

F O R E D R A G

fra

KONFERANSE I FJELLSPRENGNINGSTEKNIKK

Oslo, 14.november 1969

Arrangør:

NORSK FORENING FOR FJELLSPRENGNINGSTEKNIKK  
Tilknyttet N.I.F.

INNHALDSFORTEGNELSE

---

	Foredrag nr.
Bergartenes betydning ved fullprofilboring Bergingeniør Snorre D. Brønder	I
Fullortsborring av tunnlar Øveringenjör Peter Barendsen	II
Erfaringer fra tunneldrift i Stockholm med DEMAC fullprofilbormaskin Sivilingeniør Iver Øhmann	III
Erfaringer fra tunneldrift i Sveits med Wirths tunnelbormaskin Diplomingeniør Willi Hildebrand	IV
Greenside-McAlpine Rock Tunneller - erfaringer fra tunneler i Storbritannia Sivilingeniør Pirrie	V
Enkelte økonomiske betraktninger ved fullprofilboring Bergingeniør Snorre D. Brønder	VI

## Åpning av fjellsprengningskonferansen 1969

På vegne av Norsk Forening for Fjellsprenningsteknikk ønsker jeg alle deltagere i årets fjellsprengningskonferanse velkommen.

De vil se at vi i år bryter noe med det opplegget som vi har vært vant til fra de tidligere konferanser. For det første har vi begrenset oss til én dag, og for det annet har vi bare tatt opp ett emne, nemlig fullprofilboring.

Vi anser imidlertid dette emne for å være av meget stor interesse. Vi vet alle at der idag drives mange tunneler med fullprofilboring, mange har vært ute for å studere metoden, og vi spør alle om dette er noe for oss.

Hittil har vi antatt at fullprofilboring utelukkende var en metode for bløte bergarter, både av tekniske og økonomiske grunner. Nu ser det ut til at det teknisk kan gjennomføres i forholdsvis hårde bergarter, selv om farten i fremdriften da blir betydelig redusert. Vi er imidlertid nødt til å spørre etter det økonomiske resultat, og da er det vel ennu vanskelig å forstå at det kan bli tilfredsstillende når vi tenker på at det koster ca. 1000 kr./m<sup>2</sup> bare i borslitasje å bore et hull med serie 11 i våre vanligste bergarter. Fullprofilboring vil jo si at tunnelen nu er blitt et eneste stort borhull, og da koster også bormaskinen litt mer enn en vanlig knematermaskin.

Våre foredragsholdere, som vil omtale fire av de maskiner som er i bruk i Europa i dag, er nok klar over vår skepsis overfor metoden, og vi håper at de skal hjelpe til at vi får utbytte av dagen.

Denne konferansen går som de tidligere inn i N.I.F.'s kursprogram ved Kursavdelingen, mens Kontor for Fjellsprenningsteknikk under bergingeniør Heltzen har den faglige ledelse.

Med håp om et godt utbytte erklærer jeg hermed konferansen for åpnet, og gir ordet til bergingeniør Heltzen.

Sivilingeniør M. G. Johnsen

Formann

BERGARTENES BETYDNING  
VED FULLPROFILBORING

av

Bergingeniør Snorre D. Brønder

BERGARTENES BETYDNING VED FULLPROFILBORING.  
-----

De data og de synspunkter som blir fremlagt i dette foredraget, bygger hovedsaklig på det arbeid som ble utført i forbindelse med min diplomoppgave på NTH, høsten 1968, og det materiell som ble samlet i den forbindelse.

Når man ved et prosjekt vurderer konvensjonell drift og fullprofilboring som alternative løsninger, vil man straks se at for fullprofilboringens vedkommende vil borkronekostnadene som regel være den avgjørende faktor. Disse kostnadene er først og fremst avhengige av bergarten som skal bores. Hvor store variasjoner det her er tale om ser man på de oppnådde resultater; i sandsten har man operert med kronekostnader under kr. 3,- pr. m<sup>3</sup> (A Zotea, 630 kp/cm<sup>2</sup>), mens man i hardere bergarter har kommet opp i over kr. 100,- pr. m<sup>3</sup> utboret. Kjente anslåtte kostnader ligger over kr. 200,- pr. m<sup>3</sup>. Videre har også inndriftene variert sterkt med bergartene, fra drøye 5 m/t i sandsten ned til 0,5 m/t i granitt.

Det er derfor nødvendig, før man kan bestemme seg for fullprofilboring, å utarbeide grundige prognoser for inndrift og kronekostnader. Kalkylene bygger på geologiske feltundersøkelser og på laboratorieprøver.

Først påpekes enkelte spesielle forhold ved fullprofilboring med henblikk på de geologiske forholds betydning. Derefter skal laboratorieprøvingen søkes belyst noe nærmere.

Dårlig fjell kan være brysomt i enhver form for tunnel-drift. Ved bruk av tunnelmaskiner kommer det ekstra moment inn at er ikke fjellet sterkt nok til å motstå maskinens fastspenningskraft, kan maskinen ikke bore. Dette er viktig å understreke. Det har vært diskutert svært

meget hvor hardt fjell maskinene kan bore. De fleste maskiner idag vil alltid kunne true seg gjennom de hardeste partier, om enn til en høy meterpris, men overfor dårlig fjell kan man stå temmelig hjelpeløs.

Vanninntrengning i en tunnel kan redusere inndriften opptil 50%, ved at borsynken blir redusert, og ved at vannet skaper vanskeligheter i maskinens transportordninger, (lasteskuffer og transportbelte), massen vaskes vekk.

I lagdelte bergarter har man registrert, under ellers like forhold, en variasjon i borsynk på opptil 20% ved å endre vinkel i forhold til lagdelingen.

Langs en tunneltrasé kan det opptre mange forskjellige bergarter, og man kan dessuten ha gjennomsettende ganger av forskjellig mektighet. Da forskjellige bergarter kan kreve forskjellige borkroner, står man i slike tilfelle ovenfor et optimaliseringsproblem: hvor mektig skal et parti være før det lønner seg å skifte ut alle borkroner med en annen type innen man går løs på boringen? En nøye kartlegging er her nødvendig, for å få utnyttet de resultat man får fra laboratorieundersøkelse fullt ut.

En meget viktig del av det geologiske feltarbeidet er å skaffe representative bergartsprøver til laboratorieundersøkelse.

Borbarhet kan defineres som bergartens reaksjon på borkverktøyets innvirkning. Borbarhet er derfor et spørsmål om borsynk, men også om sliteegenskaper. Faktorer som innvirker på borbarheten er: bergartens hardhet, enkeltkornenes styrke, bindingskraften mellom kornene, sliteegenskaper, elastisitets-egenskaper, sprøhet og smidbarhet. Dessuten innvirker skifrihet og sprekker som måtte finnes i bergarten.

Ønskemålet er å kunne uttrykke borbarhet ved en eller et sett standard bergartsparetere. En vanskelighet her er vel at selve bruddforløpet ved rotasjonsboring ikke er godt nok kjent.

En metode som her er foreslått av Judd, bygger på statistisk behandling av 14 forskjellige bergartsegenskaper, deriblandt egenvekt, hardhet målt på forskjellige måter, porøsitet, statisk og dynamisk E-modul, trykk og strekkstyrke, Poisson's tall og slagholdfasthet.

Lignende metoder har vært foreslått av andre, men selv om de kan gi gode resultater, så er de så omfattende, vanskelige og dyre og utføre, at det neppe kan bli tale om noen utvikling av dette til en standardmetode.

Som klassifiseringskriterier anvendes idag mest Moh's hardhet og enakset trykkstyrke.

Tabell I angir Moh's hardhet for en del bergartstyper:

Tabell I

Lerskifer:	vanligvis under	3
Sandsten:	mellom	3 og 7
Kalksten:	Ren kalsitt	3
Glimmerskifer:		4 til 5
Granitt:		6 til 7
Gneiss:		6 til 7
Krystallinske skifere:		4 til 5

Moh's hardhet gir imidlertid en forholdsvis grov grade-ring. Verdien for de forskjellige mineraler i en bergart kan også være vidt forskjellige. Alene er derfor ikke Moh's hardhet noe grunnlag for bestemmelse av borbarheten, men sammen med andre opplysninger kan den være nyttig.

Det mest anvendte klassifiseringskriterium er enakset trykkstyrke. Grunnene til dette er flere.

Først og fremst viser trykkstyrken en god sammenheng med borsynk. Direkte proporsjonalitet har man ikke, det viser Fig. 1, hvor man ser en Virginia dolomitt og en Gray granitt, begge med trykkstyrke  $2200 \text{ kp/cm}^2$ . Allikevel er borsynken ved samme matetrykk tre (3) ganger så høy i dolomitten som i Granitten. Man kan allikevel si at innen snevrere områder viser trykkstyrke bedre sammenheng med borsynk enn de fleste andre parametere.

En annen fordel ved enakset trykkstyrke er at prøvene er forholdsvis enkle og billige å utføre, noe som sikkert har bidratt til metodens popularitet.

Det er grunn til å understreke at forskjell i prøvemethodikk kan gi forskjellige verdier.

Lengde/diameterforholdet på prøvestykket spiller en viss rolle, lavere forhold gir høyere bruddverdi. Under samme L/D-forhold vil en større diameter gi lavere trykkstyrke. På NTH, Inst. for Gruvedrift, brukes L/D-forholdet 2,5, i U.S.A. for det meste 2,0, mens Internationales Buro für Gebirgsmechanik foreskriver 1,0. Enkelte utfører også trykkprøvene på kubiske prøvestykker. Videre variasjoner i resultatene kan man få inn ved forskjellig behandling av endeflatene, (smøring, tremellomlegg) og ved forskjellig belastningshastighet.

Det hevdes at samtidig som man oppgir et prøveresultat, burde man også definere prøvemethoden. Dette kan være til hjelp slik at man er forsiktig ved sammenligning av verdier målt ved forskjellige metoder. Noen direkte korreksjonsfaktorer som gjør at man kan overføre resultatene til en felles standard, er det imidlertid ikke tale om. For den vesentlige del av de verdier som finnes i litteraturen er prøvemethoden ikke definert, så anbefalingen er vanskelig å følge i praksis.

Den eneste fullgode løsning er at man enes om en standardmetode og at denne gjennomføres konsekvent.

Til tross for de innvendinger som her er anført, er enakset trykkstyrke det nyttigste klassifiseringskriterium vi har, og det vil her bli anvendt.

For å gi et begrep om den normale størrelsesorden, vises til tabell 2 og 3. De understrekede bergarter er prøvet ved Institutt for Gruvedrift, NTH, med L/D.-forhold 2.5. Andre data for prøvemethodene er ikke kjent.

Ut ifra sammenligninger som i tabell 2, er tabell 3 satt opp.

Da de fleste slike oppstillinger bygger på trykkstyrke, anbefales imidlertid å bruke trykkstyrken direkte, i stedet for de vagere formuleringer sterke, svake etc.

Av andre klassifiseringskriterier enn Moh's hardhet og enakset trykkstyrke, kan man særlig tenke seg anvendt E-modul og strekkstyrke. De forskjellige metoder gir imidlertid her ennu større spredning i resultatene enn for trykkstyrkens vedkommende. Det som tidligere er sagt om standardisering, gjelder selvfølgelig også for disse undersøkelser.

Man skulle ellers kunne vente bedre sammenheng mellom borsynk og E-modul og borsynk og strekkstyrke, enn mellom borsynk og trykkstyrke, og det er ikke umulig at disse kriterier vil bli mere benyttet i fremtiden.

Et spørsmål som her kun skal nevnes, er borhullets størrelse. Det har stort sett vært regnet med at man kan overføre data fra borhull, opptil 12", til tunnelmaskiner. Det er en utbredt oppfatning at energibehovet pr. flateenhet utboret synker med økende flate i rotasjonsboring, men såvidt vites regner ingen med dette i dimensjonering av maskiner.

Noe nær en konklusjon på det overstående kan det være at de forskjellige borkronefabrikanter, for å vise hvor vanskelig fjell de har boret, gjerne opererer med en-akset trykkstyrke. Når det derimot gjelder å undersøke bergarter for å gi prognoser eller tilbud, så griper de til andre metoder. Da anvender man gjerne forsøksprosedyrer som kopierer boringen, man finner frem til forskjellige indekser og sammenholder disse med prøver i laboratoriet og i full skala på kjente bergarter.

Ut ifra dette kan man ekstrapolere forventet borsynk og kroneslitasje. Dette skal illustreres ved å gjennomgå en fabrikants metode i mere detalj.

Prøveprogrammet omfatter:

1. Lawrence Standard Punch Test.
2. Lawrence Groove Punch Test.
3. Lawrence Abrasion Test.

Fig. 2. viser utstyret for Standard punch test og Groove punch test.

En hardmetallstift (TEST BUTTON) av samme type som benyttes i borkronene, påmontert en fast oppsatt hydraulisk sylinder (RAM).

En mikrometerklokke (DIAL INDICATOR) med nøyaktighet 0.025 mm (0,001 inch).

Et presisjonsmanometer (PRESSURE GAUGE) for avlesning av oljetrykket til sylindren.

En hydraulisk pumpeenhet med regulerbar trykkavlastningsventil (FORCE CONTROL VALVE) og regulerbar gjennomstrømningsventil.

Prøvestykkene blir inispisert, og en prøve uten større sprekker blir valgt. En plan flate fremskaffes ved å sage stykket over med en diamantsag. En stålsylinder, 115 mm ø og svakt kon innvendig benyttes til prøveholder.

Prøven støpes fast med en gipsmasse som har en utvidelsesfaktor på 0,002%. Dette gir et visst innspenningstrykk.

Hvis prøvestykker er lagdelt, foregår prøvingen perpendikulært på lagdelingen, hvis boreretningen er angitt, blir stykket montert slik at boreretning og prøveretning faller sammen.

Hardmetalstiften presses sakte inn i prøvestykket, mens inntrengning og stiftbelastning leses av for hver 0,25 mm (0,01 inch). Ved å dividere stiftbelastning med den prosjekterte flate av den inntrengte del av stiften, og ta gjennomsnittet av 3 slike avlesninger, fremkommer uttrykket Compressive hardness,  $S_c$ :

$$S_c = \frac{\frac{F_1}{A_1} + \frac{F_2}{A_2} + \frac{F_3}{A_3}}{3}$$

Ved å avlaste stiften og lese av inntrengningen når belastningen igjen når null, får vi permanent deformasjon  $D$ . Borsynkindeks  $d_i$  fremkommer som:

$$d_i = \frac{\frac{F_1}{D_1} + \frac{F_2}{D_2} + \frac{F_3}{D_3} + \frac{F_4}{D_4}}{4}$$

For å få frem en verdi må selvsagt kraften være så stor at man får en permanent deformasjon. Den kraft hvorved denne først fremkommer, kalles primary spall force.

Hvis kraften pr. stift kommer under denne grense, vil man ikke få noen boring.

Når man kjenner  $d_i$  for en bergart, og belastningen pr. stift på tunnelmaskinen,  $F$ , er inntrengningen  $d$ :

$$d = \frac{F}{d_i}$$

Borsynk, angitt i fot pr. time,  $d_r$ ,

$$d_r = d \text{ (RPM av kutterhodet) } \left( \begin{array}{l} \text{Antall kroner} \\ \text{pr. "sti"} \end{array} \right) \quad 5$$

Maskimale stiftbelastning i proveriggen er 16.000 psi. På en tunnelmaskin vil sjelden en så høy belastning tillates av hensyn til lagrene i borkronene. De ovenfor anførte ligninger regnes ikke for holdbare ved inntrengninger over 2,5 mm (0,1 inch).

Det som her er beskrevet, stenen som blir knust direkte under stiften, er den kostbare del av boringen. Lawrence bygger sine kroner etter kerf-prinsippet, og her spaltes det fjellet som ligger mellom meiseleggene av ved strekk- eller skjærkrefter.

Det finnes altså en optimal avstand mellom meiseleggene, er avstanden for liten bruker man flere kroner og mere energi enn nødvendig, er avstanden for stor vil meiseleggene bli skadet uten at fjellet mellom brytes. Den avstand bestemmes med Lawrence groove punch test.

Ved hjelp av gjennomstrømningsventilen og trykkavlastningsventilen innstilles apparaturen slik at stiften trykkes inn med en hastighet og kraft som tilsvarer verdiene som opptrer ved boring. Ved å "punch" rekke med forskjellig innbyrdes avstand kan man bestemme den optimale avstand.

Borkronenes levetid er avhengig av belastningen på borkronen og bergartens sliteegenskaper. Belastningen bestemmes hovedsaklig ved valg av maskin og diameter. Bergartens slite-egenskaper finnes ved Lawrence abrasion test.

1 kg. av bergarten, siktefraksjon - 14,3 mm + 5,6 mm, godt vasket, legges i en laboratoriemølle sammen med et nøyaktig veiet stålstykke, 22 mm langt og 22 mm  $\varnothing$ . Møllen roterer i 23 timer, stålstykket blir vasket og veiet, og vektforringelsen benyttes som et uttrykk for

bergartens sliteegenskaper. For å få en standard har man satt "Barre Granite" fra New England til 1.0.

På bakgrunn av disse prøver blir borsynk, kronenes levetid og dermed kronekostnaden fastlagt.

For å undersøke riktigheten av borsynkprognosene ble det på 11 forskjellige steder i Lawrence Avenue Tunnel tatt prøver. Maskinens borsynk over en to fots distanse på disse stedene ble nøye målt og sammenholdt med Laboratorieresultatene. Prognosene lå innen  $\pm 12\%$  av de faktisk oppnådde resultatene.

Andre fabrikanter benytter lignende metoder, felles for dem er at de bygger på en etterligning av rotasjonsboringen og ikke på noen rent teoretisk begrunnelse av borforløpet.

For å vise hvordan disse prøvene virker i praksis, skal resultatet av prøver, utført på bergarter fra Bærum, refereres.

#### Tabell 4.

	Syenittporfyr	Diabas	Skifer
<u>Gruppe I.</u>			
Borsynk	0.5 m/t	1.5 m/t	0.9 m/t
Inndrift, 24 timer	10 m	22 m	15 m
Kronekostnader	180 kr/m <sup>3</sup>	46 kr/m <sup>3</sup>	93 kr/m <sup>3</sup>
<u>Gruppe II.</u>			
Borsynk	2.4 m/t	1.5 m/t	2.0 m/t
(Inndrift, 24 timer	35 m	22 m	30 m)
Kronekostnader	50 kr/m <sup>3</sup>	80 kr/m <sup>3</sup>	59 kr/m <sup>3</sup>

Resultatene i Gruppe I er beregnet for en 3.5 til 4.5 m ø maskin. Hver prøve er betraktet som representativ for et uavhengig fjellparti av denne kvalitet. Man har regnet med kronetype "Rolling Tungsten Carbide Inserts", rullemeisler med hardmetallstifter. Kalkylene understrekes å være konservative.

Resultatene i Gruppe II er beregnet for en 3.65 m ø maskin. Kutterhodet antas å rotere med 10 RPM, og matetrykket er satt til ca. 13 000 kp pr. kutteregg.

Også her er prøvene betraktet som representative for uavhengige fjellparti. Man har regnet med Kerfkroner med meiselegg besatt med hardmetallstifter. Avstanden mellom meiseleggene er satt til 6.3 cm. Om ytterligere opplysninger skulle medføre endring i disse valgte størrelser, vil det ha stor betydning for borsynk og kronekostnader.

For prøvene i begge grupper fremgår det at man ønsker ytterligere opplysninger og prøver før man kan gi et bindende tilbud.

Det er vanskelig å si hva som er grunnen til den store forskjell man observerer for boring i samme bergart. Det skal imidlertid påpekes at forskjellige kronetyper er benyttet. Dessuten er det valgte matetrykk som er lagt til grunn for beregningene i Gruppe II meget høyt, sannsynligvis vesentlig høyere enn hva man har regnet med i Gruppe I.

Tabell 2

Bergart	Sted	Enakset trykk- styrke kp/cm <sup>2</sup>	strek- kp/cm <sup>2</sup>	skjær kp/cm <sup>2</sup>
<u>Kalksten</u>	<u>Kjørholdt</u>	1009	51	150
<u>Kalksten</u>	<u>Dalen</u>	1280	75	135
Kalksten	Ohio, USA	1500	37	88
Kalksten	Indiana, USA	760	25	92
Kalksten	St.Louis, USA	1000-1340		
Kalksten	Breedon, UK	1260-1400		
<u>Sandsten</u>	<u>SNSK</u>	1865	141	229 (II)
<u>Sandsten</u>	<u>SNSK</u>	2225	128	234 (I)
Sandsten	Ohio, USA	730	8	39
Sandsten	Pennsylvania, USA	1030	16	63
Sandsten	Pennsylvania, USA	880	9	63
Sandsten	Hartz, Tyskland	2200		
Sandsten	Arizona, USA	140- 850		
<u>Gneis</u>	<u>Sydvaranger</u>	1359	108	320
<u>Gneis</u>	<u>Sydvaranger</u>	1618	131	429
Gneis	Bessams, Frankrike	1400		
Granitt	Colorado, USA		41	140
Granitt	Texas, USA	1200-2500		
<u>Diabas, fink.</u>	<u>Sydvaranger</u>	2570	268	421
<u>Diabas, grovk.</u>	<u>Sydvaranger</u>	2560	153	450
Magnetitt	Mineville, USA	1440-1860		Mager malm
Porfyr	Kiruna	3000-4000		
Knippa Basalt,	USA	2600		
Syenittporfyr	Bærum	2000		
Diabas	Bærum	2180		
Skifer	Bærum	1350-1530		
<u>Malm</u>	<u>Sydvaranger</u>	2091	130	577

Tabell 3.

	Eksempler
Svake b.a. under 500 kp/cm <sup>2</sup>	Lerskifer
Middels b.a. 500 - 1000 kp/cm <sup>2</sup>	Kalkstener, sandstener
Middels sterke b.a. 1000 - 2000 kp/cm <sup>2</sup>	Kalkstener, glimmerskifre, marmor sandstener, Kvartsitter, malmer, gneiser, granitter
Sterke b.a. 2000 - 3000	Granitter, diabaser, kvartsitter, syenitter, gneiser, sandstener og malmer
Meget sterke b.a. over 3000	Kvartsitter, Porfyrer, Granitter, gneisser, gabbro

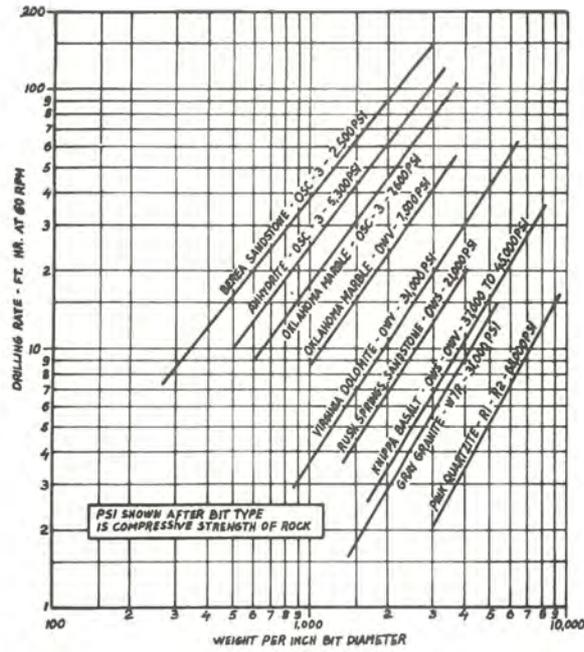


Fig. 1.

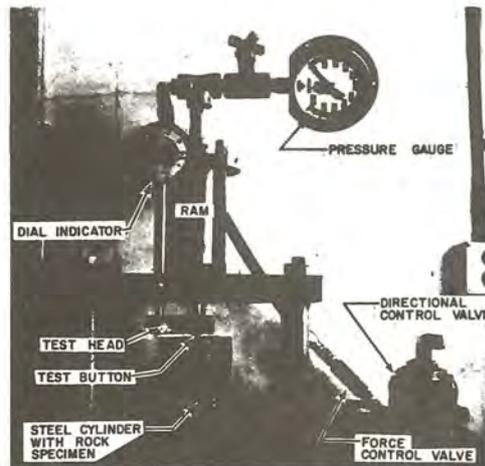


Figure 1 Punch Test Fixture

This fixture has been designed to impress a rock cutter button into a confined rock specimen. Prior to testing a block is placed between the test head and the steel cylinder and the full hydraulic load is applied. The power unit and relief valve are not shown.

Fig. 2.

FULLORTSBÖRNING AV TUNNLAR

av

överingenjör Pieter Barendsen, Stockholm

## FULLORTSBORRNING AV TUNNLAR.

### 1. Innledning.

Blickar man tillbaka till början av den snart 120-år gamla utvecklingen av tryckluftdrivna bergbormaskiner och tillämpningen av moderna sprängmedel, så är det mycket klart att de senare framstegen inspirerades av förra seklets tunneldrivare.

1800-talets stora tunnelbyggen föranledde en generell mobilisering av tekniska resurser. De tidigare järnvägstunnelarna, såsom Frejus och Hoosac, fäste många uppfinnares intresse vid utvecklingen av bergbormaskiner och båda dessa tunnlar inspirerade till en framgångsrik alstring och tillämpning av tryckluft som drivmedel för maskinerna.

Idag står högt-mekaniserade utrustningar för borrhning och lastning till förfogande för snabb och ekonomisk drivning enligt den konventionella metoden "borrhning - sprängning - lastning". Det fortsatta utvecklingsarbetet kommer säkert att leda till ännu effektivare maskiner, som medger en ytterligare ökning av drivningshastigheten samt en minskning av den manuella arbetsinsatsen. Å andra sidan kan man också vara säker på att den cykliska drivningsmetoden, med sina typiska nackdelar, i det långa loppet ej kommer att kunna försvara sin nuvarande ställning av absolut hegemoni. För att kunna tillgodose det snabbt växande behovet av tunnlar för olika ändamål, behövs nya metoder, som medger en snabbare, säkrare och billigare drivning genom användning av mycket avancerade maskiner för en kontinuerlig drivningsteknik utan sprängning, så kallad "fullortsborrhning".

Den moderna fullortsborrhningstekniken började utvecklas för femton år sedan inom anläggningsindustrin och har sedan

avancerat så långt, att den idag med ekonomiskt godtagbara resultat finner användning för sänkning av schakt samt för stigorts- och tunneldrivning i vissa mjukare bergarter. Medan schakt- och stigortsborrning har baserats på oljeborrningstekniken och även vissa tunnelmaskiner har lånat en del verktyg därifrån, så har framför allt för arbete i hårdare bergarter nya idéer börjat inkorporeras i maskinerna för horisontell drivning. Detta föredrag ägnas åt den senare typen.

