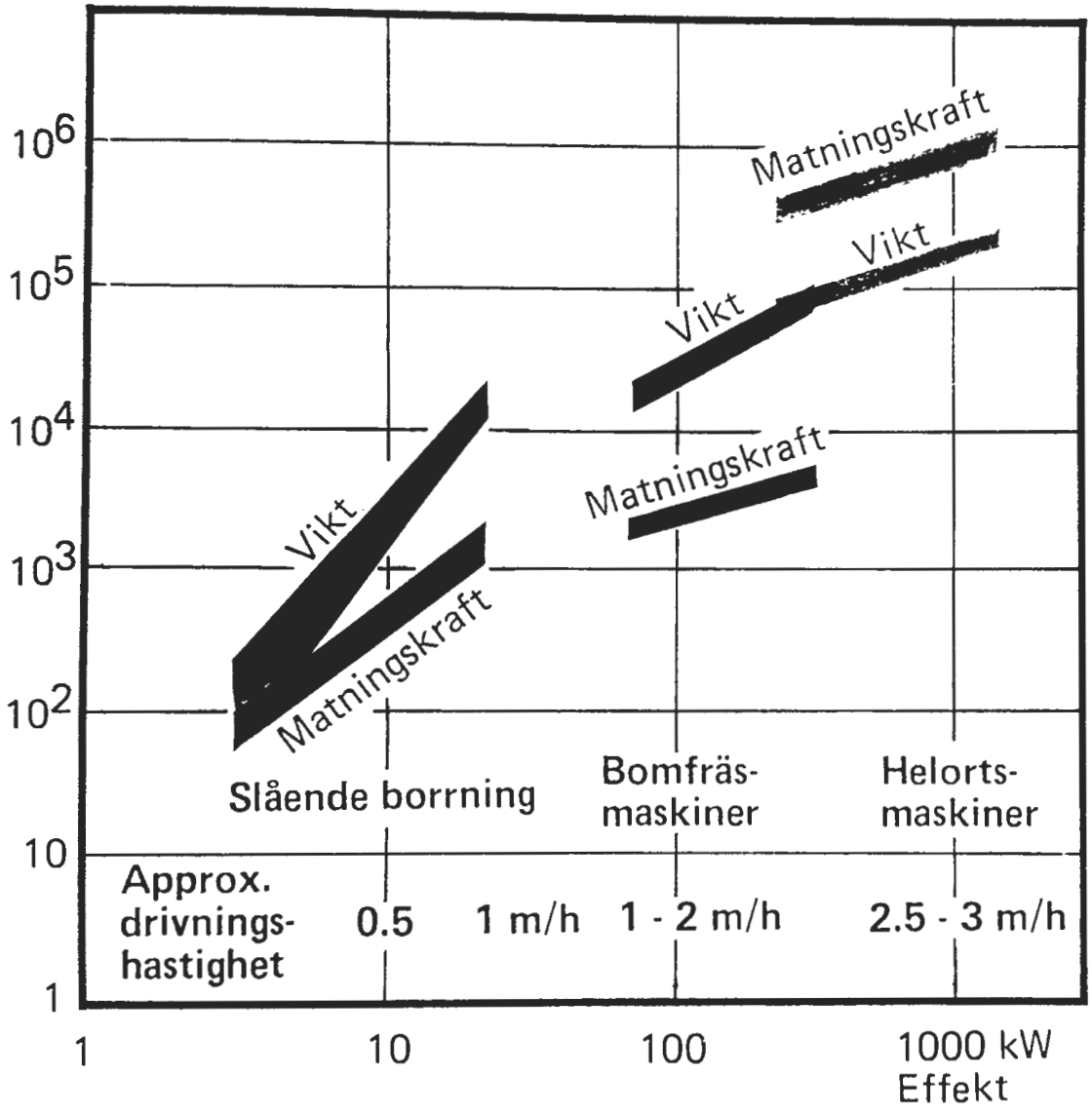
Kostnaden per m³ är proportionell mot 1/D.

© 1988 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Tunnelarea approx. 25 m^2
i medelhårt berg

DIAGRAM 2

Kraft kp eller
vikt kg



Matningskraft och maskinvikt för tunneldrivning som funktion av effektinsats.

© 1988 Svenska Bergteknikföreningen och författare