Huvudproblemet vid tunneldrivning utan sprängning består i att utveckla verktyg, samt en drivningsanordning för dessa, som är i stånd att kontinuerligt bearbeta berget på så sätt, att det på en acceptabel kostnadsnivå sönderdelas i bitar av lämplig storlek. Styckefallet bör utfalla så, att godset med mekaniska hjälmedel lätt och störningsfritt kan transporteras bort från gaveln och ut ur tunneln.

Innan vi går in på de olika praktiska lösningar som finns för detta problem, ges en resumé över de tidigare försöken som gjorts för att komma till praktiskt användbara fullortsmaskiner..

## 2. Historisk översikt.

Fullortsdrivning av tunnlar är långt ifrån ett nytt begrepp. Redan år 1856 vid drivning av den ökande Hoosac Järnvägstunneln i Massachusetts, USA som med en längd av 7,5 km. tog 21 år att färdigställa, provades en första maskin, byggd av Wilson. Den tycks ha avverkat 3 m sammanlagt innan den förvisades till skrothögen. Detta öde delades av ytterligare två experimentmaskiner i samma tunnel.

Bättre resultat uppnåddes med Colonel Beaumonts 2,1 m  $\emptyset$  maskiner år 1884. Den ena drev ca 35 m/vecka i Mersey tunneln i England, medan den andra avverkade totalt 2.500 m undersökningstunnel för den projekterade tunneln under den engelska kanalen med en hastighet av 15 m/dygn inte mindre

än 53 arbetsdagar i följd. Den använde tryckluft som drivmedel och arbetade med fasta skär på ett roterande borrhuvud. (Fig. 1)

Från 1884 till 1953 har ett 15-tal maskiner konstruerats och provats men endast några få byggdes i mer än ett exemplar.

Liksom på stigortsborrningens område är namnet Robbins knutet till pionjärarbetet när det gäller dagens generation av tunneldrivningsmaskiner.

James S. Robbins var, mot slutet av 1940-talet, lierad med the Goodman Manufacturing Co och utvecklade kontinuerligt arbetande kolbrytningssmaskiner åt dem, Robbins bildade eget bolag och James S. Robbins & Associates började utveckla den första "äkta" tunneldrivningsmaskinen år 1953. Den var fortfarande delvis bestyckad med fasta skär och sattes in vid Oahe Dam, South Dakota, år 1954. Maskinen hade en diameter av 8,0 m, en installerad effekt av 450 hk och uppnådde en drivningshastighet av ca 3 m/tim - i mycket mjuk skiffer - med en matningskraft av endast 80 t. Ytterligare en sådan maskin levererades år 1955 till samma arbetsplats. Sedan följde ett trettal mindre experimentmaskiner och år 1956 sattes den första komplett med rullborrhuvud bestyckade maskinen in i Toronto i berg med ca 800 kp/cm<sup>2</sup> tryckhållfasthet. Maskindiameter 3,25 m, installerad effekt 300 hk, matningskraft 150 t, drivningshastighet ca 3,0 m/tim. Det första steget på den långa vägen fram till tunneldrivningsmaskiner för hårdare bergarter hade klarats av.

### 3. Tunneldimensioner, användningsområden och drivningsmetoder.

Tunnlar drives för olika ändamål och med vitt skilda tvärsnittsareor. I fig. 2 har ett försök gjorts att klassificera diameterarna efter användningsområdet. Allmänt betraktas en diameter av ca 2 m som den nedre gränsen för såväl konventionell som fullortsdrivning: därunder kan mekanisk utrustning

helt enkelt icke komma till användning av utrymmes skäl. Beroende på tunnelns längd och bergarten i fråga anses 25 - 30 m<sup>2</sup> idag utgöra den övre gränsen för tillämpning av fullortsborrningsmetoder.

Efter drivningssätt kan, i stort sett oberoende av diametern, en uppdelning i tre huvudgrupper tillämpas.

1. Konventionell drivningsmetod
2. Drivning med sköldmaskiner i jord och lösa bergarter.
3. Drivning med fullortsborrningsmaskiner i olika fastare och hårda bergarter.

Den konventionella drivningsmetoden kommer här endast att beröras som jämförelseobjekt.

#### 4. Sköld - maskiner.

Sköldmaskiner användes i icke-ståndfast material, som behöver hållas upp tills tunnelns permanenta beklädnad kan installeras direkt bakom maskinen. Skölden fyller denna uppgift och hela maskinen trycks vanligen emot gaveln med hjälp av hydrauliska domkrafter, som har sitt mothåll vid det sist installerade beklädnadssegmentet. Drivningen är alltså cyklisk, med avbrott för installation av beklädnadssegmenten, som kan utgöras av gjutna eller svetsade stålsektioner eller betongblock, med en längd i tunnelriktningen av 0,5 - 1,2 m. På gavelnsida är dessa maskiner försedda med anordningar för uppluckring av det genomborrade materialet, vanligtvis i form av med tänder bestyckade roterande eller oscillerande armar. (Fig. 3a).

Calweld är den absolut största tillverkaren på området i USA. För arbete i något fastare material, som krita och hård lera, har de på senare tid även tillverkat maskiner med s.k. "disc cutters". (Fig. 3 b).

I Europa tillverkas denna typ av maskiner av Kinnear - Moodie och McAlpine i England, samt Bade och Demag i Tyskland.

Sköld-maskiner finns för diameterområdet 2,1 - 10,0. Vid en rationell uppläggning av arbetet bakom maskinen uppnås t.ex. för drivningen av Londons tunnelbana - 4,3 m Ø - i genomsnitt 125 m/vecka.

#### 5. Fullortsborrningsmaskiner för hårdare bergarter.

Denna grupp kan, efter det sätt på vilket den slutgiltiga tvärsnitts-arean arbetas fram, delas upp i två olika typer av maskiner, nämligen:

1. Maskiner som i varje ögonblick bearbetar hela gaveln under kontinuerlig frammatning av borrhuvudet, d.v.s. den typ, som vi nu har blivit vana vid att kalla "fullortsmaskiner". (Fig. 4).
2. Maskiner med ett borrhuvud, som är väsentligt mindre än tunnelns tvärsnitt och vilket endast kan bearbeta gaveln i fram och återgående rörelser. Matningen sker diskontinuerligt i tunnelns längdriktning.

Denna typ har utvecklats för ortdrivning i kolgruvor av Eickhoff i Tyskland (fig. 5), samt Mavor & Coulson och Greenside - McAlpine i England, där de kallas för "road-headers". I USA finns Goodman och Joy Sullivan bland tillverkarna av denna typ, som vi här inte skall taga upp.

Gruppen av "äkta" fullortsmaskiner låter sig i sin tur fördelas efter det sätt, på vilket verktygen bearbetar berget. Denna söndertagning av berget kan, enligt praktiska erfarenheter hittills, åstadkommas på två olika sätt, nämligen genom krossning eller genom skärning. Andra söndertagningsprinciper är teoretiskt tänkbara men måste än så länge betraktas som alltför exotiska för att komma till användning i praktisk drift.

Vid krossande bearbetning trycks ett kil- eller konformat verktyg med mycket stor kraft mot berget, varvid bergets hållfasthet överskrider och krossning uppträder genom sprickbildning och urflisning. För att kunna utföra detta arbete kontinuerligt är verktygen utformade som rotationskroppar, "roller bits" eller "disc cutters" (fig. 6a, b), som fritt roterande monteras på ett roterande borrhuvud av tunnelns

diameter. Samtliga maskintillverkare utom en tillämpar denna bearbetningsprincip.

Vid skärande bearbetning sönderdelas berget på principiellt samma sätt som vid fräsning av metaller (fig. 7). Därvid bildas givetvis inga egentliga spån eftersom sådana, som är kännetecknande för metallbearbetning med skärande verktyg, vid skärning i berg omedelbart går sönder på grund av bergets sprödhet. Denna bearbetningsprincip, på vars fördelar vi skall gå in längre fram, ligger till grund för Atlas Copcos fullortsborrningssystem.

Maskiner med rullborrkronor eller "disc cutters" är i allmänhet snarlika och uppvisar ungefär samma prestanda vid jämförbara installerade effekter. De utgör det långt största antalet av alla de maskiner, som hittills varit i drift. Fullortsaggregat arbetande efter den skärande principen avviker i mångt och mycket från de roterande krossande maskinerna. Av många har de en längre tid betraktats som olämpliga för hårdare bergarter. Denna uppfattning har på senare tid visat sig vara felaktig. Innan vi dock går in på detta, behöver vi ett ögonblick stå stilla vid detta svårt definierade begrepp "bergets hårdhet".

#### 6. Bergets hårdhet.

Inom internationella entreprenad-kretsar betraktas allt i jordskorpan förekommande material som berg, om det är av sådan hårdhet, att borrar och sprängning eller någon liknande, hög-energi-process måste tillgripas för dess sönderdelning.

Bergarterna klassificeras sedan vanligtvis efter hårdhet uttryckt i tryckhållfasthet i  $\text{kp/cm}^2$ . En sådan indelning har gjorts i fig. 8 för några vanligare bergarter. Av denna framgår, att mycket stor spridning förekommer i hållfasthetsvärdena. Detta beror inte endast på att stora variationer uppträder för bergarter med samma petrografiska beteckning på olika håll i världen, men även på själva provningsförfarandet.

I publikationer om fullortsmaskiner nämns oftast endast ett enstaka max. värde, men inte något om hur stor del av den totala volymen provstenen representerar eller om själva provningsförfarandet. Detta måste betraktas som helt otillfredsställande. För att kunna jämföra olika bergarters "fullortsborrbarhet" på ett meningsfullt sätt, bör åtminstone hänsyn tagas till följande faktorer:

1. Tryckhållfasthet av cylindriska eller kubiska prov för homogena partier utan sprickbildning. Form och storlek av provkroppen såväl som provningsförfarande (fastspänning, fuktighet, kraft-tid-kurva, antal mätningar, o.s.v.) bör internationellt regleras, eller åtminstone anges för varje enskilt fall.
2. Moh's hårdhet eller ett annat hårdhets-jämförelsetal för de i provet förekommande mineralerna med mindre än 0,5 mm kornstorlek.
3. Moh's hårdhet samt klyv- eller skjuvhållfasthet för alla komponenter med 0,5 mm - 20 mm kornstorlek.
4. Analog med tryckhållfastheten kan eventuellt en beskrivning av fyllnadsmassan mellan mineralkornen ge en anknytningspunkt.
5. Sprickbildning och andra diskontinuiteter inom områden 1 - 5 samt 5 - 50 cm.
6. Ett mått på bergets slitande egenskaper: halt av frikvarts el. dyl.

Man kan dock förmoda, att en sådan standardisering av provningsmetoderna kommer att tillhöra samma kategori av önskedrömmar som standardiseringen av tunnel-diametrarna.

#### 7. Bergets borrarbarhet.

Trots tryckhållfasthetens ofullkomligheter som måttstock för bergets borrarbarhet, relateras dessa två faktorer ofta med varandra.

Robbins har enligt fig. 9 uttrycks bergets ekonomiskt acceptabla borrarbarhet för slitande och icke-slitande bergarter i kurvor, som samtidigt illustrerar vissa metallurgiska framsteg från 1958 till 1968. Bilden är naturligtvis schematisk och någon

hänsyn har tydligen inte tagits till variationer i tunnel-längden, diametern, skillnad i arbetslöner mellan industrialiserade och utvecklingsländer o.s.v.

Ett annat samband mellan bergets borrhårhet och dess hårdhet har försökt illustreras i fig. 10, som mycket generaliserande antyder vilken indrift man bör kunna räkna med för en viss effektförbrukning i bergarter av olika hårdheter. Kurvorna har baserats på statistik under något så när lika driftsförhållanden och anger om inte annat, de skärande maskinernas väsentligt lägre effektbehov.

P.g.a. svårigheten att entydigt bestämma bergets tryckhållfasthet och denna storhets olämplighet för borrhårhetsbedömning per se vill vi här varna mot yttranden såsom: "Idag kan vi fullortsborra berg av 2500 kp/cm<sup>2</sup>". Det gäller nämligen inte att rent mekaniskt kunna sönderdela berget. Avgörande är, om man kan göra det på en ekonomiskt acceptabel nivå för ett individuellt tunnelprojekt. Att därvid hänsyn måste tagas till alla de på priset för den komplett färdigställda tunneln inverkanse faktorerna, bör vara självklart.

Att tunneldrivning enligt fullortsmetoden överhuvudtaget har blivit ekonomiskt möjlig har tre huvudorsaker:

1. Tack vare utvecklingen inom området hydraulik fick man tillgång till förhållandevis billiga kraftöverföringskomponenter med mycket höga prestanda och små dimensioner.
2. Metallurgiska framsteg har gjort det möjligt att tillverka hållbara verktyg.
3. Stigande arbetslöner har fremkallat en långt driven mekanisering.

The US Bureau of Reclamation, som drivit ett stort antal bevattningstunnlar, har publicerat kurver, som illustrerar den stigande kostnadstrenden för konventionellt drivna tunnlar under åren 1930 - 1960. Dessa bekräftar inte endast den allmänna "penningvärdesförsämringen", utan även det faktum, att en något större diameter kan leda till en billigare tunnel i 3 m Ø-området. (Fig. 11).

Att mekanisering blir ett ständigt attraktivare alternativ belyses av indextalen för arbetslöner och utrustningarnas pris. Differensen växer och människan står sig tydligen slätt på arbetsmarknaden ! (Fig. 12.)

### 8. Fullortsdrivningens för- och nackdelar.

Mycket har sagts och skrivits om fullortsborrningens för- och nackdelar jämför med den konventionella drivningsmetoden. Här summeras därför endast de viktigare punkterna.

#### Fördelar.

##### 1. Säkerhet.

Berget utsättes inte för sprängning och försvagas därför nästan inte alls genom sprickbildning. Markskakningar undvikas dessutom helt.

Den cirkelformiga sektionen är ytterst stark mot tryck utifrån.

##### 2. Överberg.

Överberget reduceras från vanliga 20-30% till 5% eller mindre. Detta betyder inte endast lastnings- och transportvinster, utan även en minskning av bergförstärknings- och ingjutningskostnaderna. (Fig. 13.)

##### 3. Arbetskraft.

Fullortsborrning medger en minskning av personalen vid gaveln.

##### 4. Bergtransport.

P.g.a. bergets jämna styckefall kan kontinuerligt arbetande transportsystem tillämpas. (Fig. 14).

##### 5. Drivningshastighet.

Maskinernas kontinuerliga arbetssätt medger ett bättre utnyttjande av arbetstiden.

I fastare bergarter uppnås redan idag indrifter, som är fullt jämförbara med konventionella, medan fullortsborrning

definitivt uppvisar bättre siffror i löst eller trasigt berg. Mot bakgrund av den ständigt fortskridande teknologiska utvecklingen, kan man räkna med att fullortsborrning kommer att många gånger slå den konventionella metoden även i hårt berg, speciellt inom diameterområdet 2 - 6 m.

### Nackdelar.

#### 1. Kapitalinvestering

P.g.a. maskinernas höga pris kan fullortsborrning endast komma i fråga för vissa, diameter-beroende, minimum tunnellängder.

#### 2. Leveranstid.

Maskinernas höga pris och bristen på standardisering av tunneldiametrar gör det omöjligt att lagerföra kompletta maskiner. Beroende på hur långt man vågar gå i uppbyggandet av ett beredskapslager av vissa, för olika maskiner gemensamma komponenter, och beroende på tunnelns diameter, d.v.s. maskinens storlek, varierar leveranstiderna idag från 9 månader till 1 1/2 år. Så långa tider kan förorsaka kritiska situationer.

#### 3. Driftssäkerhet.

Än så länge har vi att göra med en förhållandevis ny teknik och antalet driftsstörningar, speciellt i hårdare bergarter, är förhållandevis högt. Det finns, även p.g.a. underhållsarbeten och verktygsbyten, ytterst få maskiner som, över hela tunnelns längd, arbetar mer än 60% av den totalt disponibla arbetstiden.

Eftersom allt arbete dessutom utföres av en enda maskin, står arbetet helt stilla vid minsta lilla defekt. Man behöver, därför ett omfattande lager av reservedelar på arbetsplatsen samt tillgång till kunniga reparatörer, framför allt elektriker och hydraulexperter.

#### 4. Erfarenhet.

Tunneldrivning är, även om den utföres på konventionellt sätt, ett arbete, som medför stora risker, inte minst finansiella. I detta begynnelsestadium vill entreprenören inte gärna lägga till ytterligare den riskfaktor, som den okända maskinen innebär för honom.

### Slutsats.

Allt eftersom fullortsmaskinerna utvecklas vidare, kommer nackdelarna att bli av mindre betydelse, medan fördelarna endast kan öka. Det får därför betraktas som ofrånkomligt, att fullortsborrning erhåller större användning i framtiden för drivning av tunnlar för vilka valet av drivningsmetod är öppet.

### 9. Fullortsmaskiners allmänna uppbyggnad.

Fig. 15 illustrerar fullortsmaskinernas allmänna arbetssätt samt de huvudkomponenter, som de undantagslöst innehåller:

1. Borrhuvud, som bär verktygen och är lagrat i
2. Maskinkroppen, som i sin tur är kopplad till
3. Matningsanordningen

För att maskinen skall följa en förutbestämd linje krävs dessutom en

4. Styransordning

Olika tillverkare har tillämpat olika sätt att mekaniskt utföra och att kombinera dessa huvuddelar. Vi kan här naturligtvis inte beskriva alla detaljlösningar och nöjer oss därför med att nämna vissa huvuddrag.

#### 1. Borrhuvudet.

Krossande maskiner, d.v.s. sådana som arbetar med rullborrkronor eller "disc cutters", har principiellt samma uppbyggnad. En mestadels svagt skålformig plåtkonstruktion bär de fritt-roterande verktygen och är försedd med skovlar vid periferin för att lyfta upp borkaxet till transportanordningen, som vanligtvis består av ett band över själva maskinkroppen. Borrhuvudet drives av el-motorer med ca 10 rpm för en 3-4 m  $\emptyset$  maskin. (Fig. 16).

Skärande maskiner har ett borrhuvud, som bär upp ett antal fräsenheter, som bearbetar berget inte frontalt men radiellt. (Fig. 17). Berget transporteras bakåt av en kedjetransportör med medbringare under maskinkroppen. Detta hänger ihop med borrhuvudets låga varvtal (5 - 15 varv/tim), vilket skulle ge för låg lastningskapacitet enligt skovelprincipen. (Fig. 18).

## 2. Maskinkroppen.

Förutom att bära borrhuvudet, så har maskinkroppen uppgiften att koppla ihop huvudkomponenterna samt att erbjuda möjligheter till montering av drivmotorer, övrig elektrisk- samt hydraulisk utrustning, hjälp- och manöverorgan. Dessa kan, som t.ex. Demag har gjort, och som är nästan ofrånkomligt vid små tunneldiametrar, också monteras på en separat enhet, som släpas efter maskinkroppen.

## 3. Matningsanordningen.

Med undantag av Krupp-maskinen, som har ordnat kontinuerlig frammatning med hjälp av larvband - och därför endast är lämplig för lösare bergarter som inte kräver hög matningskraft - har alla maskiner ett stegvist matningssystem med hjälp av dubbelverkande hydraulcylindrar. Dessa får, med undantag av den ursprungliga Lawrence - Alkirk-maskinen, som drog sig fram med en i ett förborrat pilothål anbragd expander - sitt mothåll från en mot tunnelväggarna arbetande fastspänningsordning. (Fig. 19).

## 4. Styreanordningen.

Eftersom krossande maskiner bearbetar berget frontalt och deras rullande verktyg ej kan äta sig in i berget i sidled, föreligger för denna typ maskiner endast möjligheter till "polygon-styrning", d.v.s. att riktningskorrigering endast kan utföras vid början av varje matningssteg. Styreanordningen är då normalt kopplad till eller kombinerad med matningsanordningen.

De skärande maskinerna enligt Atlas Copco:s fullortsborringssystem bearbetar berget radiellt, kan alltså styras i en kontinuerlig kurva - i både det horisontella och det vertikala planet - och är därför försedda med en separat styreanordning bakom maskinkroppen.

De flesta maskinerna använder en laser-stråle som baslinje.

Avläsning av den på maskinen monterade "måltavlan" görs antingen direkt eller via TV i slutna krets. I stället för laser har också en på tunnelväggen monterad TV-kamera eller en vanlig teodolit använts för riktningskontroll.

Utöver dessa huvudkomponenter är de flesta maskinerna utrustade med ett dammav sugningsystem, skyddstak av olika slag, o.s.v.

#### 10. Skärande maskiners speciella egenskaper.

Uppfinnaren till det tidigare av Habegger och numera av Atlas Copco för hårda bergarter vidareutvecklade systemet att med hårdmetall bestyckade, separat drivna fräsenheter skära berget i en radiell riktning istället för frontalt, är den nu avlidne österrikiske ing. Wohlmeyer, som redan år 1951 tog ut det första patentet. Att det dröjde över 15 år innan man kommit så långt, att effektiva, driftsäkra maskiner kunde byggas enligt denna princip, beror på att det tog lång tid innan man kom på hemligheten att uppnå acceptabel verktygsökonomi, nämligen att skära med låg hastighet men med stora skärdjup (ca 15 mm per skär), vilket dessutom måste utföras så vibrationsfritt som möjligt och därtill kräver mycket stabila maskinkonstruktioner, samt på den tid, som behövdes för utveckling av såväl hållfasta som slitstarka hårdmetallkvaliteter.

Genom att snedställa fräshuvuden och genom att mata fram hela borrhuvudet med en hastighet som är exakt avpassad till varvtalet kan man låta fräshuvudena äta sig in i berget enligt koncentrisk, skruvformiga banor. (Fig. 20).

Det blir också möjligt att "underskära" berget, så att endast ca 1/3 av hela volymen berörs av verktygen medan det icke-skurna partiet brytes sönder genom ett lätt tryck bakåt från en bakom skäret monterad, med-roterande- brytarklack. (Fig.21).

Den radiella skärriktningen betyder ett väsentligt lägre

matningskraftsbehov i axiell riktning som dessutom blir lägre igen genom underskärningsprincipen. Rent generellt kan sägas, att skärande maskiner klarar sig med 10 - 30% av den matningskraft, som krossande maskiner kräver. Detta är en stor fördel, inte endast med hänsyn till lagerbelastningar, utan kanske framför allt för fastspänningsproblemen i mjuka bergzoner, samt när det gäller att hålla riktningen i icke homogent berg. Ju större matningskraft, desto större är tendensen för maskinen att söka sig till de mjukare partierna.

Att bättre verktygsekonomi kan uppnås om endast en tredjedel av den totala volymen bearbetas, måste vara självklart. I berg med tryckhållfastheter upp till 2500 kp/cm<sup>2</sup> och med en genomsnittlig halt av frikvarts av 60% - alltså mycket abrasivt berg - har verktygskostnaderna redan lyckats nedbringas till en nivå som ligger betydligt under kostnaderna för borrhåll och sprängmedel i en och samma tunnel, som drevs dels maskinellt, dels med konventionell utrustning. (Inloppstunneln till Julia-verkens vattenkraftstation, Schweiz, 1967-1968).

Eftersom man använder individuellt drivna fräsenheter, vilka ej nödvändigtvis behöver monteras på ett roterande borrhuvud men som man, var för sig eller i kombination, kan låta utföra en pendlande rörelse, föreligger möjligheter att färdigställa tunnlar med ickecirkelformiga tvärsnitt. Ett intressant exempel på detta område som de krossande maskinerna p.g.a. deras "verktygsgeometri" icke kan beträda, utgörs av "minitunnel-maskinen" FF-1321, för närvarande under konstruktion hos Atlas Copco, för fullortsborrning av vatten och avloppstunnlar under större städer med en bredd av ca. 1,3 m och en höjd, i mitten av det halvcirkel-formiga taket, på ca. 2,0 m. (Fig. 22).

#### 11. Några intressanta siffror.

Det är naturligtvis icke möjligt att här i detalj redogöra för alla de olika maskinernas framgångar. Vi nämner därför endast några fakta av större allmänt intresse:

1. Sedan 1954 har ett 60-tal fullortstunnelmaskiner byggts i den "fria världen", varav ungefär 2/3 i USA och resten i Europa och Japan. Med dessa maskiner har över 150 km. tunnlar färdigställts och man beräknar att under 1969 fullortsborra ytterligare ca 35 km.
2. Om vi bortser från rena experimentmaskiner, så har 2,0 m hittills varit den minsta diametern (Demag, Dortmund) och 11,2 m den största (Robbins, Mangla Dam).
3. Vid jämförelse av drivningshastigheter är netto-borrningseffekten/tim av underordnad betydelse. Endast längre perioder blir utslagsgivande.

En Robbins-maskin av 3,0 m  $\emptyset$  satte år 1966 ett världsrekord i den 8 km långa Oso-tunneln, som står sig ännu idag:

bästa månad	2089 m
" "	vecka 581 m
" "	dag 128 m

Berget var idealiskt för fullortsborrning: en mjuk men ståndfast skiffer av 350 kp/cm<sup>2</sup> tryckhållfasthet. Problemen var ej av borrningssteknisk utan av organisatorisk karaktär.

Under denna månad behövde man transportera ut 40.000 t berg och frakta in 400 t utrustning. (räls, rör, ventilationsledningar, förstärkningsmaterial, o.s.v.) och allt detta på 750 mm enkelspår.

4. En Wirth-maskin har i Österrike borrarat det hårdaste berget hittills; en granit med en tryckhållfasthet kring 4000 kp/cm<sup>2</sup>. Borrningen utfördes med hårdmetallbestyckade rullar men avbröts efter 380 m p.g.a. oacceptabelt höga verktygskostnader.
5. Från den redan tidigare nämnda arbetsplatsen i Schweiz, där tunneln drevs i hård, men veckad och trasig, kalksandsten, dels genom fullortsborrning, (Atlas Copco FF 360) dels konventionellt, rapporterades följande siffror:

Under 19 veckors period kunde man maskinellt driva 8,9 m/dag i genomsnitt, inkl. underhåll, reparationer och alla övriga arbeten (bästa dag 18,0 m). Konventionellt uppnåddes i denna 3,4 m  $\emptyset$  tunnel inte mer än 6,5 m/dag i genomsnitt p.g.a. överberg (30%) och förstärkningsarbeten. I fig. 23 presenteras en detaljerad redogörelse för driftsresultaten under perioden 15.7 - 3.10.1968 i grafisk form, som kanske bättre än någon annan återger de ickeproduktiva arbetstimmarnas inverkan på den totala drivningshastigheten.

## 12. Framtidskrav och utsikter.

### 1. Maskinteknisk utveckling

Förutom uppenbara behov av metallurgisk utveckling för att komma fram till verktyg med större livslängder och som klarar hårdare bergarter än de, vilka vi idag håller för ekonomiskt borrhbara (max. 2500 kp/cm<sup>2</sup> tryckhållfasthet, för att ge ett ungefärligt riktvärde), föreligger specifika krav för att göra maskinerna mera allmänt användbara. Dessa är:

1. Möjlighet till tunnelinbyggnad omedelbart bakom borrhuvudet, d.v.s. högst 1,5 m bakom gaveln, i löst berg.
2. Större diameter-variationsområde för varje maskin, dels för att kunna köra den baklänges genom en redan inbyggd eller färdiggjuten tunnel, dels för att lättare kunna använda den "från jobb till jobb".
3. Bergundersökningsmöjligheter genom provtagning några tiotal meter innanför gaveln under borrhningens gång (Atlas Copco-maskinen som har en ihålig maskinkropp och ett axiellt hål i borrhuvudet, erbjuder redan denna möjlighet genom kärnborrhning med en bakpå maskinen monterad diamantborrningsmaskin). Det anses vara av stor vikt att kunna taga reda på, vilket berg man kommer att borra i (anpassning av varvtal och matningstryck), vattenförande zoner, o.s.v.
4. Möjlighet att köra snävare kurvor. Detta är framför allt viktigt vid användning i gruvor och kommer sannolikt att leda till maskiner byggda i olika, midje-styrda segment.

På längre sikt och då i första hand för långa tunnlar av små diametrar i lättborrhade bergarter, kommer bergtransporten att bilda nästa flaskhals. Kontinuerligt arbetande, snabbt förlängbara transportsystem behöver utvecklas.

### 2. Applikationsmöjligheter inom gruvindustrin.

Tunnelmaskiner har redan provats i gruvor och en har både Robbins - i White Pine - och Jarva - i Coeur d'Alene området - maskiner under provning. De tidigare proven har visat att maskinerna var fullt användbara, även om de inte var konstruerade speciellt för gruvdrift. Ett viktigt resultat var, att de kunde arbeta i lutningar upp till 22° - uppåt utan svårigheter. För gruvor med mäktiga malmer, som lämpar

sig för spårlos drift, verkar det alltså fullt tänkbart att använda fullortsmaskiner för tillredningsarbeten för åtminstone huvudorts-systemet och snedbanorna.

Ett annat användningsområde inom gruvindustrin är naturligtvis rum- och pelarbrytning och "long-wall mining". Det kan vara av intresse att notera att Atlas Copco nyligen erhållit en order för en maskin för fullortsborrning av 4,8 m breda og 2,6 m höga, rektangulära orter för just denna applikation från White Pine koppargruva i USA. En skiss på maskinen, som är utrustad med fyra pendlande fräsenheter och kan borra kurvradier av 12 m, ges i fig. 24.

### 3. Applikationsmöjligheter inom anläggningsindustrin.

Redan idag har fullortstunneldrivningsmaskiner sitt långt största användningsområde inom anläggningsindustrin. Det är klart, att användningen kommer att öka, om dagens allmänna ekonomiska trender fortsätter och om maskinerna görs mer flexibla och ges högre prestanda med oförändrad eller t.o.m. bättre ekonomi.

Det finns dock en faktor, som i högre grad än någon annan kommer att bidra till en mycket snabbt växande användning av fullortsborrning och detta är människans nödtvungna behov att gå under jord.

I de flesta av jordens länder är befolkningen på väg från landet till storstäderna. Storstäderna växer till metropoler och metropolerna växer ihop till "megalopolis", som USA:s befolkningskoncentration efter Atlantkusten eller i Los Angeles - San Diego området har döpts till. Man behöver dock inte resa över Atlanten för att studera detta fenomen: I Holland har städerna Amsterdam, Haarlem, Leiden, Haag och Rotterdam redan under många år betraktats som ett stort samhälle och alla transport-, kraftförsörjnings-, samt vatten- och avloppsproblem har endast kunnat lösas i direkt samarbete städerna emellan.

Vid sådana befolkningsanhopningar har vi helt enkelt inte råd med att placera våra lands- och järnvägar, våra kom-

munala transportsystem, våre vatten- och avloppssystem, vår energiförsörjning, våra sopstationer o.s.v. ovan jord. All tillgänglig mark behöver då utnyttjas för kontors- och bostadsbebyggelse samt för rekreationsområden.

För de flesta av oss är detta en mycket oattraktiv bild, men den blir inte bättre, om vi låter bli att se på den. I USA har man beräknat ett "underground-excavation"-behov inom anläggningsindustrin av \$ 13,90<sup>9</sup> för perioden 1970 - 1980 och \$ 22,10<sup>9</sup> för perioden 1980 - 1990, uttryckt i 1964 års penningvärde. Som jämförelse kan nämnas att siffrorna för gruvindustrin för dessa två perioder är \$ 15,10<sup>9</sup> respektive 18,10<sup>9</sup>.

Andra siffror kanske ger ett bättre untryck av vad dessa \$ innebär. Endast för åren 1968 - 1975 har man planerat att i USA driva drygt 1500 km tunnel, enligt följande fördelning:

Subways	136 km.
Underground urban highways	197 "
Intercity highway tunnels	336 "
Water supply tunnels	845 "

Skall dessa enorma projekt genomföras i tid och på ett förhållandevis ringa djup under befintlig bebyggelse, så är det ofrånkomligt, att fullortsborrningstekniken står inför en nästan explosionsartad utvecklingsperiod.

o-0-o

#### Bibliografi: Referenser

1. H. Schönfeld + M. Arcypowski  
"Erste Betriebserfahrungen mit der Streckenvortriebsmaschine Wohlmeier" - Glückauf, Heft 16, 101. Jahrgang
2. H. Ruppner  
"Tunnelvortriebsmaschinen für den Einsatz im Fels" - Neue Zürcher Zeitung Nr. 2965

3. I.R. Muirhead + L.G. Glossop  
"Hard Rock Tunneling Machines" - Institution  
Mining and Metallurgy Volume 77 1968
4. N.E. Norman + R. Stier  
"Economic Factors of Mechanical Rock  
Tunnelling" - Mining Engineering, June 1967.
5. E. Lauber + H.W. Brodbeck  
"Erfolgreicher Einsatz der Habegger-Tunnel-  
fräsmaschine im Hartgestein" - Schweizerische  
Bauzeitung Heft 51. 86. Jahrgang.
6. E. Lauber  
"Der Entwicklungsstand der schweizerischen  
Wohlsmeyer-Tunnelfräsmaschine" - Glückauf Heft  
8, 105, Jahrgang.
7. T. E. Howard  
"Rapid Excavation" Scientific American,  
November 1967.
8. T. E. Howard  
"Outlook for Faser Tunnelling" - Tunnelling  
and Shaft Sinking Conference, Minneapolis,  
May 1968.
9. A. Lago et al  
"Projection of applications and national  
benefits of a new rapid excavation technology"  
US Bureau of Mines, Contract No. 14-09-0070-  
399
10. J. H. Allen  
"The big hole gets bigger"-Mining Engineering,  
November 1968.
11. Committée on Rapid Excavation  
"Rapid excavation - significance, needs,  
opportunities" National Academy of Science,  
Publication 1960, 1968.
12. O. Meyer  
"Kontinuerlig tunneldrivning med okonvention-  
ella bergdestruktionsmetoder" Forskningsrap-  
port 1968.
13. R.J. Robbins  
"Robbins Tunnelboring Machines - a status  
report with an eye to the future" - Tunnel-  
ling and Shaft Sinking Conference, Minneapolis,  
May 1968.
14. Bergsprängningskommittén  
"Protokoll från diskussionsmöte i Stockholm  
den 6 februari 1969"

- Fig. 1 Colonel Beaumont's fullortsmaskin av år 1884
- Fig. 2 Tunneldiametrar och användningsområden
- Fig. 3a Sköld-maskin med oscillerande armar
- Fig. 3b Calweld-maskin med "disc cutters"
- Fig. 4 En Robbins fullortsborrningsmaskin för hårdare bergarter
- Fig. 5 Eickhoff ortdrivningsmaskin för kolgruvor
- Fig. 6 Verktyg för krossande bergbearbetning, t.v. "Roller bit" och t.h. "Disc cutters"
- Fig. 7 Verktyg för skärande bergbearbetning
- Fig. 8 Tryckhållfasthetsvariationer för några bergarter
- Fig. 9 Bergets "fullortsborrbarhet" i relation till tryckhållfastheten enligt Robbins
- Fig. 10 Fullortsborrningseffekter i tunnlar
- Fig. 11 Utveckling av konventionell tunneldrivningskostnad i USA
- Fig. 12 Kostnadsutveckling inom USA
- Fig. 13 Jämfört med konventionella drivningsmetoder har fullortsborrning stora fördelar med hänsyn till säkerhet och överberg
- Fig. 14 Vid fullortsborrning kan t.ex. ett transportband användas för uttransport av berget p.g.a. dess jämna styckefall
- Fig. 15 Fullortsmaskinens huvudkomponenter och arbetssätt
- Fig. 16 Forrhuvudet till en "krossande" fullortsmaskin
- Fig. 17 Borrhuvudet till en "skärande" fullortsmaskin (Atåas Copco FF 360)
- Fig. 18 Bergtransporten till Atlas Copcos maskin FF 360 och jämförbara storlekar ombesörjes av en under själva maskinkroppen anbragd kedjetransportör
- Fig. 19 Fastspännings- och matningsanordning
- Fig. 20 Skärande fullortsborrning - princip Wohlmeyer

- Fig. 21 Underskärningsprincipen för Atlas Copcos full-  
ortsborrningsssystem
- Fig. 22 Mini-tunnelmaskin FF 1321
- Fig. 23 Grafisk utvärdering av arbetsrapporterna för en  
12 veckors period vid Julia-tunneln
- Fig. 24 Maskin för fullortsborrnning av rektangulära  
gruvorter, som skall levereras till White Pine,  
USA, under 1970

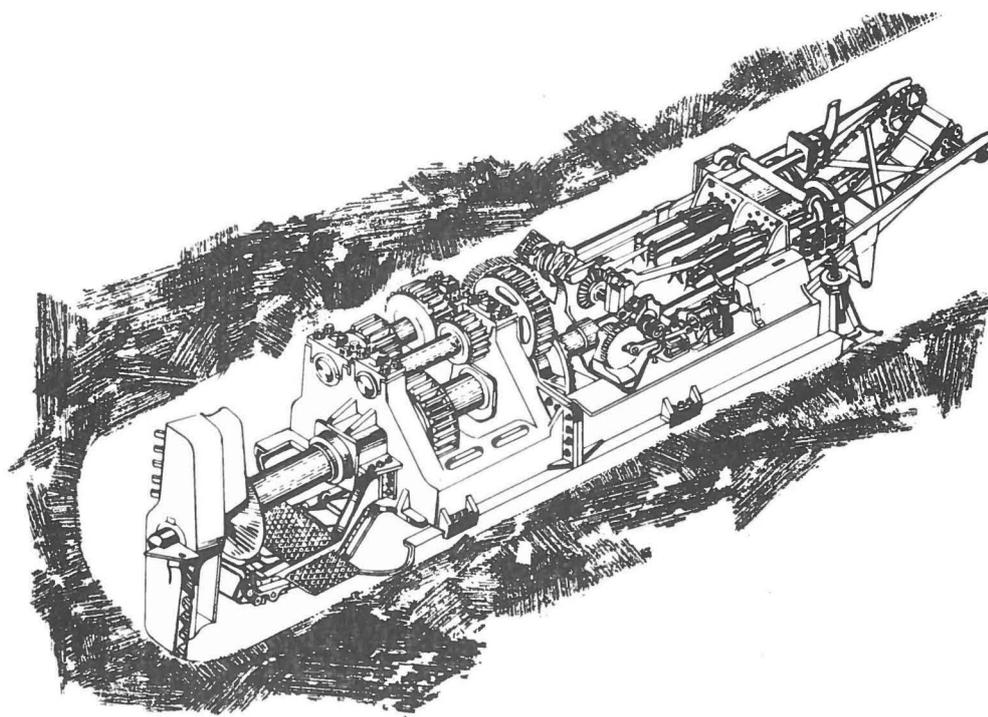


Fig. 1.

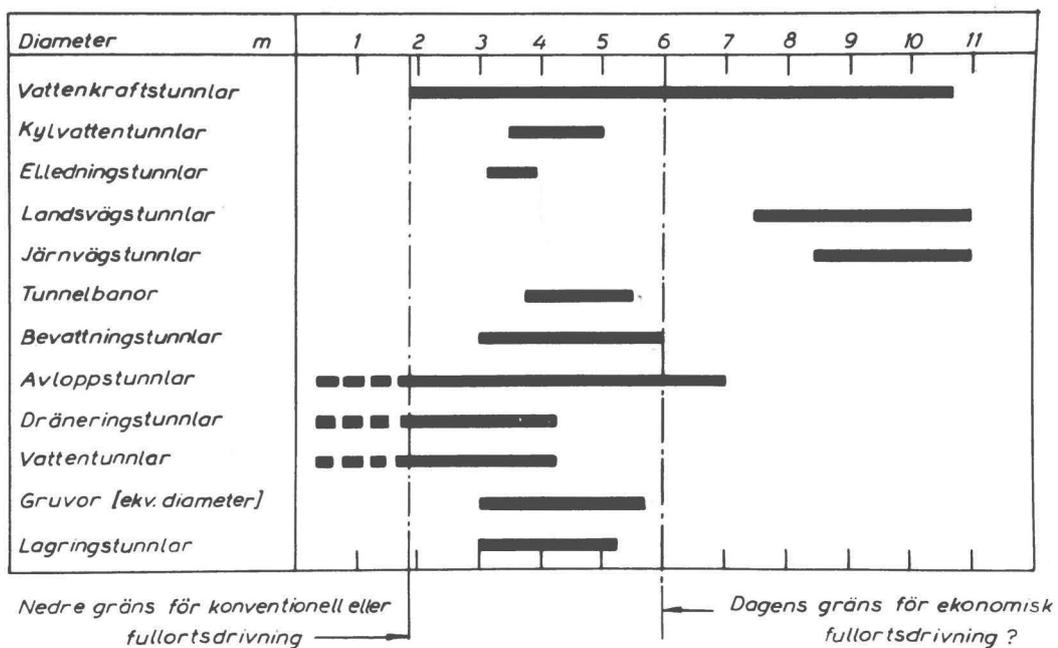


Fig. 2.

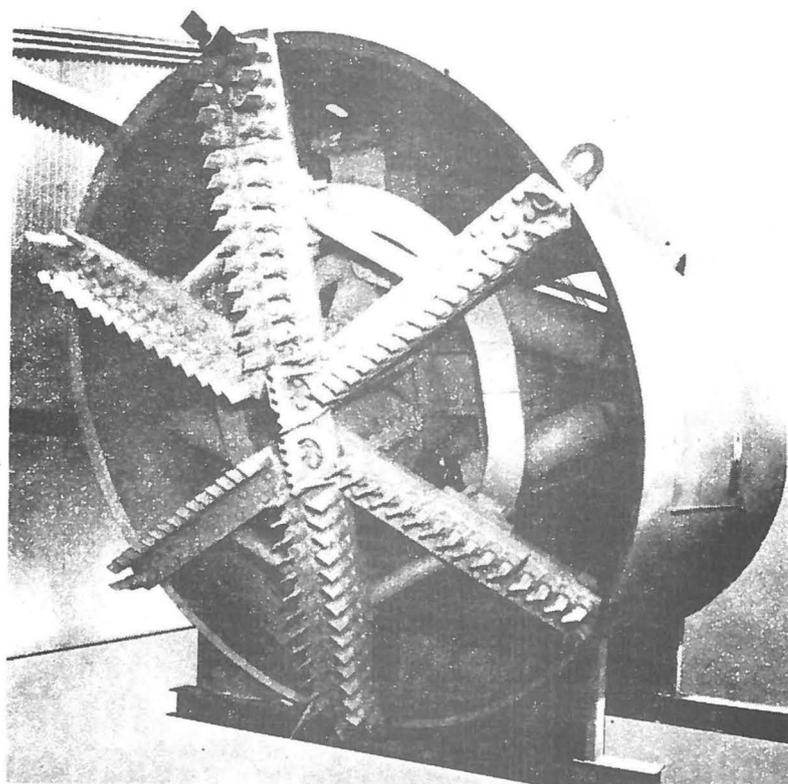


Fig. 3 A.

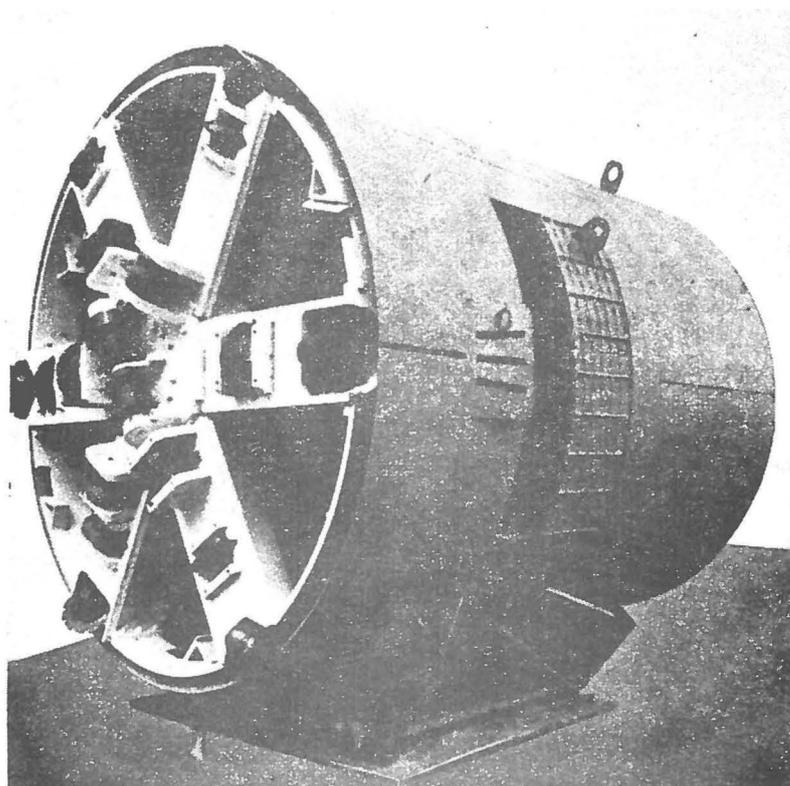


Fig. 3 B.

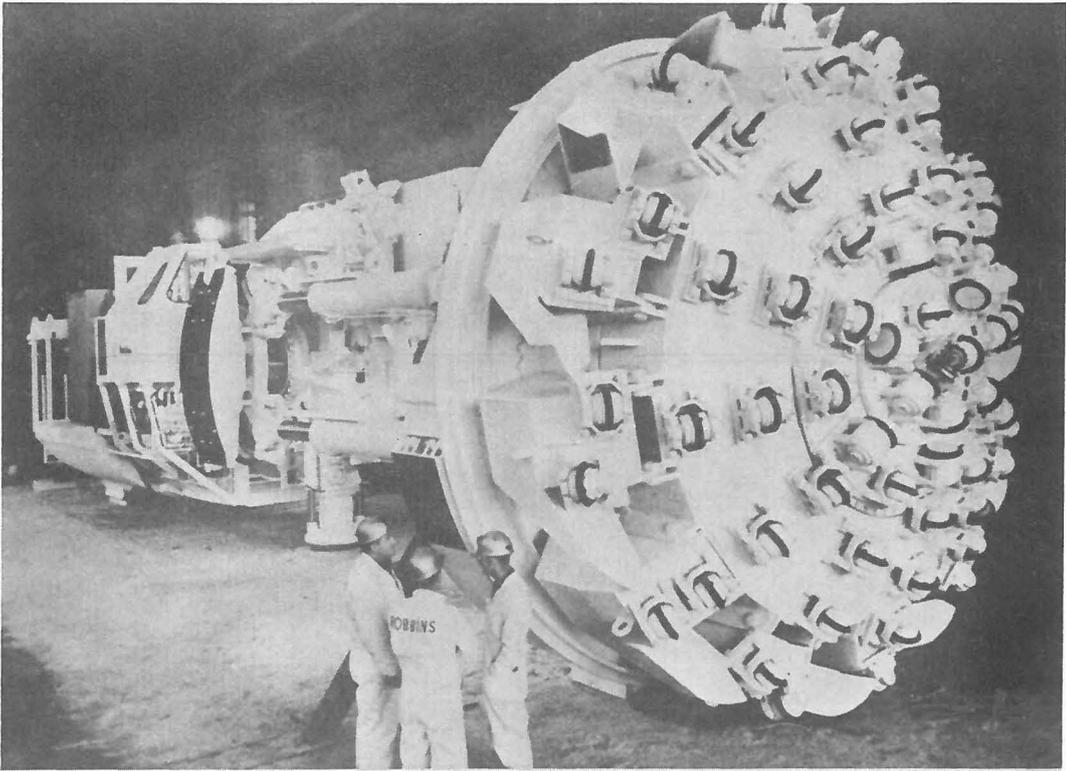


Fig. 4.

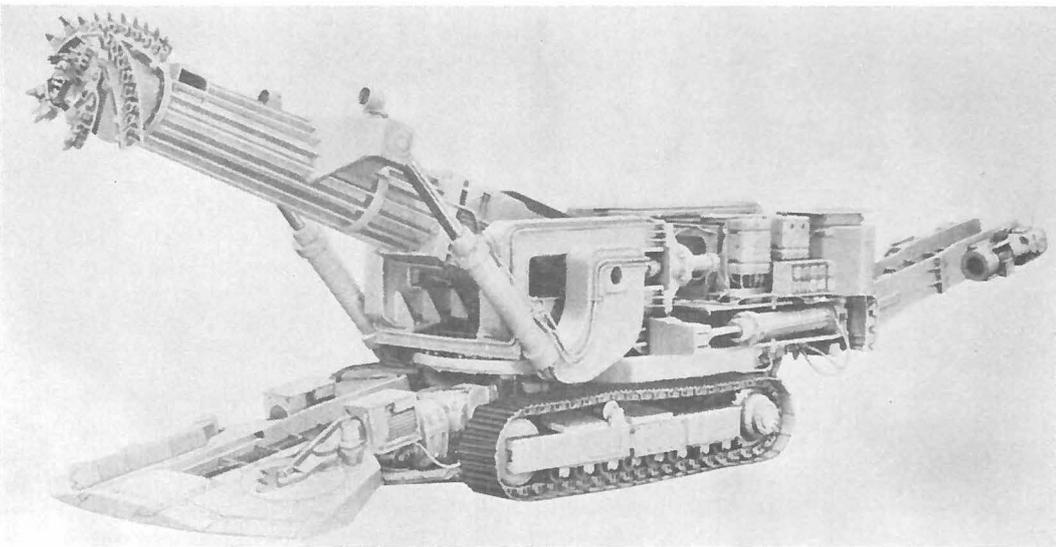


Fig. 5.

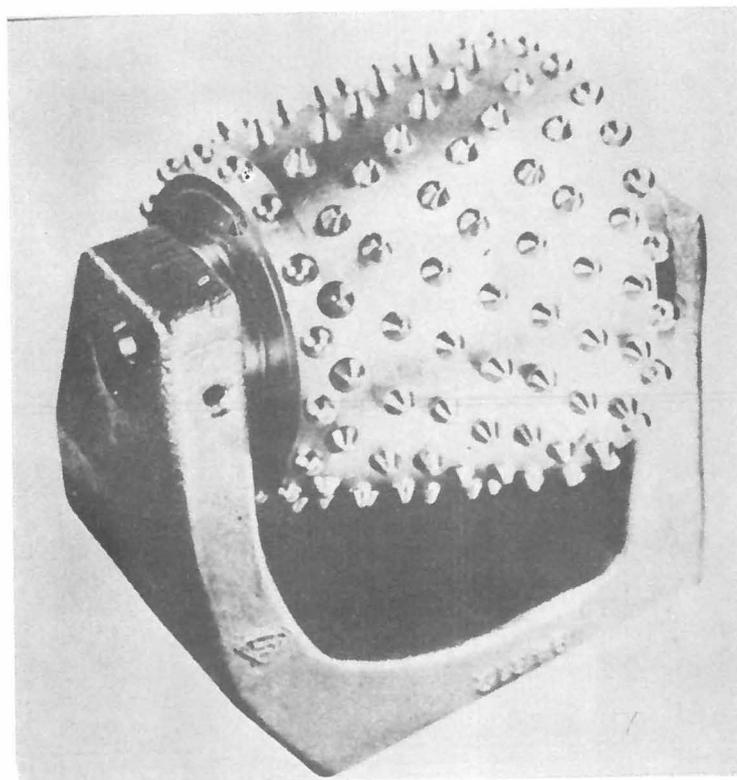


Fig. 6 A.

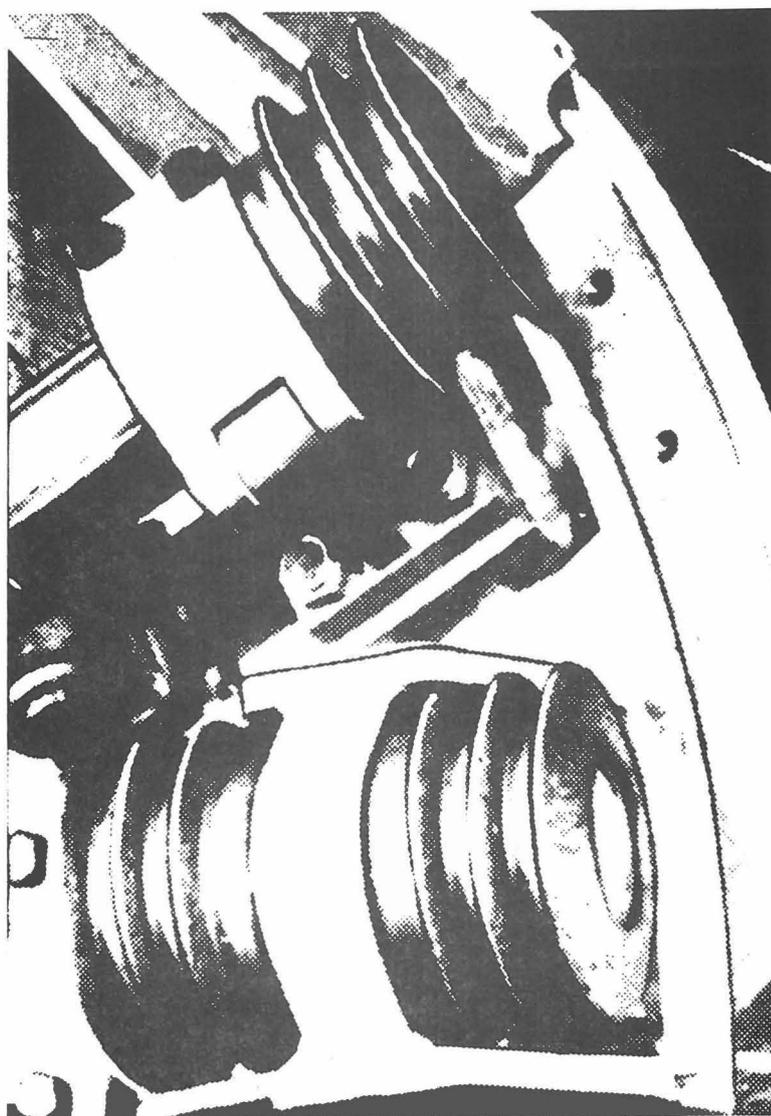


Fig. 6 B.

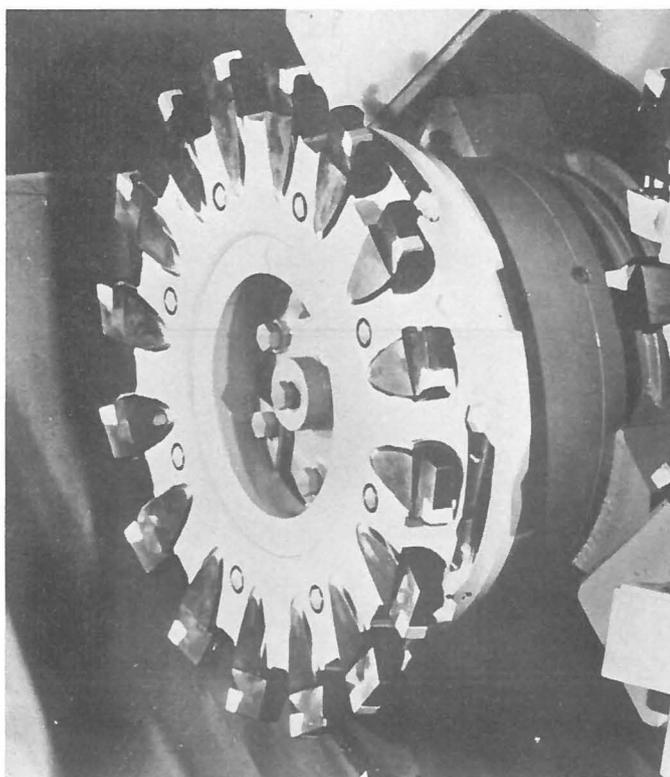


Fig. 7.

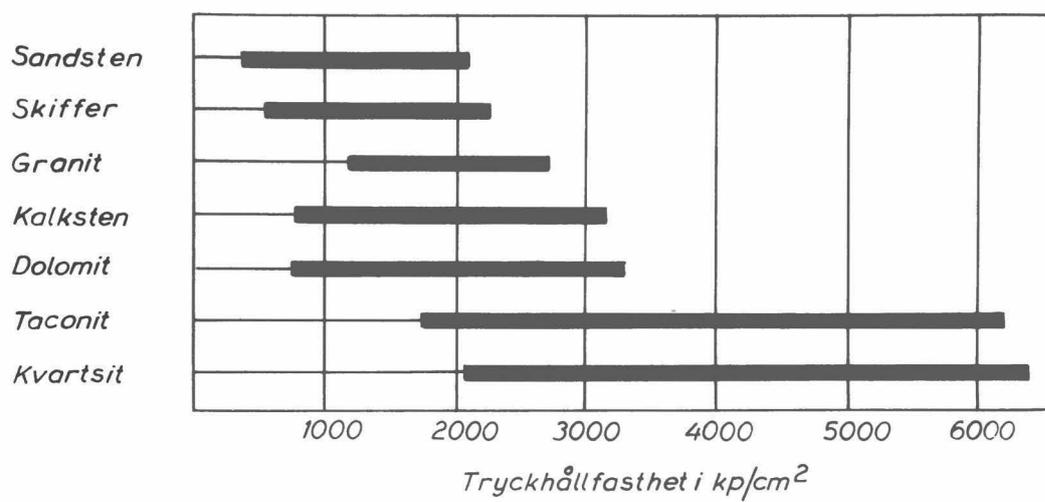


Fig. 8.

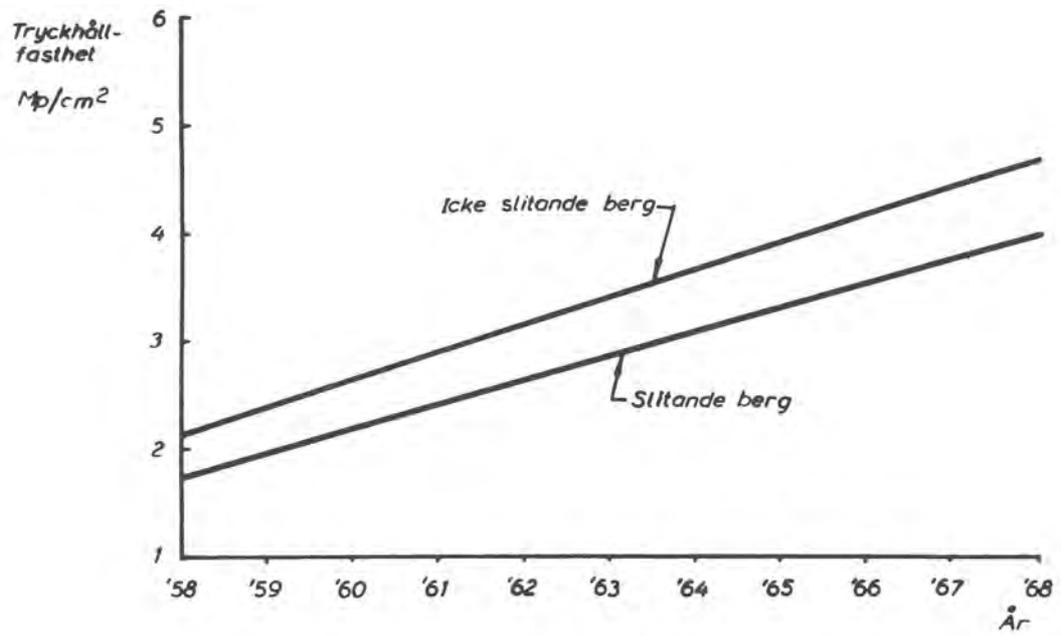


Fig. 9.

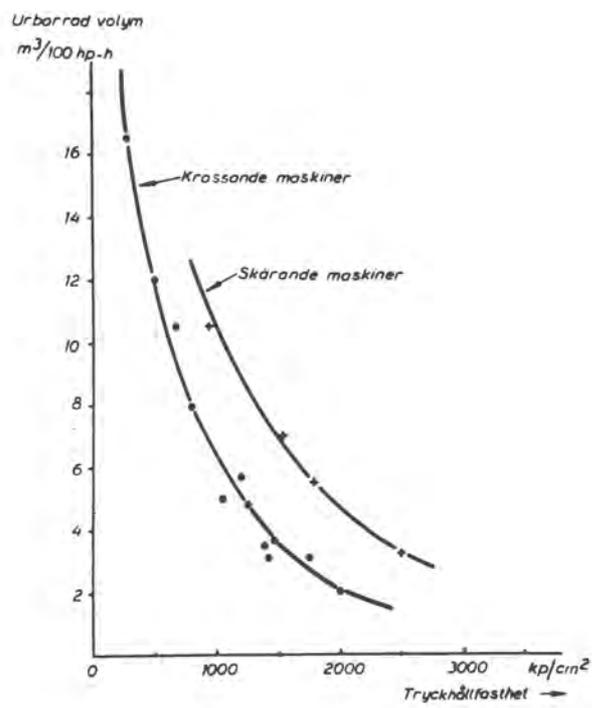


Fig. 10.

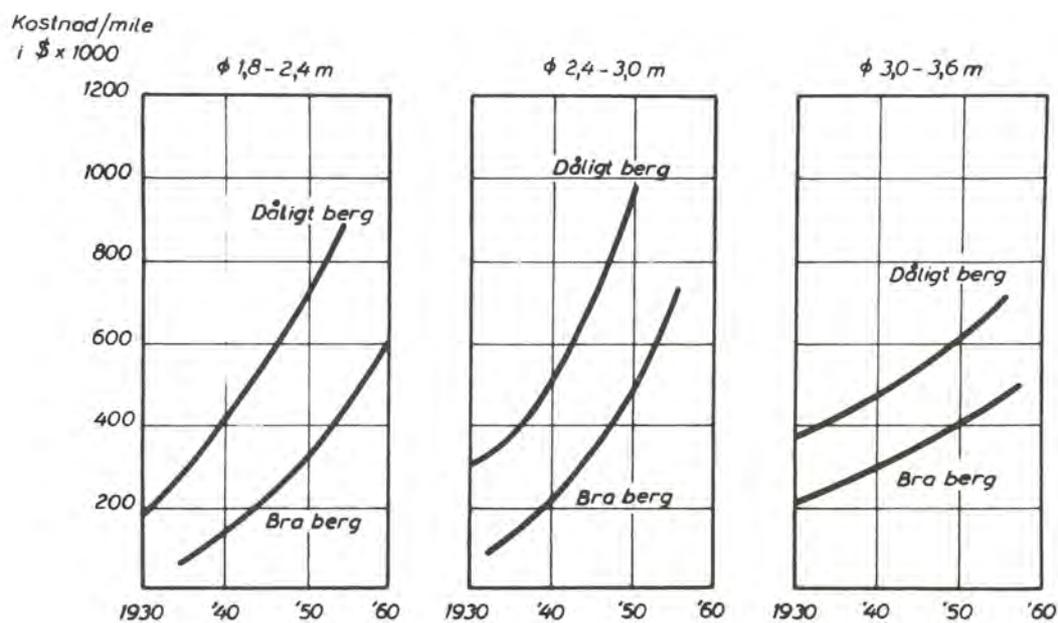


Fig. 11.

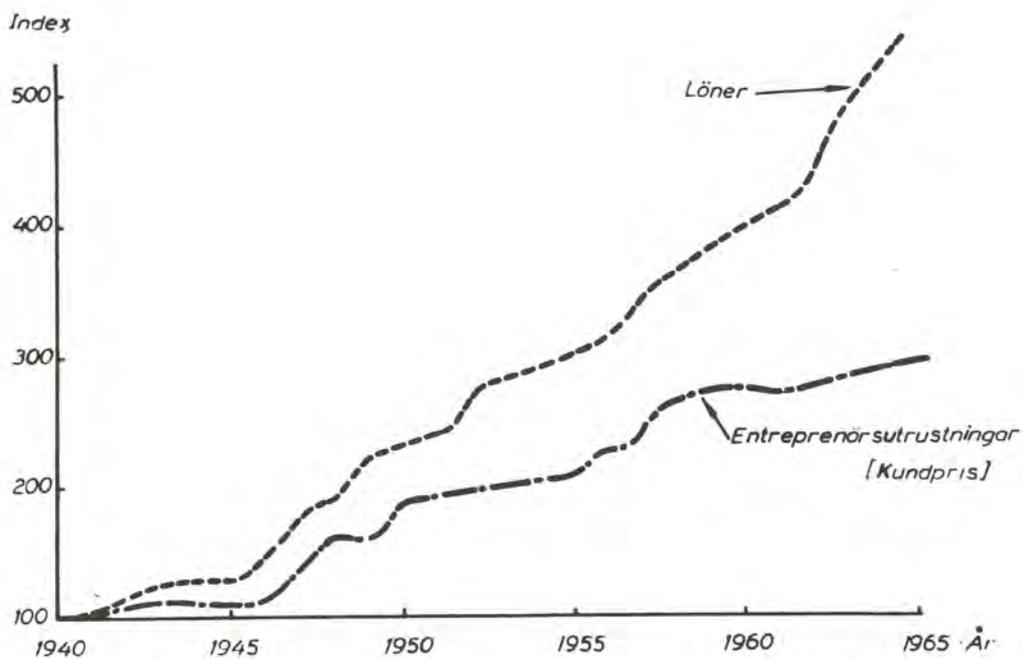


Fig. 12.

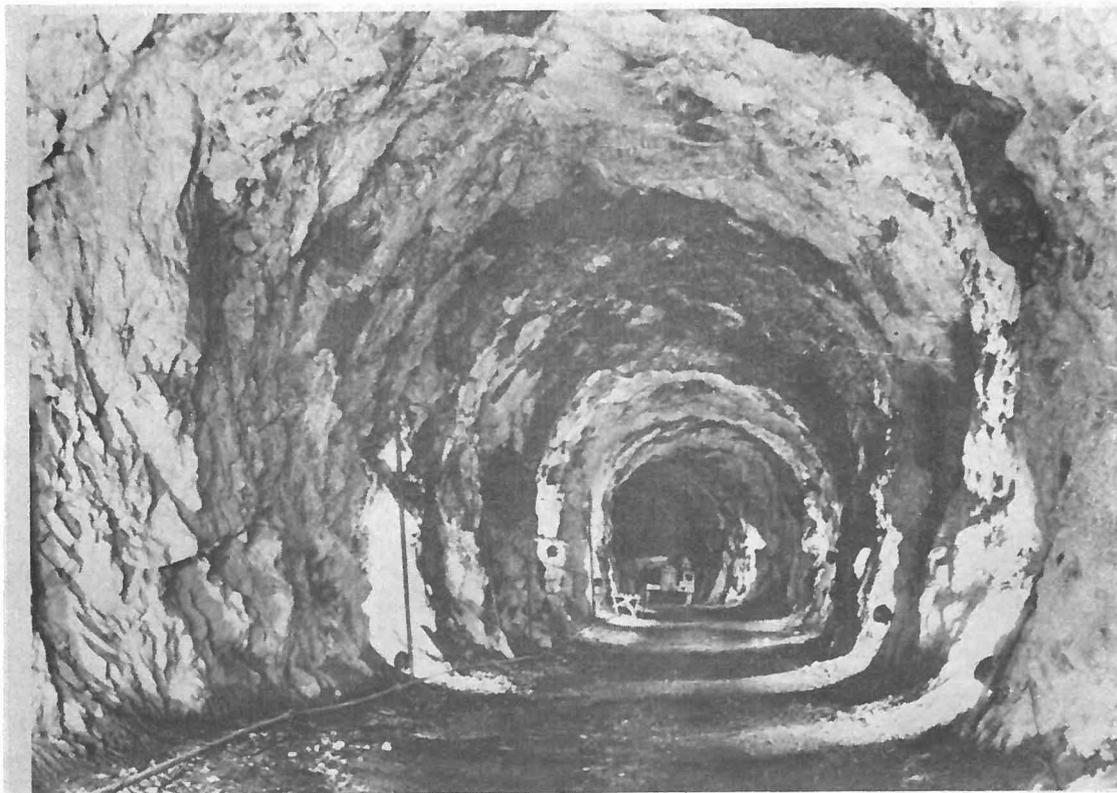


Fig. 13 A.

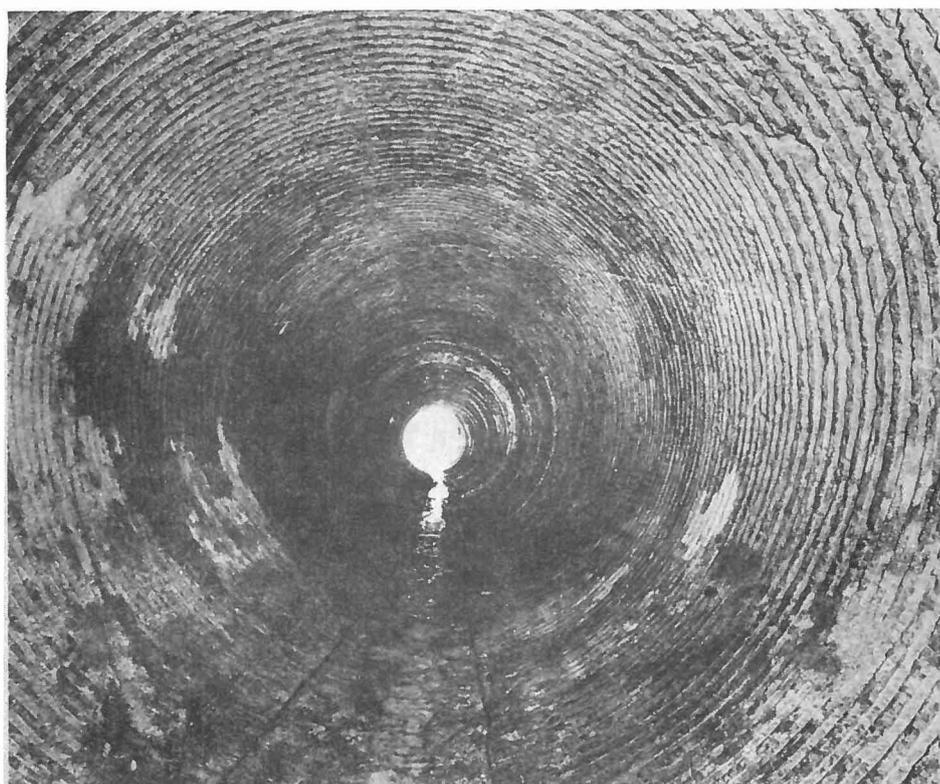


Fig. 13 B.



Fig. 14.

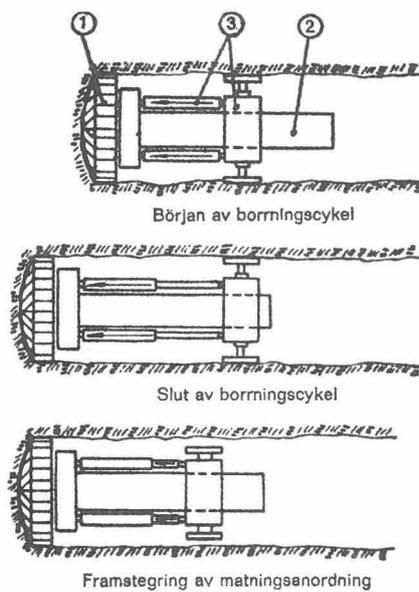


Fig. 15.

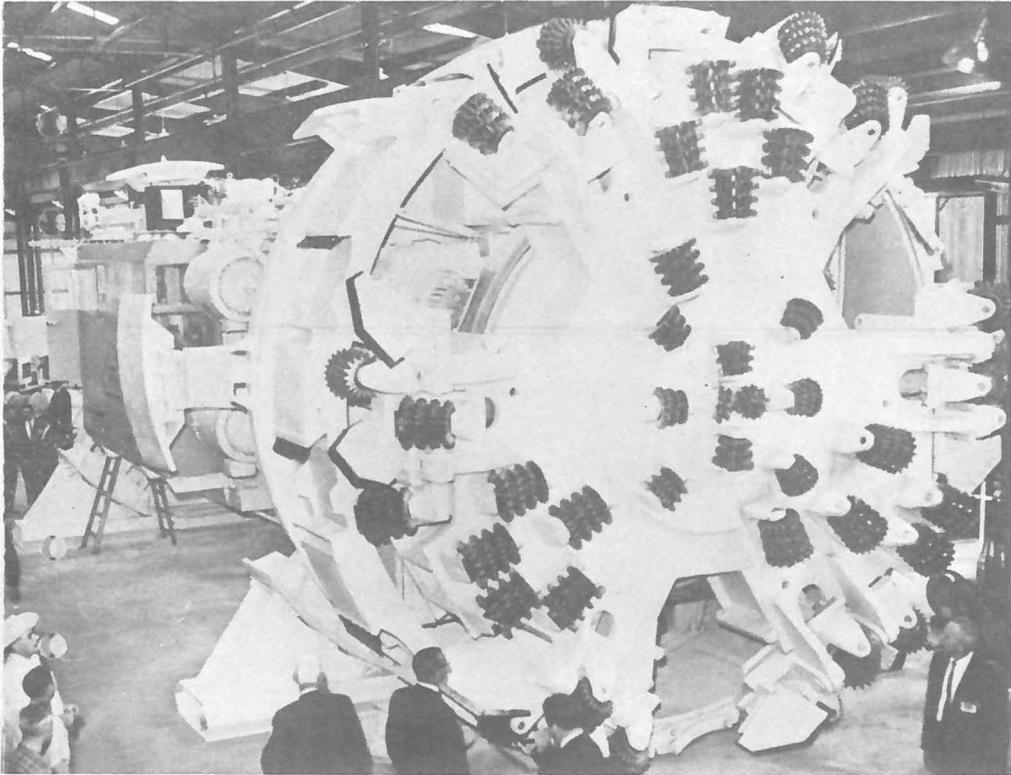


Fig. 16.

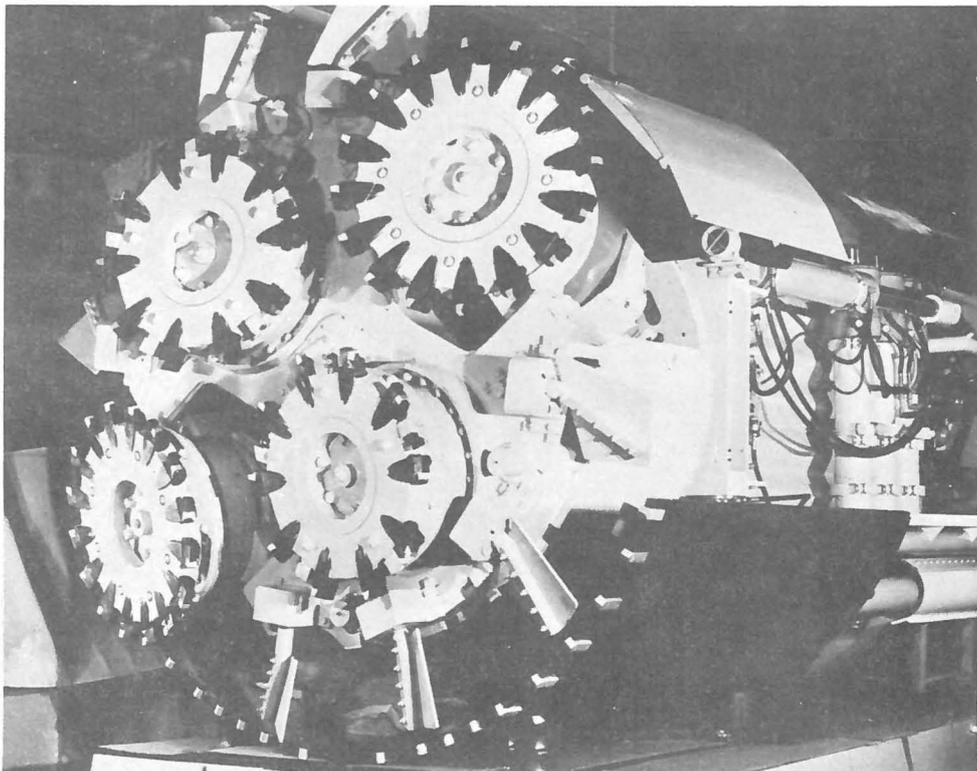


Fig. 17.

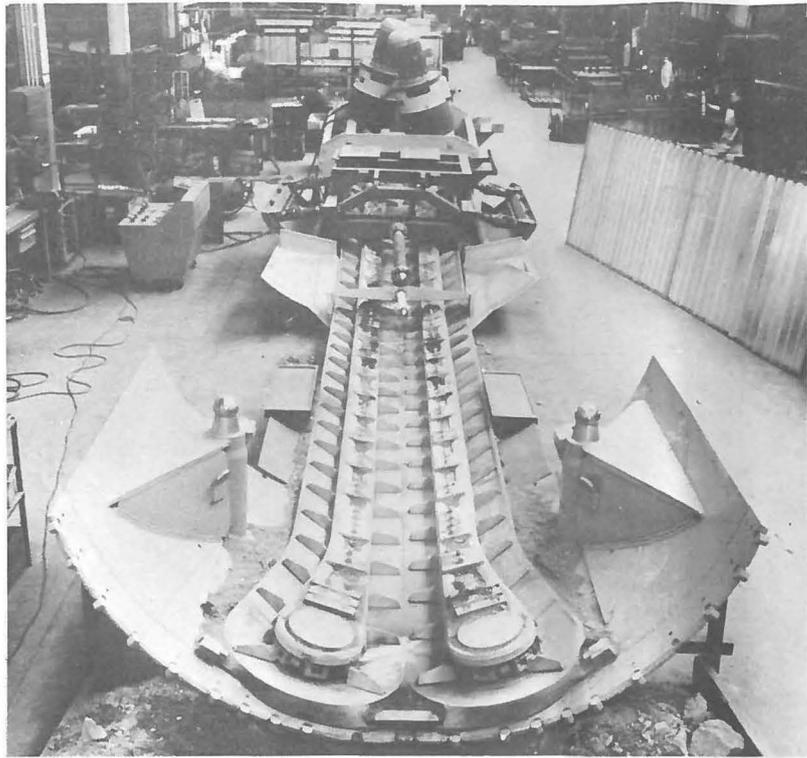


Fig. 18.

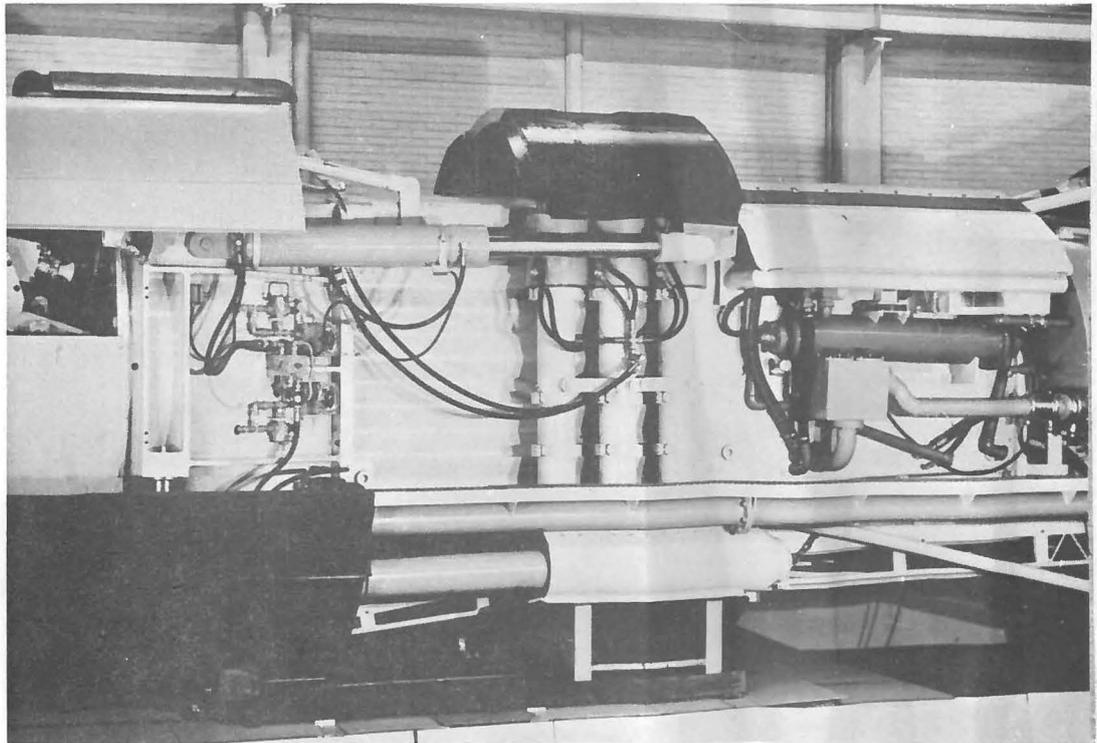


Fig. 19.

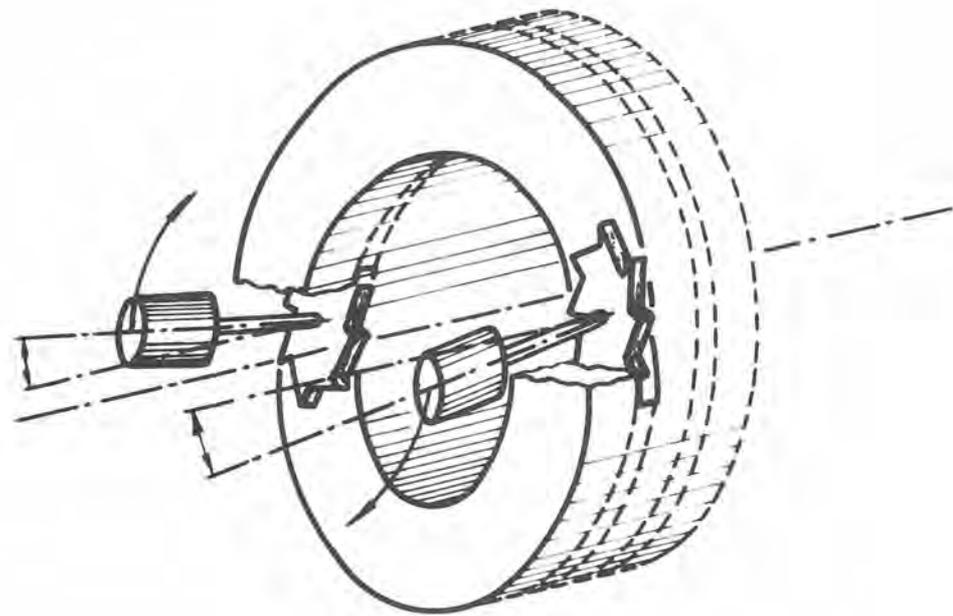


Fig. 20.

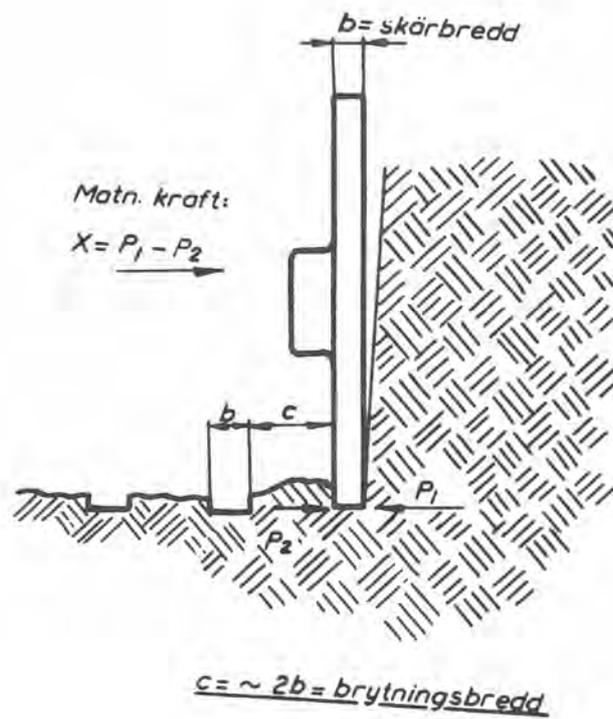


Fig. 21.

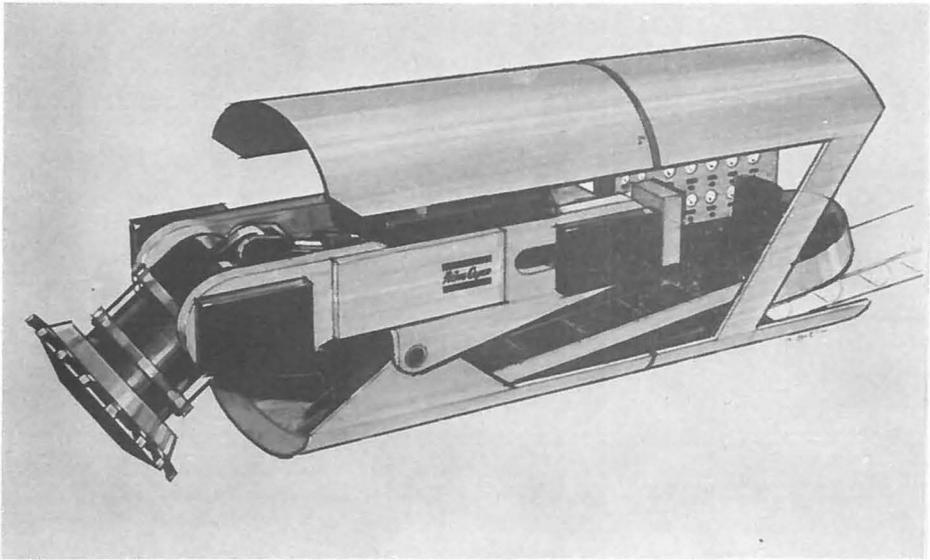


Fig. 22.

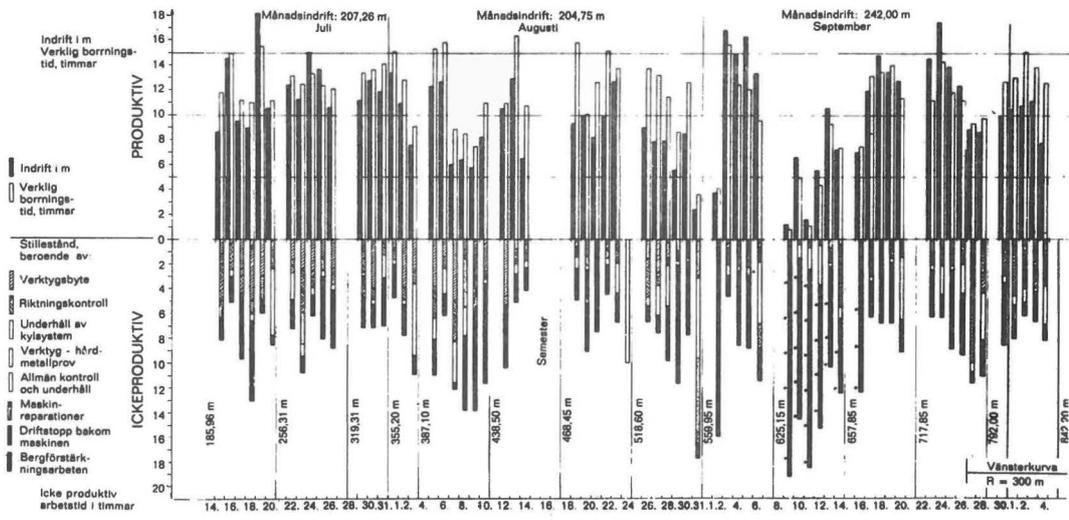


Fig. 23.

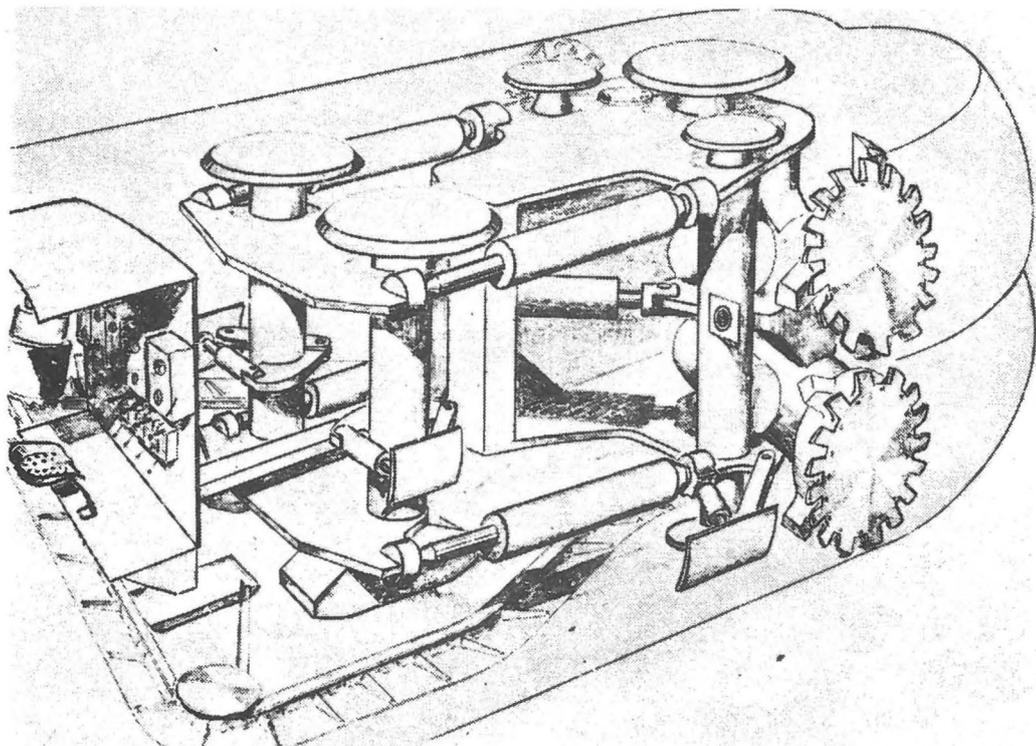


Fig. 24.

ERFARINGER FRA TUNNELDRIFT I STOCKHOLM

MED DEMAG FULLPROFILBORMASKIN

av

Sivilingeniør Ivar Öhmann  
AB Kasper Höglund, Göteborg

FULLORTSBORRNING I HUDDINGEAllmänt

A-tunnel mellan Storängen i Huddinge och Fagersjö är f.n. under utbyggnad med AB Kasper Höglund som entreprenör. Tunneln anslutes i båda ändrar till befintligt tunnelsystem såväl i Huddinge som på Stockholmsdssidan. Tunneln är en självfallstunnel bunden i höjdläge och får därför oftast mycket små bergtäckningar. På ett antal ställen längs tunnelsträckningen måste tunneln läggas i kulvert medan tunneln på andra ställen endast går till en del i berg. Vid korsning av sjön Magelungen, lägges 2 st rör  $\varnothing$  1,0 m å pålade rörstöd, som utföres med vaggor för 3 st rör för en ev. framtida utbyggnad.

Upphandling av entreprenad A-tunnel, Huddinge

Vid upphandling av denna entreprenad var man inom Huddinge kommun medveten om att arbetet skulle bli besvärligt i många avseenden. C:a 2,2 km av tunnelsträckningen måste anläggas genom relativt tätbyggda områden med villor och byggnader av god kvalitet. Ett flertal svaghetszoner förekommer, vilka beräknades medföra väsentliga förstärkningskostnader. Vid en bedömning av de totala kostnader fann man därvid att AB Kasper Höglunds förslag med fullortsborrning av den c:a 2 km. långa besvärlia sträckningen skulle vara totalt sett fördelaktig.

Underlaget till ett anbud med fullortsborrning gjordes med hjälp av institutioner i Sverige, såsom Sveriges Geologiska Undersökning och Kungl. Tekniska Högskolan. De viktigaste undersökningarna gjordes dock i Tyskland och USA med så representativt stenmaterial som vi rimligen kunde anskaffa från tunnelsträckningen. Efter erhållna resultat å dessa provningar gällde det att välja en utrustning som kunde klara den gnoijs man hade att arbeta i längs tunnelsträckningen. Valet föll därvid på en tunnelborrmaskin från Demags; typ TVM 20-23 H med verktyg från J.C. Söding och Halbach.

TVM 20-23 H har följande data:

- |    |              |                               |
|----|--------------|-------------------------------|
| 1) | Diameter     | 2,3 m                         |
| 2) | Längd        | 17,0 " (32 m med kedjematare) |
| 3) | Vikt         | 55,0 ton                      |
| 4) | Motorer:     |                               |
|    | antal        | 2 st                          |
|    | spänning     | 6 kv                          |
|    | effekt       | 220 kw                        |
| 5) | Borrhuvudet: |                               |
|    | antal rullar | 18 - 23 st                    |
|    | varvtal      | 11,5 v/min.                   |

#### Tunnelborrmaskinens arbetssätt

Tunnelborrmaskinens arbetssätt är sådant att det längst fram belägna borrhuvudet under rotation tryckes med c:a 200 ton mot tunnelfronten. Tunnelfronten som antar en konisk form bearbetas med å borrhuvudet placerade hårdmetallbestyckade rullar. De längst fram i konen arbetande rullarna kallas pilotrullar och krossar den första anvisningen till tunnelöppning. Periferert arbetar de s.k. kaliberrullarna som formar tunnelväggarna. Emellan dessa två typer av rullar sitter de s.k. normalrullarna. Normalrullarna och kaliberrullarna löper i cirkelformiga banor med c:a 6 cm avstånd mellan varje bana. Rullarna krossar i dessa banor spår i tunnelfronten. Då rullarna dessutom är något snedställda i förhållande till sin bana bryter rullarna lös den mellan varje bana belägna bergryggen. Man slipper därför arbetet med att mala ned hela tunnelarean till finkorniga produkter. Slutprodukten man får från denna metod att borra blir en samkross, dock med större mängder fint material än vad som normalt erhållas vid vanlig krossning.

Borrhuvudet roterar med 11,5 v/min. Rotationen av borrhuvudet åstadkommer man med 2 st el-motorer å vardera 100 A via en växellåda. Maskinen är genom de dubbla motorerna mindre känslig för störningar då man vid ett eventuellt fel kan fortsätta att borra med endast en motor i drift. Borrhuvudet

tryckes mot tunnelfronten medelst 4 st hydraulcylindrar, som i sin bakre del är fästade i den främre delen av bormaskindelen. Mothåll åstadkommer man på det sättet att 4 st främre och 2 st bakre spännklackar med hjälp av hydraulik pressas mot tunnelväggarna och håller maskinen i läge. När maskinen är fastspänd kan man borra motsvarande de fyra hydraulcylindrarnas slaglängd, som är 800 mm. Maskinen måste därefter flyttas motsvarande slaglängden, vilket tillgår så att stöd fälles ut för att hålla borrhuvudet på plats och undviker därigenom en tidsödande riktning av maskinen varje gång framflyttning skall äga rum. När hydraulkolvarna återgår till sitt inre läge drar de hela maskinen med sig 800 mm. Bormaskinen släpar därvid på tunnelbotten oberoende av det spår man bygger efter maskinen för borttransport av det utborrade berget.

Efter motorenheterna är manöverhytten påkopplad. Avståndet från tunnelfronten till förarplatsen är 15 m. Manöverdelen släpar även den på tunnelbotten och är således oberoende av spår. I förarhytten finns samtliga manöverorgan, kontrollinstrument för de olika trycken strömförbrukning, spänning o.s.v. En skrivare registrerar borrtid, energiförbrukning m.m. Operatören har uppsikt över indriften på en 0,8 m lång skala motsvarande slaglängden. Han kan även på sina instrument avläsa hur mycket bormaskinen ligger i fel sida, resp. höjd och därför snabbt rätta till ett ev. fel.

Den "samkross" man får vid borrhningen lastas upp med på borrhuvudet monterade skopor som för borrhgodset mot borrhuvudets centrum där det matas ned på en kjedematare, som löper under bormaskindelen och manöverdelen. Efter att det kedjemataren passerat manöverdelen går kedjemataren upp till överdel tunnel för att erhålla en lämplig utlastningshöjd i bergvagn. Kedjemataren har sådan längd att räls kan läggas mellan manöverdelen och avlastningsstället.

### Uppriggning av bormaskin vid start.

När borrhningen skall påbörjas måste en 6 m lång vaggå gjutas, i vilken maskinens spännklackar kan få motstånd. En 6 m lång rörkulvert kan även användas som start för maskinen. Den bör starta så att den får gå i motlut. Man kan borra i nedlut men det innebär en kapacitetssänkning p.g.a. vattenlänsning.

### Utsättning.

A-tunneln mellan Huddinge centrum och Fagersjö har en lutning på endast 0,93 ‰ och p.g.a. att den måste anpassa sig till bergförhållanden har man varit tvingad att kröka tunneln på ett flertal ställen. Fem olika delar av tunneln där man saknar berg har utförts som betongkulvert  $\varnothing$  2,5 m. Dessa faktorer sammantagna medför att utsättning av tunneln måste utföras med största noggrannhet. Man har därför valt att styra maskinen med hjälp av laser. Lasersändarens inriktning uppmätas noggrant så att den utsända laserstrålen när den träffar borrhuvudet anger riktningen med bara någon mm:s avvikelse.

### Metodens fördelar

En jämförelse med konventionell tunnelsprängning med inbyggnad kan inte utföras genom att ställa anbud på en konventionell tunnel mot anbud med fullortsborrning. Vid den senare metoden ingår följande kostnader, som får allt större och större betydelse och som måste adderas till anbud för konventionell sprängning.

#### A. Försäkringar.

I Huddinge får denna faktor sägas vara den utslagsgivande vid jämförelse med sprängningsalternativet. Anbudet från försäkringsföretagen å detta alternativ uppgick till mycket höga belopp (c:a 0,5 milj.kr) för 2 km tunnel. Kommer det till allmän kännedom att anläggningsarbeten av denna typ kan utföras utan att befintlig bebyggelse tar skada bidrager detta ytterligare till att använda fullortsborrning.

### B. Besiktningar

I Huddinge kunde man inte slopa besiktningarna då man inte med säkerhet kunde säga om metoden med fullortsborrning lämnade bebyggelsen utan skador. Uppmätning av vibrationer från sprängningar kunde däremot slopas. Tillsammans uppgick dessa kostnader till nästan samma storleksordning som försäkringskostnaderna. Nu senare kan sägas att det inte hade varit nödvändigt med några besiktningar. En undersökning av ljudnivån i en byggnad som ligger på berg och c:a 12-15 m från tunnelcentrum visade att ljudnivån i huset var den samma som man får från ett kylskåp under gång. Utomhus kunde man normalt inte uppfatta något ljud från borrar-maskinen.

### C. Förstärkningar

I Huddinge utfördes tunnelborrningen vid ett tillfälle med en bergtäckning på 0,2 m och med c:a 15 m jordtryck. Borrningen genomfördes utan någon stabilisering eller annan typ av förstärkning. När man hade borrarat sig igenom partiet med den låga bergtäckningen och borrar-maskinen passerat utfördes en armerad sprutbetongförstärkning i tunneln. Under borrningen har flera störningszoner passerats utan att man erhållit något utfall. Tryckfördelningen i en cirkelrund sektion är ju gynnsam och bidrar säkerligen till att några dragpåkänningar som öppnar sprickor inte uppkommer.

### D. Grundvattensänkning

Vid fullortsborrning stör man inte bergets struktur, de vattengångar som finnes lämnas orörda då inga spränggaser tränger in i sprickor och vidgar dem. Man får vattenstrålar från väggar ock tak. Det är mycket lätt att mäta de mängder vatten som varje stråle lämnar och även att åtgärda dem. I Huddinge har det visat sig att vattenflödet i de olika sprickorna efter 2 veckor avtagit nästan helt, vilket kan bero på de gynnsamma tryckförhållandena i tunnelns omkrets. Vikten av att ha vattenläckage i tunnlar under kontroll har visat sig vara av mycket stor ekonomisk betydelse exempelvis i Stockholm och Göteborg.

#### E. Underhåll av den färdiga tunneln.

Tunnelns golv, väggar och tak är mycket släta. Man kan räkna med att ytorna är av samma karaktär som man åstadkommer i rörkølvertar. Någon skrotning behöver inte utföras när tunneldriften är färdig och inte inom överskådlig tid heller. Avloppstunneln i Huddinge lämnas utan något betonggolv eller annan åtgärd.

#### F. Tunnelsträckningar

Vid Alvägen i Huddinge där ovan nämnda A-tunnel passerar, förlorar man successivt berget i tunnelfronten. Man hade där utsprunghligen tänkt sig att spruta och schakta bort jordmassorna för att blottlägga berget och spränga detta samt utföra en külvert som ansluter till tunnel i bägge ändar. Arbetsplatsen låg inträngd mellan hus. Där har man istället på en sträcka schaktat och blottlagt berget samt gjutit en betongkaka över blivande tunnelsektion. Betongkakan har förankrats i berget. Jordmassorna har sedan återfyllts och de ikringboende märker nu ingenting av den pågående tunneldriften. Vad som sedan händer när tunnelbormaskinen kommer in i denna zon är att den borrar tunneln delvis i berg och delvis i betong. Betong är mycket lättare att borra i än berg.

Detta tillsammans med tidigare fördragna punkter visar att man kan utföra tunnlar i sträckningar som förut inte har varit möjligt.

Att ange kostnader för fullortsborrade tunnlar är vanskligt då de varierar med bergets beskaffenhet. Man kan dock redan nu säga att metoden är fullt konkurrenskraftig vid tunneldrift i bebyggda områden och där man har "dåligt berg". AB Svensk Fullortsborrning kan efter en viss provtagning och även provborrning lämna besked om kostnaderna för en fullortsborrad tunnel i varje särskilt fall.

#### Personal

För personalen är arbetet på en fullortsborrningsmaskin mycket lättsammare än vad arbetet vid den konventionella tunnel-

sprängningen är. Arbetskraften behöver inte utsättas för så stora risker som vid sprängning med nedfallande sten o.dyl. Ur arbets synpunkt får man anse t.v. i varje fall, att  $\varnothing$  2,3 m dim. på tunnlar är minidim. Vid mindre diametrar får man för trånga utrymmen vid service av maskinen. Däremot kan man borra större dim. och därvid underlättas servicen avsevärt.

### Kapaciteter

Kapaciteterna är helt beroende av de bergarter man borrar i. Gnejs, den bergart man borrar i Huddinge, är mycket ogynnsam att borra i jämförelse med exempelvis skiffer och kalksten; även granit är lättare att borra än gnejs. Det oaktat ligger indrifterna betydligt över vad man kan åstadkomma med konventionella metoder. Vi tror oss även kunna säga inom AB Kasper Höglund att en borrhning i kalksten med innesluten flinta skall kunna utföras med god kapacitet och således även god ekonomi. Vid kapacitetsberäkningar måste man även komma ihåg att vid konventionell sprängning har man när tunneln är färdigsprängd efterarbeten i form av skrotning, sprutbetong- eller betongarbeten i förstärkningar, golv m.m. som tar tid och vilka man undgår vid fullortsborrning.

### Användningsområden

Fullortsborrning får tillsvicare anses vara till stor fördel där man har; stora bergtryck, dåligt berg som kräver förstärkningar vid konventionell sprängning, svårigheter med vattenläckage där det gäller att inte störa bergets struktur, bebyggelse eller andra anläggningar i närheten, krav på att berget skall kunna motstå mycket höga belastningar och krav på en hydraulisk riktig area.



Fig. 1. Synk til hovedtunnel, sprengt med mal tilpasset fullprofilbormaskinen.

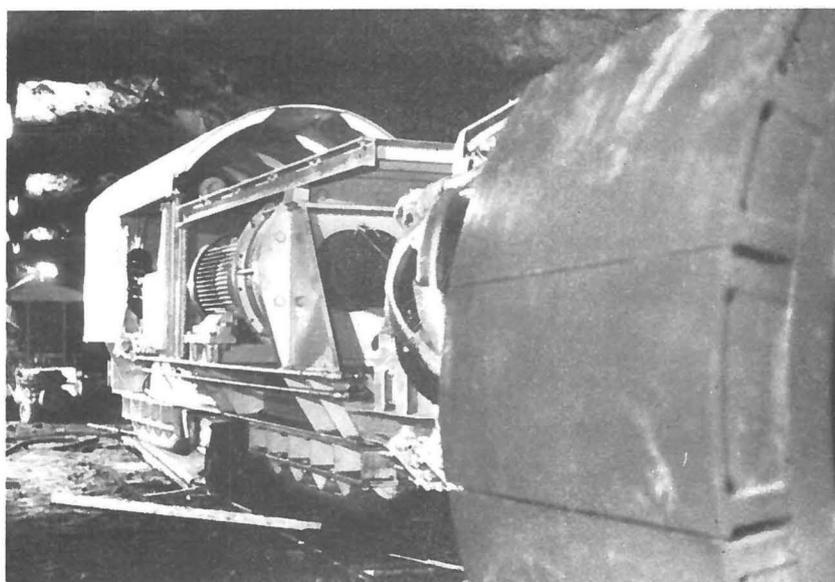


Fig. 2. Bormaskinen under montering i utvidet tunnelseksjon.

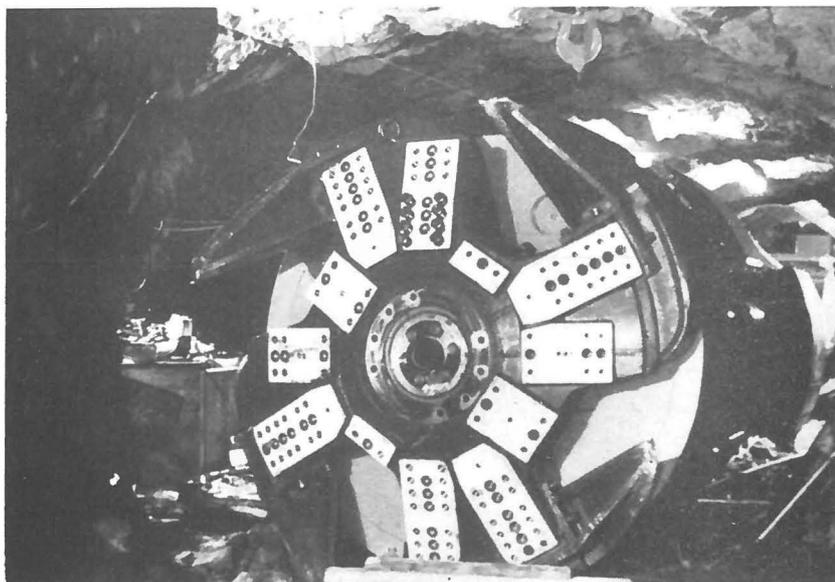


Fig. 3. Borhodet under montasje. Her sees festet for rullene samt fire skovler for utlasting av bergods.

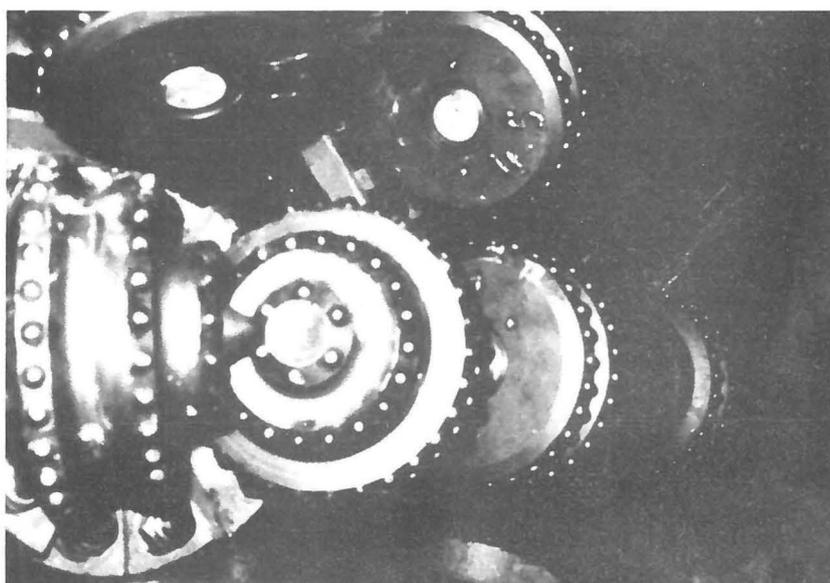


Fig. 4. "Pilotrullene" er på plass. I bakgrunnen sees "normalruller".

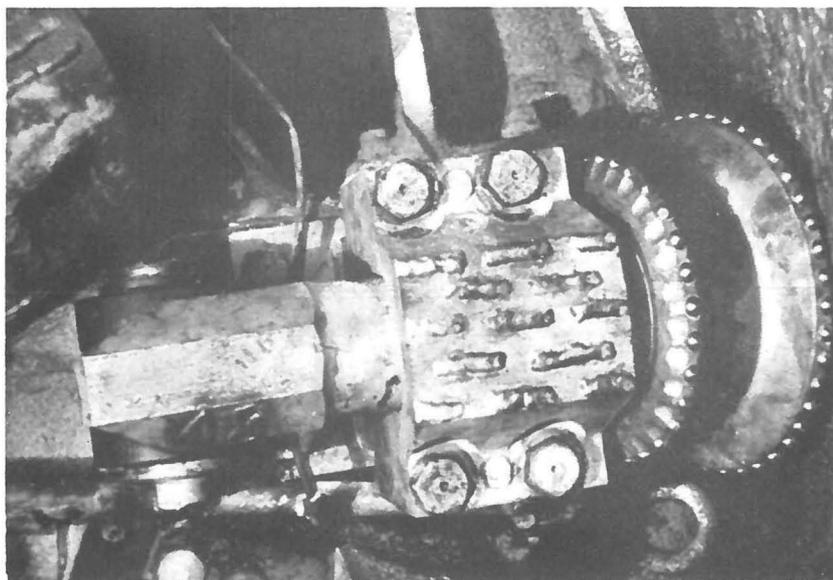


Fig. 5. Ytterruller eller kaliberruller av den type man bruker i Huddinge.

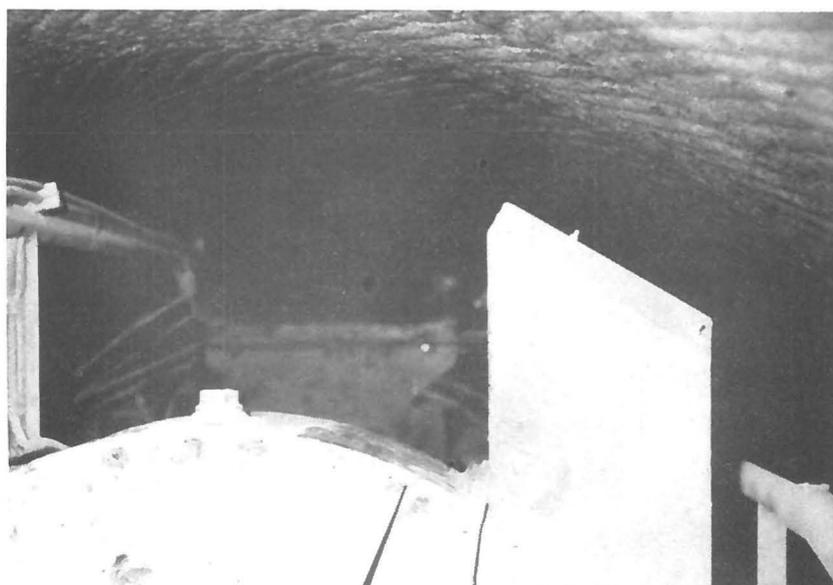


Fig. 6. Det er trangt i en utboret tunnel. Klaringen mellom platen man må krype frem til stoffen på og taket er 40 cm.

MASCHINELLE HERSTELLUNG VON TUNNELN UND SCHRÄGSTOLLEN  
IN GRANIT-FORMATIONEN UND ANWENDUNG DER DABEI GEWONNE-  
NEN ERFAHRUNGEN AUF NEUKONSTRUKTION VON TUNNELBOHRMA-  
SCHINEN

av

Diplomingeniør Willi Hildebrand

MASCHINELLE HERSTELLUNG VON TUNNELN UND SCHRÄGSTOLLEN  
IN GRANIT-FORMATIONEN UND ANWENDUNG DER DABEI GEWONNE-  
NEN ERFAHRUNGEN AUF NEUKONSTRUKTION VON TUNNELBOHRMA-  
SCHINEN

Nicht nur der Wunsch und das Drängen der Ingenieure, neue Maschinen und Techniken zu erhalten und zu verwenden, war der Grund für die ausserordentliche Entwicklung der Tunnelbohrmaschinen in den letzten Jahren. Mit dazu beigetragen haben die ständig steigende Zahl der Tunnelbohrprojekte aller Art und die steigende Zahl von Tunnelbohrprojekten in Spezialausführung.

Die Mehrzahl aller Tunnel ist bislang in relativ gutartigem Gebirge ausgeführt worden. Die für diese weichen und mittelharten Formationen zur Verfügung stehenden Fabrikate an Tunnelbohrmaschinen sind schon des öfteren veröffentlicht worden.

Hierauf soll jetzt nicht noch einmal eingegangen werden. - Ein durchbrechender Erfolg auf dem Gebiet des maschinellen Auffahrens von Tunneln und Stollen kann jedoch nur erreicht werden, wenn es gelingt, ausser in gutartigen Formationen auch in härteren und härtesten Formationen mit technisch geeigneten Tunnelbohrmaschinen und billigen Werkzeugen zu bohren und Werkzeugkosten zu erreichen, die mit der konventionellen Methode konkurrieren können.

Es ist in den letzten Jahren eine Reihe von Tunnelbohrmaschinen für Tunnelbohrvorhaben im Granit eingesetzt worden. Anhand der erzielten Ergebnisse ist zu erwarten, dieses Ziel - was sowohl die Technik des Bohrens als auch die Wirtschaftlichkeit betrifft - erreicht zu haben. Dies soll anhand einiger Ausführungsbeispiele dargestellt werden.

## I.

In Österreich wurde im Jahre 1967 erstmalig in Europa - und soweit feststellbar ist, auch in der Welt - von der Union Baugesellschaft, Wien, im Rahmen des Baues der Zementkraftwerke ein Beileitungstunnel im härtesten Granit gebohrt. Verwendet wurde die WIRTH-Tunnelbohrmaschine Typ TB I-214 (fig i).

Der Durchmesser des Stollens betrug 2.14 m, die Länge ca. 263 m. Die geologische Formation war ein flaseriger Augengneis mit einer Festigkeit von ca. 2600 - 2800 kg/cm<sup>2</sup>. Das Unterfangen wurde seinerzeit von der gesamten Fachwelt sehr pessimistisch beurteilt. Was jedoch Anerkennung fand, war der Mut, mit dem dieses Problem angefasst wurde. Es wurde hier eine Fülle von Erfahrungen gewonnen, die ausschlaggebend für spätere Erfolge waren. Es wurde hier aber auch eine Reihe Fehler begangen, die sehr nachteilige Folgen hatten.

## II.

Die positiven und negativen Erfahrungen während dieses Einsatzes waren die Grundlagen für den Einsatz einer Tunnelbohrmaschine Typ TB II-300 der Firma Wirth in der Schweiz.

Die Firma Murer AG, Erstfeld (Schweiz), hatte im Rahmen des Kraftwerkbaues Grand Emosson an der schweizerisch-französischen Grenze im Mont-Blanc-Gebiet den Druckstollen "Corbes" zu erstellen, bestehend aus einer Bachdurchquerung, 60 m Horizontalstrecke, 100 m Schrägschacht mit einer Steigung von 25 %, 350 m weiterer Horizontalstrecke sowie dem daran anschliessenden 1140 m langen Schrägschacht mit 65 % Steigung (fig. 3 und 4). Das geologische Profil weist im Bereich des Schrägschachtes einheitlich den sogenannten "Granit de Vallorcine" auf, ein Granit mit hohem Quarzgehalt und mit einer Druckfestigkeit bis zu 2.400 kg/cm<sup>2</sup>.

Man verfolgte trotz der Vergabe nach konventionellem Ausbruch das Projekt, eine Tunnelbohrmaschine für das Auffahren dieses Schrägschachtes einzusetzen, da bei der Baustelle Châtelard einige recht günstige Voraussetzungen für einen solchen Einsatz vorlagen, nämlich:

- a) mit 65 % keine extremen Steigungsverhältnisse,
- b) ein geologisch gleichmässiges Profil mit voraussichtlich wenig Störzonen,
- c) eine Bauherrschaft, die dem Vorhaben positiv gegenüberstand und die Genehmigung für den Einsatz der Tunnelbohrmaschine erteilte.

Letztlich waren es aber hauptsächlich wirtschaftliche Überlegungen, die einen Maschineneinsatz bestimmten.

Wenn in einer Horizontalstrecke die Investitions- und Meisselkosten bei hartem Gestein die eingesparten Lohn- und Materialkosten des maschinellen Vortriebes noch übersteigen, oder diese im besten Falle ausgeglichen sind, so sieht es in einem Schrägschacht wesentlich anders aus. Im Schrägschacht gewinnen diese jedoch eine viel grössere Bedeutung infolge der dort herrschenden besonders schwierigen Arbeitsbedingungen, die jeder auch nur geringen Einsparung von Arbeitsaufwand entscheidende Auswirkungen verleihen.

Die Vorteile sind:

1. kein Überprofil und geringere Betonkosten
2. keine Kontrolle des Profiles und Nachprofilierung
3. bessere Möglichkeit der Abstützung der Panzerrohre gegen den gesunden Fels
4. geringere Felssicherungsarbeiten
5. einfacher Abtransport des Bohrgutes im Schrägschacht
6. Wahl eines Panzerrohres mit geringerer Wandstärke
7. einfacherer Einbau der Panzerrohre
8. geringerer Personaleinsatz

Im August 1968 begann der Antransport der Tunnelbohrmaschine sowie der Einbau un die Schräglage. Die Maschine musste in die vorher in einer Länge von etwa 30 m ausgebrochene und ausbetonierte Röhre des Schrägschachtes soweit eingesogen werden, dass sie sich mit eigener Kraft verspannen konnte (fig. 5). Das wichtigste Bauelement war die Rückfallsicherung, die die Maschine automatisch vor dem Rückfall sicherte.

Die Bohrung begann am 1.10.1968. Die Maschine lief vom ersten bis zum letzten Tag praktisch störungsfrei. Am 1. September 1969 wurden die Arbeiten beendet. Abzüglich der Stillstandzeiten über Weihnachten 1968/1969 und anderer betrieblicher Stillstandzeiten wurde der Schrägschacht weit unter Zeitplan durchgeführt und wesentlich früher beendet als vorgesehen.

Zu dem Betriebsablauf ist folgendes zu sagen:

Die eingehaltene Bohrgeschwindigkeit betrug rund 50 cm pro reine Bohrstunde. Der hierbei am Druckmanometer abzulesende Druck lag im Normalfall, d.h. bei gutem Gebirge ohne Störzonen bei 210 t. Hiervon sind rund 50 t für die Komponente des Maschinengewichtes in Schachtrichtung sowie die zu überwindende Reibung abzuziehen, so dass ein effektiver Andruck von 160 t über die Meissel auf die Ortsbrust übertragen wird, was einer spezifischen Belastung der Meissel von nur 6 t entspricht. Die Meissel sind für eine Dauerbelastung von 10 - 12 t ausgelegt, so dass eine erhebliche Reserve vorhanden war. Vom Antrieb her gesehen ist diese Reserve noch ungleich höher, da die Leistungsabnahme während des Bohrens mit 100 Kwa nur einem Drittel der installierten Kraft von 300 Kwa entspricht. Mit der genannten Bohrgeschwindigkeit von 50 cm/h dauert ein Hub von 75 cm rund 90 bis 95 Minuten. Danach wird die Maschine umgesetzt. Dieser Vorgang dauert 5 Minuten. Bei einem Schichtbetrieb von 2 x 10 Stunden sind also maximal  $2 \times 6 = 12$  Hübe zu je 75 cm = 9.00 m Bohrleistung zu erzielen. Bei Berücksichtigung aller möglichen Aufenthalte, einschliesslich der alle zwei Tage erfolgenden Meisselkontrolle mit Auswechseln ausgeschlagener und Abschmieren aller übrigen Meissel, kann mit einer effektiven Bohrzeit von 60 - 70 % der Arbeitszeit gerechnet werden.

Die durchschnittliche Leistung, berechnet nach Beendigung der Bohrung, betrug 5.30 m pro Arbeitstag á 2 Schichten. Die erreichte max. Tagesleistung betrug 15.75 m, die erreichte max. Monatsleistung 140 m.

Auf der Baustelle bestand eine Schicht aus 6 Mann, und zwar: 1 Maschinist, 3 Mann für die Installation hinter

der Maschine, 1 Winden- sowie 1 Lokführer. Diese Belegschaft war erforderlich für Bohren und Abtransport des Materials bis zum Stollenportal.

Die Installationsgruppe von 3 Mann hat dabei eine recht wichtige Aufgabe; sie ist für alle Nachinstallationen hinter der Maschine, wie das Verlegen der Ventilationsrohre, der Luft- und Wasserleitung, Gleis und Ablaufrinne, verantwortlich. Nur, wenn diese Nachinstallationen kontinuierlich dem Bohrfortschritt zu folgen vermögen, ist die mögliche Bohrleistung der Maschine erreichbar.

Die Kernfrage des Bohrens im harten Granit bilden die Werkzeugkosten. Mit ihrer Höhe steht und fällt der Erfolg des Unternehmens.

Bei diesem Bauvorhaben wurden auf der gesamten Strecke von 1146 m 114 Meissel benötigt, wovon ein Teil - insbesondere die letzte Bohrkopfbestückung - noch zu einem hohen Prozentsatz weiterhin verwendungsfähig ist. Einschliesslich der Ersatzteile und Lager hat man hieraus unter Berücksichtigung der im vorigen Jahr noch höheren Meisselpreise einen Werkzeugkostenanteil von ca. 75.-- bis 80.-- DM/m<sup>3</sup> errechnet. Man ist jedoch aufgrund der Versuche, die im Verlaufe dieser Bohrung gemacht werden konnten, heute in der Lage, Meissel mit höheren Standzeiten zu liefern. Gleichzeitig konnten die Herstellungskosten der Meissel erheblich gesenkt werden. Bei Annahme der gleichen Standzeiten für die heute billigeren Meissel können diese Werkzeugkosten um rund 20 % gesenkt werden.

Die Meisselfrage bleibt also nach wie vor das entscheidende Kriterium für eine Bohrung im Hartgestein.

Eine einwandfreie Pflege und sorgfältige Wartung der Meissel ist unerlässlich. Besonders wichtig ist dabei neben der Meisselschmierung eine genaue Überwachung der Anordnung neuer Meissel an einem mit bereits abgenutzten Meisseln bestückten Bohrkopf. Eine Abnutzung der Warzen von wenigen mm verringert zwar die Wirksamkeit des Meissels, doch ist er damit noch nicht als wertlos zu betrachten. Durch rechtzeitige Herausnahme und Reparatur der Meissel bzw. durch

rechtzeitiges Austauschen gegen andere Meissel lässt sich der Wirkungsgrad der Warzenmeissel in hohem Masse verbessern. Hier geschickt und sorgfältig vorzugehen, erfordert eine gewisse Erfahrung, die man eben nur durch eine längere Betriebszeit erwerben kann.

Die Werkzeugkosten von 75.-- bis 80.-- DM/m<sup>3</sup> für dieses Bauvorhaben erscheinen im ersten Augenblick hoch. Wenn man aber bedenkt, dass pro lfd. Meter 2.45 m<sup>3</sup> Beton wegen des nicht vorhandenen Überausbruches eingespart werden, und man weiterhin den Fortfall der Kosten für Sprengstoff, Zünder und Bohrstangen berücksichtigt, so lässt sich ermitteln, dass ein grosser Teil der Meisselkosten allein durch diese Einsparungen gedeckt wurde.

Der Durchschlag hat - wie bereits erwähnt - am 1.9.1969 stattgefunden. Als Bohrzeit wurden ca. 9 Monate benötigt. Nach Fertigstellung dieses Schrägschachtes betrachtet der Unternehmer das zu Anfang noch als Versuch und teilweise mit grosser Skepsis erfolgte Unternehmen als einen grossen Erfolg. Nicht nur das Gefühl, Recht behalten zu haben, sondern auch das Gefühl, eine erstmalige technische Leistung vollbracht zu haben - was sowohl die Konstruktion der Maschine als auch die Durchführung der Arbeiten vor Ort angeht - erfüllt alle Beteiligten mit Stolz und Genugtuung (fig. 6).

Innerhalb desselben Bauvorhabens, wie vor berichtet, hatte die Firmengemeinschaft

	Deilmann-Haniel	(Deutschland)
mit der Firma	Dénériaz,	Sion (Schweiz)

den Druckstollen "Barberine" zu erstellen.

Der Druckschacht leitet das vom Stausee Emosson zugeführte Wasser von 1770 m ü.M. der Zentrale Châtelard-Giétroz zu, welche sich auf 1225 m ü.M. befindet (fig. 7). Die Länge des horizontalen Teiles beträgt etwa 400 m mit einem Gefälle von 0.5 ‰. Der Bohrdurchmesser dieser Horizontalstrecke beträgt 2.14 m. Der schräge Teil des Druckschachtes hat eine Länge von 1020 m mit einer Neigung von 80 ‰. Hier beträgt der Bohrdurchmesser 2.25 m.

Die geologische Formation ist im Horizontalstollen mylonitisierter Vallorcine-Granit, im schrägen Teil homogener Vallorcine-Granit.

Die Bohrarbeiten wurden mit einer WIRTH-Tunnelbohrmaschine Typ TB I-240 durchgeführt. Die Arbeiten wurden am 8.10. 1968 begonnen mit dem 415 m langen Horizontalteil.

Hinsichtlich der technischen Durchführung sind im horizontalen Teil zu Beginn Störungen entstanden. Sie lagen nicht bei der Bohrarbeit selbst, sondern in der Wegschaffung des Restbohrsgutes von der Sohle der Stollenbrust. Wenn also nicht ein alltäglich regelmässiger Bohrfortschritt erreicht werden konnte, so lag dies fast ausschliesslich bei dem Problem der Wegschaffung des Feinmaterials, das sich am Boden absetzte und mit dem Spül- und Bergwasser eine Schlamm-Masse bildete, die dann mit zusätzlichen improvisierten Mitteln fortgeschafft werden musste.

Wassereinbrüche bis zu 3.000 l/min. bzw. 4.000 l/min., die während der Bohrarbeiten auftraten, haben keine wesentliche Verzögerung verursacht.

Nach Beendigung des horizontalen Teiles wurde die Maschine am ..... in die Schräglage gebracht, und am ..... wurde weitergebohrt. Das Gebirge war hier Granit-Vallorcine mit einer Festigkeit bis zu 2.400 kg/cm<sup>2</sup>.

Als bemerkenswert ist hier herauszustellen, dass aufgrund günstiger Vorversuche im horizontalen Teil ab 630 m im Schrägteil im harten Granit statt wie bisher mit Warzenmeisseln jetzt mit Diskenmeisseln gebohrt wurde.

Die Bestückung des Bohrkopfes betrug:

- 1 Center-Cutter als Warzen-Cutter ]
- 2 Warzen-Cutter als innerer Meissel
- 11 Disken-Cutter

Dieser Einsatz von Diskenmeisseln im Granit ist als sehr zukunftsreich zu bezeichnen, da bislang der Warzenmeissel

als einziges Werkzeug galt, mit dem Granit wirtschaftlich gebohrt werden konnte.

Der Bohrfortschritt, der vorher etwa bei 0.65 - 0.95 m/h lag, stieg auf 0.7 - 1.1 m/h bei einem Andruck von 105 - 125 t (ausschliesslich Maschinengewicht). Die Leistungsaufnahme der Motoren nahm nicht wesentlich zu.

Der Verschleiss der Disken war in sehr tragbarem Rahmen. Es wurden mit den Disken Standzeiten bis zu 150 m erzielt, wobei zu bedenken ist, dass die Lager noch brauchbar sind und nur die Disken ersetzt werden müssen, welche relativ billig sind. Was als ausserordentlich bemerkenswert zu bezeichnen ist, ist die Änderung der Zusammensetzung des Bohrgutes bei Verwendung der Diskenmeissel (fig. 8).

Die ersten Ermittlungen haben ergeben, dass eine weitere beträchtliche Senkung des Werkzeugkostenanteils pro m<sup>3</sup> möglich ist für den Fall, dass der Granit sich mit Diskenmeisseln bohren lässt.

Aus der Fülle der Erfahrungen und Ergebnisse des praktischen Einsatzes von Tunnelbohrmaschinen und Werkzeugen im Granit hat die Firma Wirth & Co. selbstverständlich Konsequenzen gezogen.

Um allen Erfordernissen der verschiedenen Gebirgsformationen - und nicht nur für Granit, sondern auch für harte und härteste andere Formationen - entsprechen zu können, hat man sich zu folgendem Bohrwerkzeugsystem entschlossen:

Der Bohrkopf ist mit aufgeschweissten sogenannten Sätteln bestückt, die so angeordnet sind, dass die Form des Bohrkopfes ein zerkleinerungstechnisch hünstiges Anbringen der Schneidrollen zum Gebirge gestattet. Diese Sättel ermöglichen eine sehr einfache und zeitsparende Montage oder Demontage der Schneidrollen, die auf einer Achse drehbar gelagert sind. Diese Achse hat an beiden Enden eine starke Auflage und wird mit jeweils 2 Scheiben im Sattel gehalten.

In die Sättel können, ohne dass am Bohrkopf etwas geändert werden muss, drei verschiedene Meisseltypen eingelegt werden,

und zwar: Warzen-, Disken- oder Zahn-Cutter, je nach Härte und Bohrbarkeit der anstehenden Gebirgsformationen. Alle Meisseltypen haben ein- und dieselbe Lagerkonstruktion, Lagerachse und Abdichtung.

Die Erfahrungen haben jetzt gezeigt, dass zumindest die eigentlichen Schneidwerkzeuge - hier die Warzen - im Granit doch wesentlich länger stehen und bohren als angenommen. Eine technische Aufgabe besteht darin, die Standzeit der Lager auf mindestens 1000 Stunden zu erhöhen, um sie der Standzeit der Schneidwerkzeuge, die vermutlich im Granit bis ca. 500 m liegen wird, anzugleichen und zu übertreffen. Mit den in letzter Zeit getroffenen Massnahmen ist man auch diesem Ziel sehr nahe gekommen.

Der Standpunkt, dass Maschine und Meissel aus einer Hand von einem Hersteller kommen sollten, führte zu diesen Entwicklungsarbeiten. Nur dann lassen sich die Erfordernisse des Bohrbetriebes am besten verwirklichen, wenn ein Konstrukteur beides gegeneinander abstimmen kann.

Selbstverständlich hat sich die Entwicklungstätigkeit der Firma Wirth & Co. nicht nur auf die Weiterentwicklung der Meissel beschränkt. Zwangsläufig musste man sich auch mit neuen Problemen befassen, die die Tunnelbohrmaschine selbst betreffen.

Im Zuge des Ausbaues der Schweizer Nationalstrasse N 2 ist in der Nähe von Luzern der Bau von zwei nebeneinanderliegenden Strassentunneln an die schweizerische Arbeitsgemeinschaft SONNENBERGTUNNEL vergeben worden. Jeder Strassentunnel hat eine Länge von ca. 1300 m und soll mit einem Durchmesser von 10.46 m gebohrt werden.

Den Auftrag über Konstruktion und Herstellung der Tunnelbohrmaschinen hat die schweizerische Arbeitsgemeinschaft der Maschinen- und Bohrgeräte-Fabrik Alfred Wirth & Co. KG, Erkelenz, erteilt.

Die beiden Strassentunnel sollen aufgrund einer Planung und eines Vorschlages der Firma Murer AG, Erstfeld (Schweiz), wie folgt hergestellt werden:

Mit einer Tunnelbohrmaschine von 3.5 m  $\emptyset$  wird zunächst ein Pilotstollen gebohrt. Anschliessend wird dieser Pilotstollen von 3.5 m Durchmesser mit einer Tunnelerweiterungsmaschine auf 7.70 m erweitert. Unmittelbar hinter dieser Maschine läuft eine zweite Erweiterungsmaschine, die den Tunnel- $\emptyset$  von 7.70 m auf 10.46 m vergrössert (fig. 9).

Durch dieses Verfahren lässt sich das Gebirge vorweg erschliessen, so dass der Unternehmer sich auf zu erwartende Gebirgsstörungen und Schwierigkeiten entsprechend einstellen kann. Weiter bietet das Verfahren den Vorteil, dass die nachfolgenden Tunnelerweiterungsmaschinen in einem entspannten Gebirge bohren.

Bei Ausfall einer Erweiterungsmaschine kann die zweite Maschine in einem begrenzten Umfang weiterbohren, während an dem ersten Gerät Überholungsarbeiten vorgenommen werden.

Der Durchmesser des Bohrkopfes jeder Maschine lässt sich vergrössern und verkleinern. Für später folgende Projekte und Einsätze ist es auch möglich, die eine oder andere Maschine einzeln einzusetzen, so dass mit dieser Maschinenkombination verschiedene Durchmesser, je nach Forderung, gebohrt werden können. Die Bohrköpfe sind so konstruiert, dass sie sich mit verschiedenen Bohrmeisseln, wie es die jeweiligen Gebirgsformationen erfordern, ausrüsten lassen.

Diese Möglichkeiten gestatten dem Unternehmer einen vielseitigen Einsatz der Maschinen.

Das System, mit Erweiterungsmaschinen zu bohren, lässt sich natürlich nicht nur für horizontale Stollen, sondern auch bei Schrägstollen anwenden.

Es wird interessieren, wenn hier noch zwei Grosslochbohrgeräte gezeigt werden, die mit der Tunnelbohrmaschine verwandt sind. Es handelt sich um eine um  $90^{\circ}$  gedrehte oder auf den Kopf gestellte Tunnelbohrmaschine (fig. 10). Dieses Gerät soll im deutschen Steinkohlenbergbau als Gesenkbohrmaschine zum Bohren von Gesenkschächten eingesetzt werden. Die Antriebsleistung beträgt 3 x 75 KW, der Andruck bis zu 300 t, das Drehmoment 24.000 mkg bei 6.3 U/min.

Dieses Bohrgerät wird Mitte nächsten Jahres fertiggestellt und auf einer Zeche eingesetzt werden.

Als logische Weiterentwicklung sollte dieses Gerät auch als Vollbohrgerät eingesetzt werden können.

Es ist bekannt, dass Bohrgeräte nach dem Lufthebe- oder Saugbohrverfahren Schächte bis 2.5 - 3.5 und 5 m abbohren. Wenn man das Saugbohrprinzip auch hier anwendet, sollte es auch möglich sein, mit einem derartigen Gerät ohne Gestängeantrieb Schächte grossen Durchmessers in standfestem Gebirge - bei kontrollierbarem Wasserzufluss - in harten und härtesten Formationen bohren zu können.

Wenn anfangs gesagt wurde, dass die Entwicklung der Tunnelbohrmaschinen in den letzten Jahren einen fast explosionsartigen Fortschritt gemacht hat, so kann mit den hier aufgeführten Beispielen gezeigt werden, dass das Auffahren von Stollen und das Herstellen von Tunneln aller Art auf maschinellen Weg der Zukunft gehört und nicht mehr aufzuhalten ist.

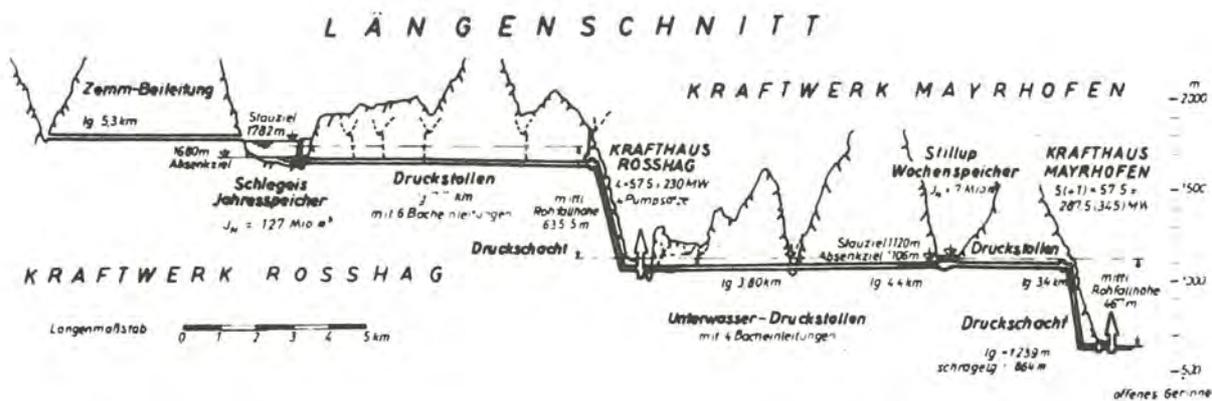


Fig. 1.

Lengdesnitt av kraftverk: Rosshag - Mayrhofen.

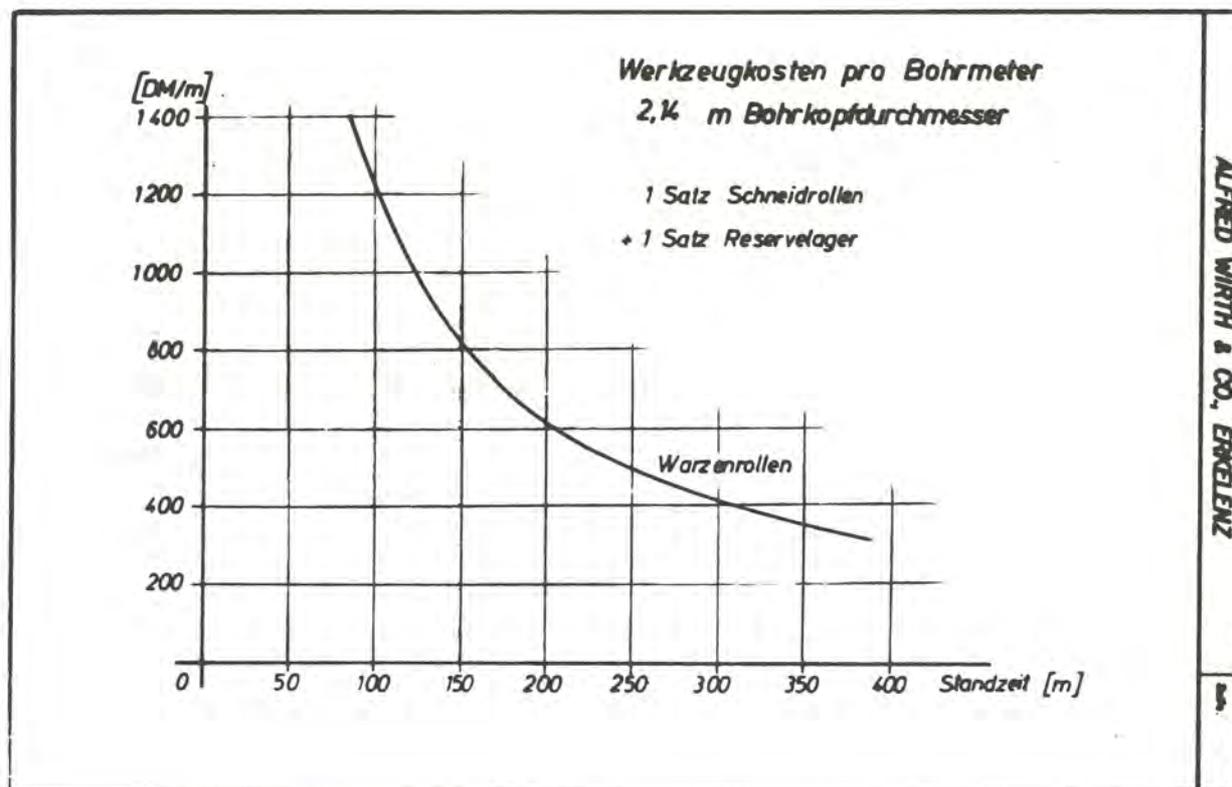


Fig. 2.

Verktøykostnader i D.-mark pr. bormeter -  $\emptyset = 2.14$  m.

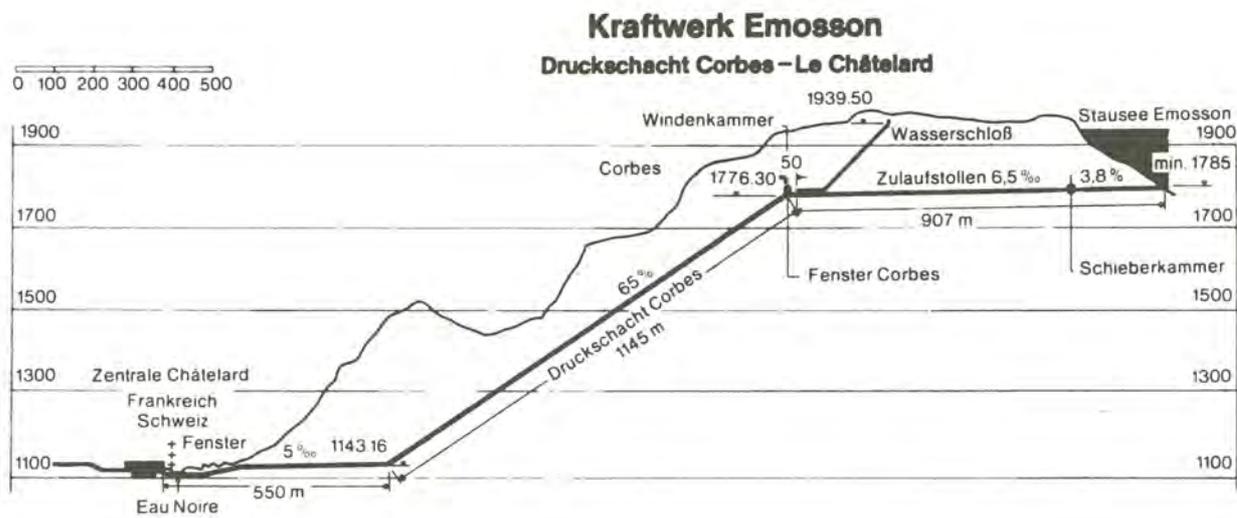
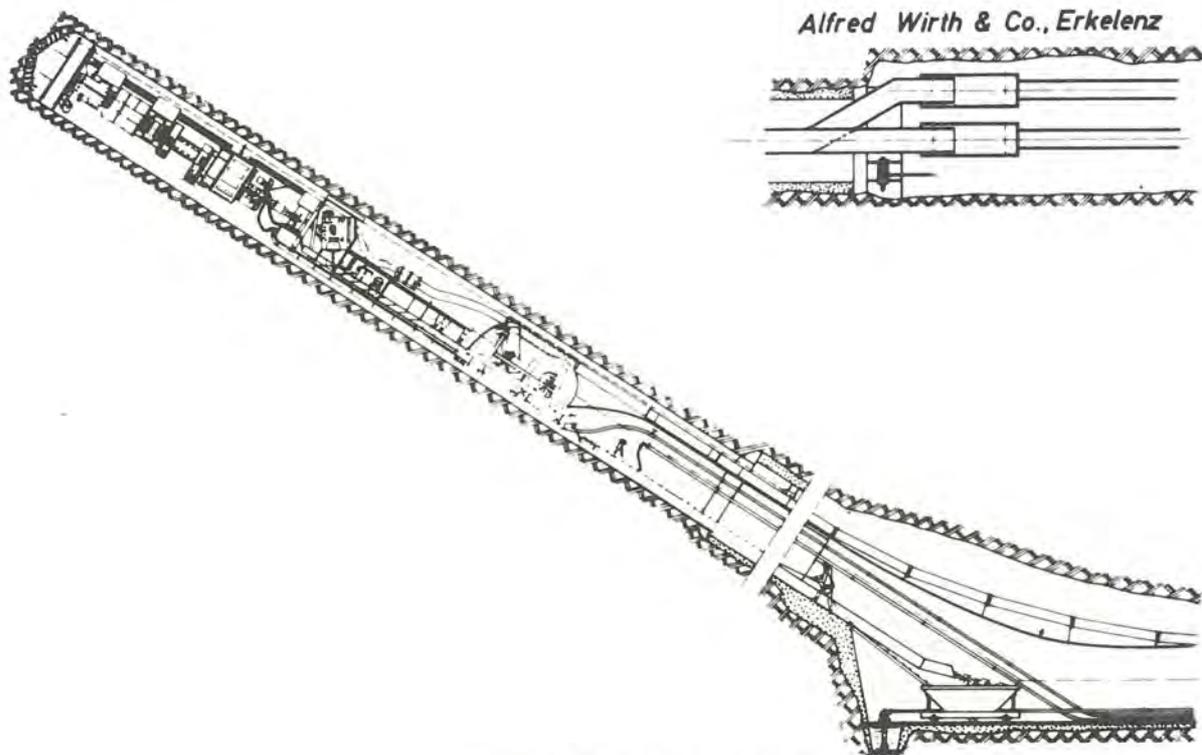


Fig. 3.

Trykksjakt: Kraftverk Emosson.



Montage Tunnelbohrmaschine TBII-300; Schrägbohrung

Fig. 4.

Fullprofilboring av skråsjakt. Maskin: Alfred Wirth & Co.,  
Type TB II - 300

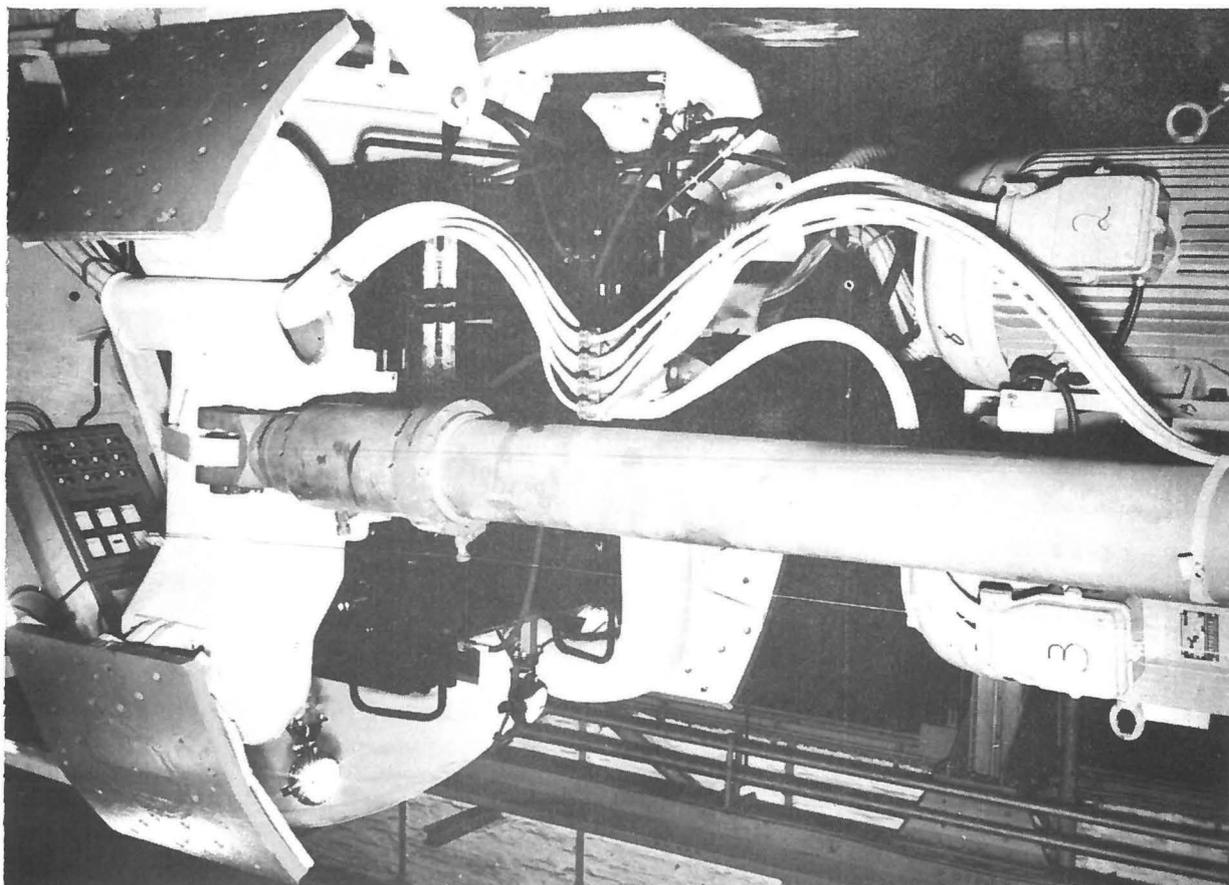


Fig. 5.  
Detaljer av fastspenningsanordning for fullprofilboringsmaskin

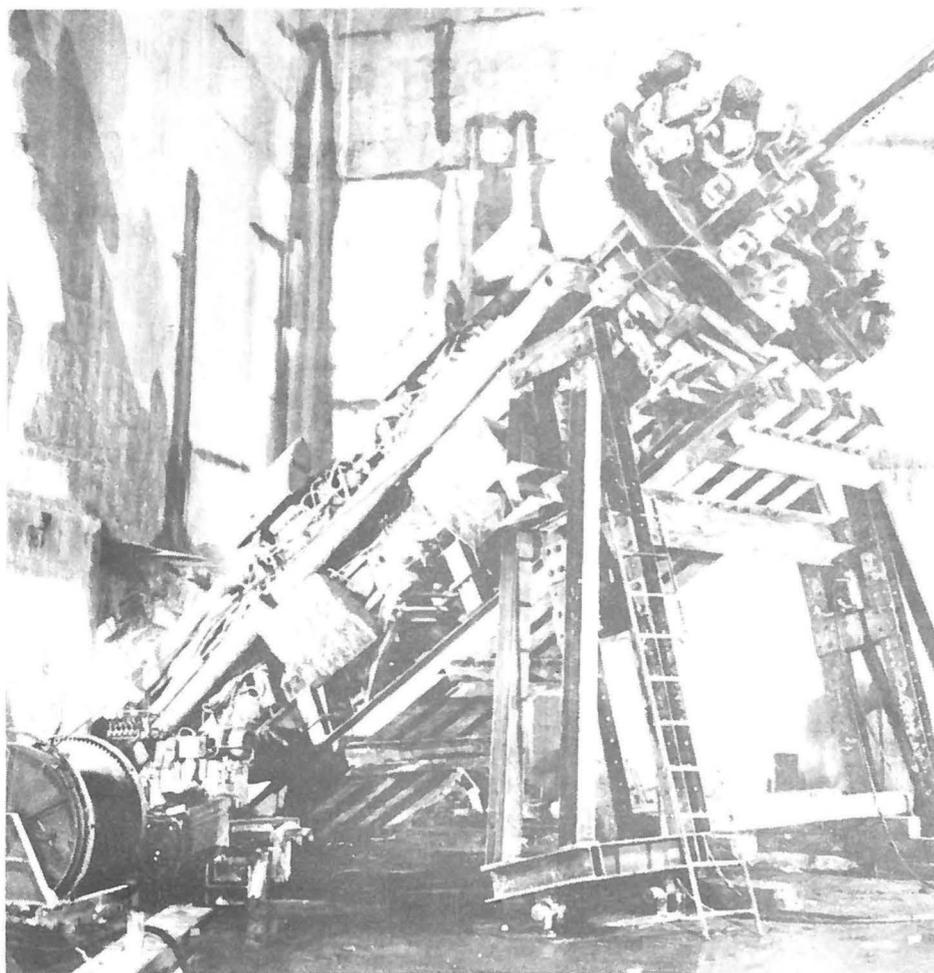


Fig. 6.  
Gjennom boring  
("gjennomslag") av skrå-  
sjakt med fullprofil-  
boringsmaskin.

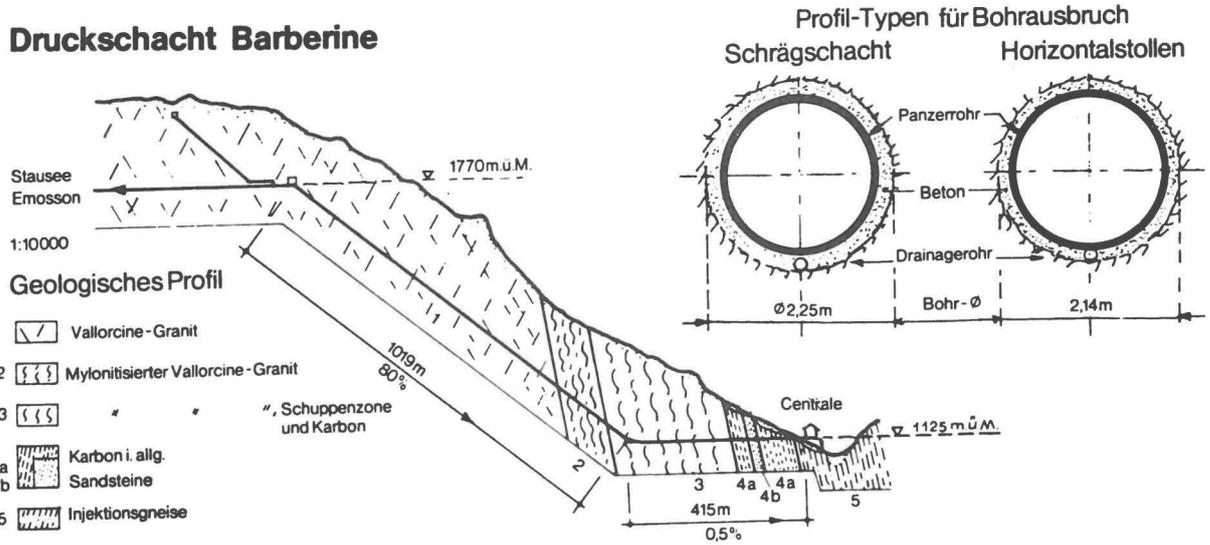


Fig. 7.  
Geologisk profil av trykksjakt: Barberine.



Fig. 8.  
Stykkefall fra fullprofilboringsmaskin.

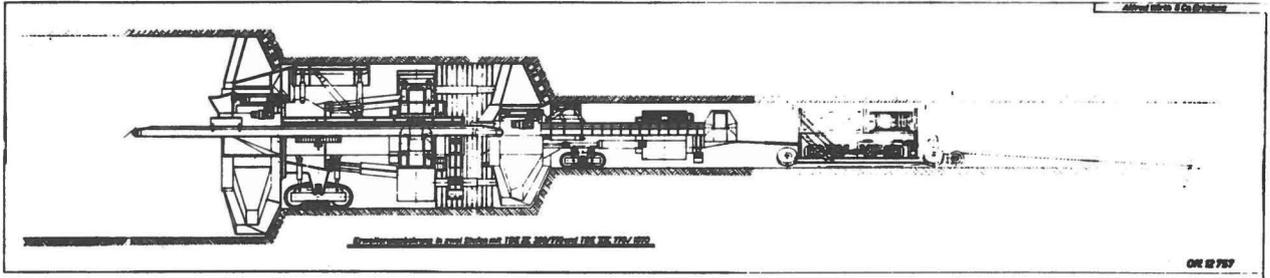


Fig. 9.

Fullprofilboring. Utvidelsesboring (oppørrmming) i 2 trinn.

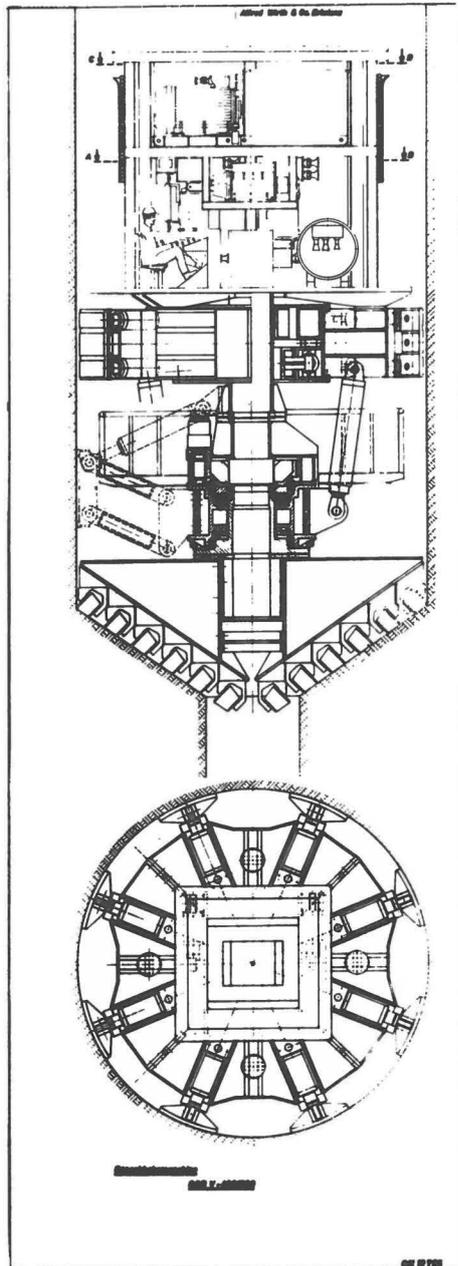


Fig. 10.

Fullprofilboringsmaskin for vertikal boring.

Maskin: Alfred Wirth & Co.

Fig. 10.

THE DESIGN AND DEVELOPMENT OF  
GREENSIDE-McALPINE ROCK TUNNELLING MACHINE

av

Sivilingeniør N. D. Pirrie  
Sir Robert McAlpine & Sons Ltd., London

THE DESIGN AND DEVELOPMENT OF A ROCK  
TUNNELLING MACHINE.  
-----

Introduction.

I am conscious in speaking to you today that I am addressing some of the worlds leading experts in rock tunnelling by conventional methods. I know that the rock you deal with is usually harder than those we have to concern ourselves with in Great Britain.

With these facts in mind it will be useful to have our efforts to drill rocks by machine put under scrutiny by such experts as yourselves.

I should say right at the beginning that we have never set out to drill the harder igneous rocks but have consciously believed that our approach using drag picks, would only deal with sedimentary formations up to a hardness of about 1250 kg/cm<sup>2</sup>.

It also seemed fairly obvious that because the rate of progress with a machine is governed almost directly by the hardness of the rock that we should consider the use of our machine only in the softer rocks where we would show to the greatest advantage, particularly since in the traditional case, the rate of progress is very little different between hard and soft rock.

Moreover, whereas in softer rocks after blasting it is necessary to provide rock support, when boring with machine considerably less support is required. Thus there is every advantage machine-wise in going for the softer rock tunnels and little to be gained in the very hard.

Having said that, let me now get to the subject matter of my talk and describe to you our efforts to produce a rock tunneling machine.

Some twelve years ago Sir Robert McAlpine and Sons Limited were already successful in designing soft ground tunnelling machines for use on their own contracts, and were pioneers in the use of such machines. Two machines were built at

this time. They subsequently designed and built four more machines which were used to construct the new Victoria Line in London's Underground Subway system, and two machines for the Toronto Subway in Canada.

Having gained considerable experience over this span of time in the use of tunnel machines, it became obvious that McAlpine should extend their activities into the area of the softer and medium hard rocks, but it was also clear that this would require a different approach and a different design.

At this point I make reference to Professor Hirschfeld's "Report on Hard Rock Tunnelling Investigation" published in October 1965, wherein he stated that -

"Machine tunnelling has several technical advantages over drilling-and-blasting.

- 1) Greater safety
- 2) Less overbreak
- 3) Less labour required
- 4) Continuous excavation and muck removal
- 5) No blasting damage to nearby structures
- 6) Potentially faster rates of excavation

But much more research and development work is needed to make the tunnelling machines more versatile, reliable and economical than they are today, with emphasis on the following problems -

- 1) Capital cost
- 2) Boring harder rocks
- 3) Dust control
- 4) Cutter wear
- 5) Muck removal
- 6) Tunnelling in zones of high water inflow
- 7) Tunnelling in zones of defective rock

- 8) Prediction of machine performance in advance of construction
- 9) Thrust
- 10) Bearing Wear
- 11) Alignment of bore
- 12) Change of diameter

McAlpine decided to concentrate on improving four of the principal disadvantages named by Hirschfeld of the existing rock cutting machines namely -

- 1) High capital cost
- 2) Problem of change of diameter
- 3) High thrust requirements
- 4) Expensive cutter cost

First, High Capital Cost - one of the contributory factors is that most designs use roller bits or disc cutters mounted across the full diameter of the machine. This requires a very heavy thrust and high torque in order to make each roller bit effective in breaking out the rock. This in turn requires a heavy structural construction of the machine with a high power input and consequent high cost.

A second contributing factor is the high cost of development and prototype testing which has to be absorbed into the finished product.

To reduce this cost of development it was considered desirable to start with a known machine that had already made progress in mining, and, therefore, had proved its capability and paid for some of its development up to that point, and one that also had some unique technical features.

The machine that was selected for this further development was the Greenside Heading Machine which had been used by the British National Coal Board to form arched headings in coal mines. The technical advantage that this machine

gave us was that with its unique cutting principle we could see a way of meeting some of the principal objections held against existing designs, as mentioned above.

This machine used a small rotating head of about 3-ft. diameter which traversed an arm which also rotated about a horizontal shaft. In this way it was possible to cut an arch profile.

Since most of the worlds tunnels require a circular section, particularly water tunnels, Greenside and McAlpine joined forces to produce a machine to cut circular tunnels in rock.

To do this the cross traverse conveyor was removed and because the new section was circular, only the central conveyor was needed as the material falls naturally to the centre. It was to be assisted, however, by two sweep arms placed either side of the central conveyor.

This conveyor was also given an advance and retract motion so that it could keep the rock face clear right up to the excavation point. More power was also given to the cutter drum.

#### Range of diameters

You will now see that with this unique method of cutting it is possible to have a basic machine able to cut a range of sizes of tunnel with 85% of basic equipment remaining the same. Changes within the limits of say 1 m. can be accomplished by adding packing pieces to the retracting canopy and base portion, and by inserting an extra length of cutting arm. All the working portion of the machine remaining the same. Above 1 m. it would be necessary to replace the canopy and the base structure which are relatively cheap components.

To a contractor faced with the purchase of a machine, the ability to change diameter is a considerable advantage and gives him greater flexibility of use on a wider range of jobs.

High thrust requirement.

The disadvantage of the high thrust requirement of several hundreds of tons needed by most tunnel machines, is that this reaction has to be taken somewhere in the tunnel. The ways of absorbing this depend to some extent on the desired lining of the tunnel.

If precast concrete segments are used then it is possible to line the tunnel tight behind the machine and thrust off the lining as do the soft ground machines.

If an in-situ lining is required by the designer, then it will be necessary to provide a temporary lining of steel ribs which will have to be strongly strutted and braced to resist the reaction of thrusting, which may be as high as 300 or 400 tons. This of course, is an undesirable extra tunnel cost.

Another possibility is to include a special expanding thrust member, or members, into the machine to give a sideways grip on the rock. This also is extra capital cost on the machine, and all of these methods bring their own complications.

But with the Greenside-McAlpine machine the thrust required is only about 10 or 12 tons to force the cutter head into the rock. Thus this complication and problem entirely disappears. Even with a four-cutter drum machine of 6 or 7 m. diameter, the total thrust requirement need be only about 50 tons to effect penetration.

This is a considerable advantage.

Expensive cutter cost.

Rock cutter bits will always be considered expensive. But this is almost inevitable, because after all, this is the point at which horsepower has to do its work in breaking out the rock. We have found it possible, however, to use the drag pick type of cutter with Tungsten Carbide inserted tips capable of breaking out sedimentary rocks up to a strength of 1,000 - 1,250 kg/cm<sup>2</sup> satisfactorily.

These picks are mounted on steel shanks and fitted into a box holder which has a quick release mechanism so that the changing of a pick is a matter of seconds only.

As may be expected we have found that different kinds of pick are needed in different kinds of rock and that it is of vital importance to have the correct shape of tooth and correct angle of attack and relief to the cutting edges.

Simple and minor changes on these matters can make dramatic changes in output and cutter life.

The range of cutter cost is 18 - 54 Kr. depending on the rock formation (a range of 3 : 1). A significant cost factor in the use of picks as against rollers is the saving in maintenance.

To change a pick is a matter of seconds and there are no bearings to wear out or keep cool. With a rapid change of pick it is possible to keep them reground to a good cutting quality more frequently.

### Reliability

An oil hydrostatic type power transmission was chosen for several reasons -

- 1) the inbuilt protection that it is possible to give all the driven components from sudden shock or excessive torque is well known, plus the ability to set positive limits on the system.
- 2) by use of slow speed piston type hydraulic motors the minimum of mechanical gearing reduction is required,
- 3) by use of an axial piston swash plate type oil pump we can vary the speed of the cutter drum at will and also have an automatic stall device controlling the power such that on reaching a predetermined pressure value the swash plate angle can be automatically reduced, if necessary to zero stroke position so that there is no flow, and consequently no rotation of the cutter under extreme over-

load whilst yet maintaining torque. On release of the stall situation the drum will automatically resume rotation. Thus also the waste of horsepower in heat as would occur through a pressure relief valve alone is avoided.

Use of a hydraulic system allows freedom of design to obtain the most convenient position of all mechanisms. An important point in the congested space of a tunnel. The lack of complication once again leads to simplicity and lack of extensive equipment, i.e. low capital cost.

#### Summary.

We should like to make it clear that the machine we have described is still only at the beginning of its career and that so far only a single drum cutter machine has been used.

Our experience has been limited to those sites available to us and these have been in LIMESTONE mixed with mudstone, The Limestone varying in hardness from 600 - 1,800 kg/cm<sup>2</sup>, the mudstone from from 300-850 kg/cm<sup>2</sup>.

We have also operated in very weakly cemented sandstone and also in massive and competent sandstone up to a strength of 1,000 kg/cm<sup>2</sup>.

Total length driven 4,000-ft.

It will be seen, therefore, that our experience is very limited indeed, but we have seen enough to believe that this type of machine has a possibility for further development and use in the softer and medium sedimentary rock strata.

In fact we have now under construction two twin-drum cutter machines which will double the output of the single drum cutter, with only about 60% increase in capital cost. These machines are being built for another contractor in Great Britain and should be delivered in January 1970.

We already have design schemes for four-drum cutters to take us up to diameters of about 6 metres.

### Costs

The cost of a twin cutter machine will be -

for 3 m. dia. ca.	1.400.000 Nor.Kr. f.o.b. London
4 m. dia. ca.	1.550.000 Nor.Kr. f.o.b. London
5 m. dia. ca.	1.800.000 Nor.Kr. f.o.b. London

These machines in medium to hard rock would have an output of between 12 m<sup>3</sup> - 14 m<sup>3</sup> per hour.

The utilisation at Hinkley has been	82,2%
with machine breakdown of	10,1%
and other delays amounting to	7,7%

when used on single shift of 11 hours over a period of 61 weeks.

It would be reasonable to expect on a 2 shift or 3 shift basis a utilisation of 66%.

The machine requires -

- 1 driver
- 1 conveyor attendant
- 1 man rock bolting
- 1 man for extending air and water services
- 1 electrician and 1 mechanic will be required as necessary

### The future

Future cost reduction lies in a better knowledge of -

- carbide selection
- better pick shapes
- better reclamation
- (i.e. re-tipping and grinding)

resulting in greater output for a given horsepower. All these factors will produce significantly lower costs.

We also need better criteria for assessing whether a tunnel can be cut by machine, i.e. a compressive strength test by itself is not enough. We want to know the toughness of the rock, its brittleness and its abrasiveness.

New tests similar to the Izod test on steel need to be developed to help in this assessment.

Finally it must be re-stated that one of the most important things about a machine bored tunnel is its accurate profile and lack of disturbance of the surrounding ground, resulting in a safer tunnel with less support requirement and a greatly reduced lining cost, with sometimes as much as 50% saving concrete.

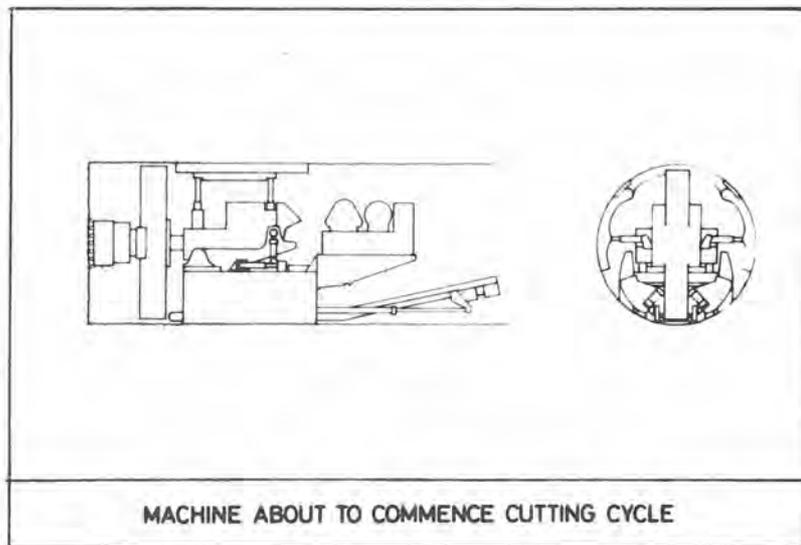


FIG. 1

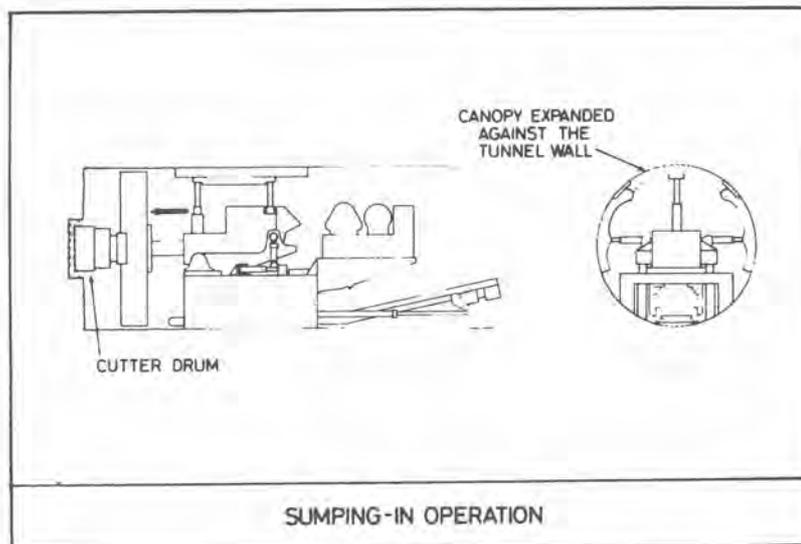


FIG. 2

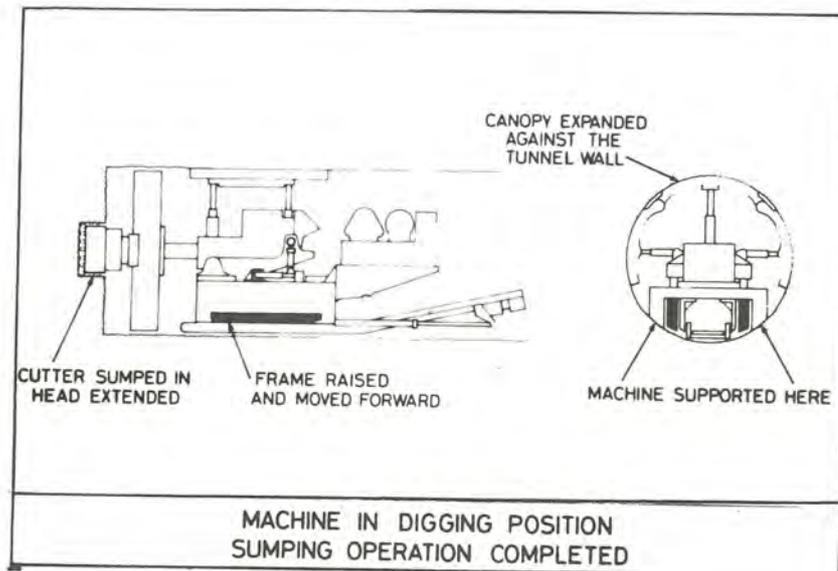


FIG. 3

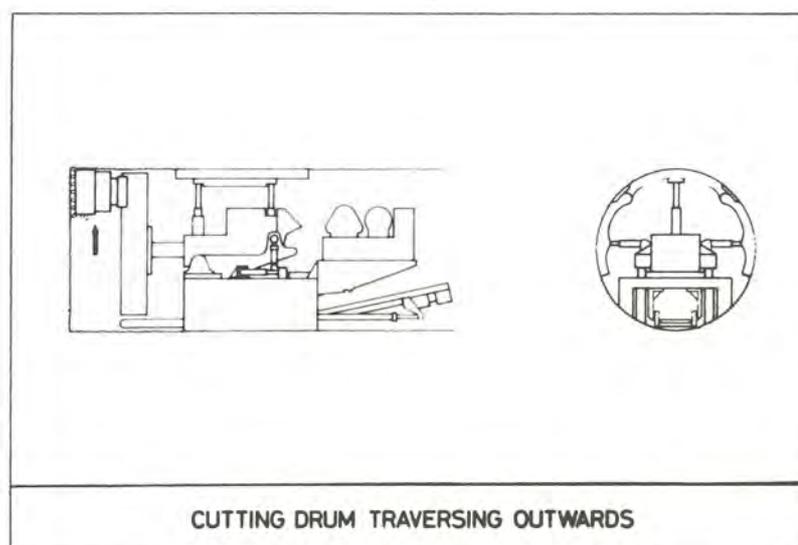
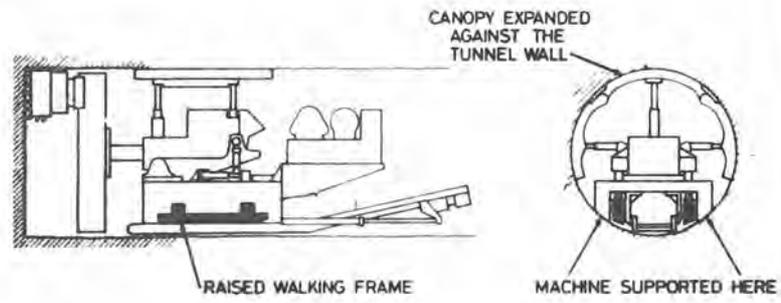
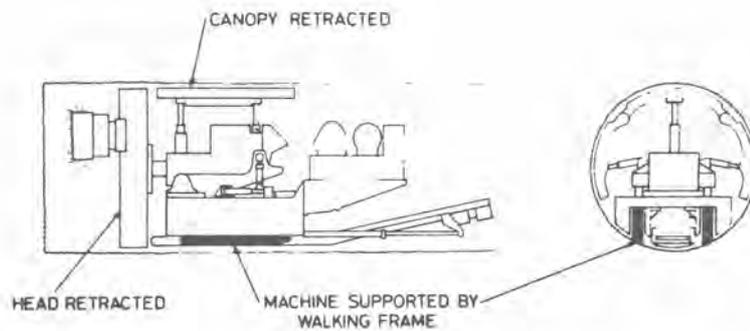


FIG. 4



MACHINE IN WORKING POSITION  
CUT JUST COMPLETED

FIG. 5



MACHINE READY TO WALK

FIG. 6

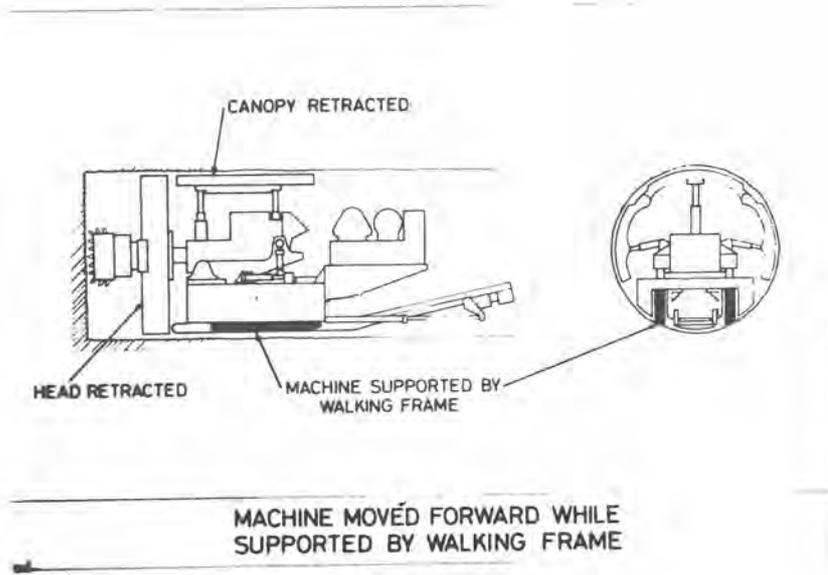


FIG. 7

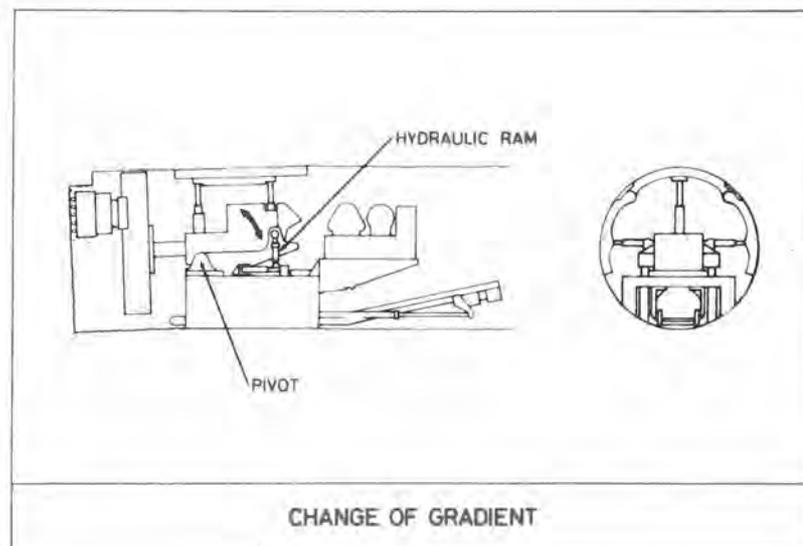


FIG. 8

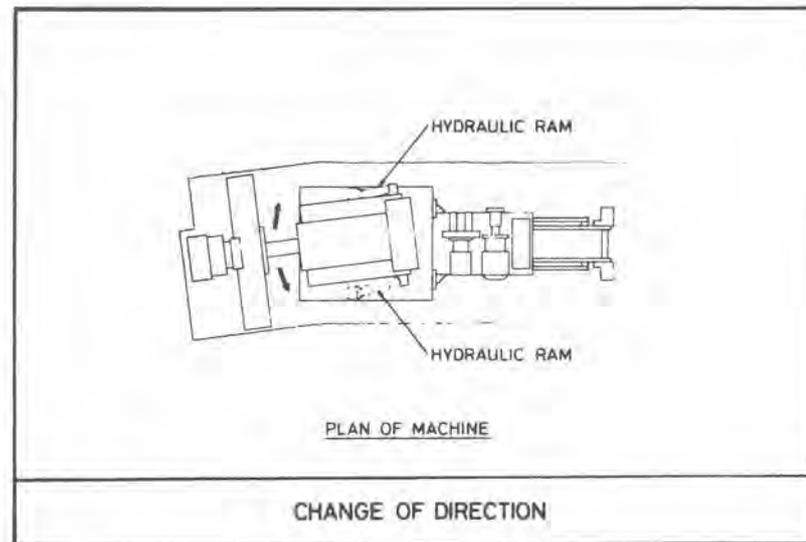


FIG. 9

<u>HINKLEY POINT "B" NUCLEAR POWER STATION</u>	
COOLING WATER TUNNELS	
by	
GREENSIDE McALPINE TUNNEL MACHINE	
LABOUR / SHIFT	
<u>FACE GANG</u>	
	1 Tunnel Boss
	1 Leading Miner
	1 Labourer — rock bolting
	2 Labourers — attend conveyor extend services help rock bolting.
<u>BACK UP GANG</u>	
	1 Loco Driver
	2 Pit Bottom Men (1 spare driver)
	1 Crane / Hoist Driver
	1 Banksman
	1 Fitter
	1 Electrician

FIG. 10

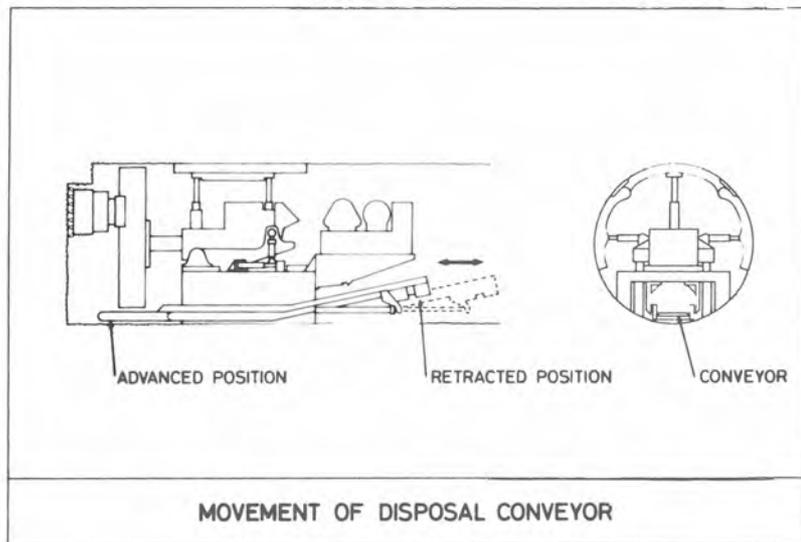


FIG. 11

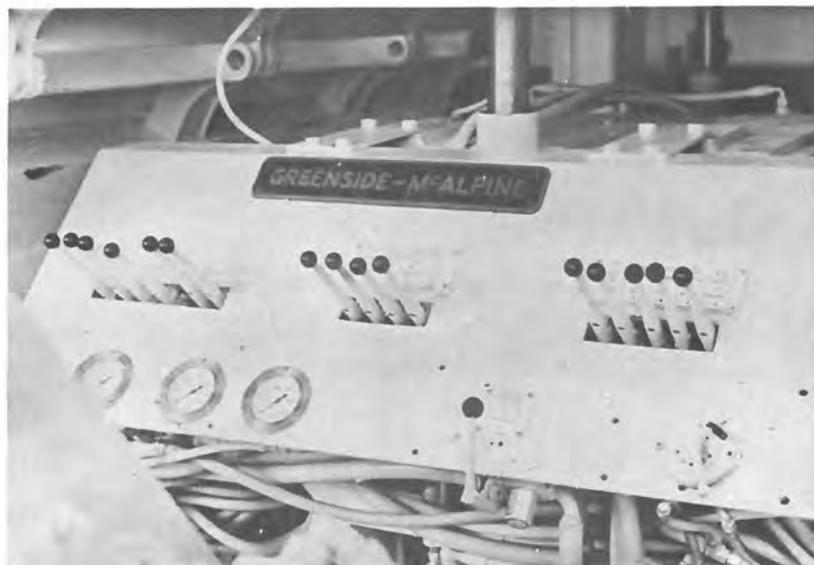


FIG. 12

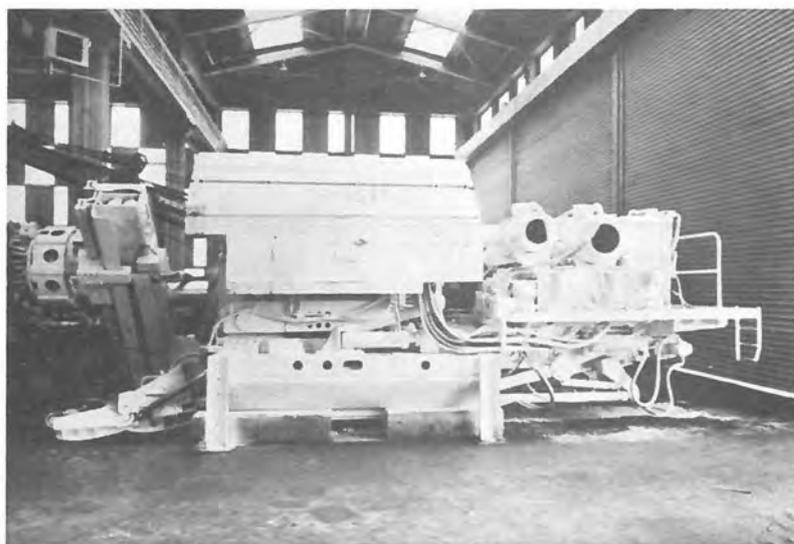


FIG. 13

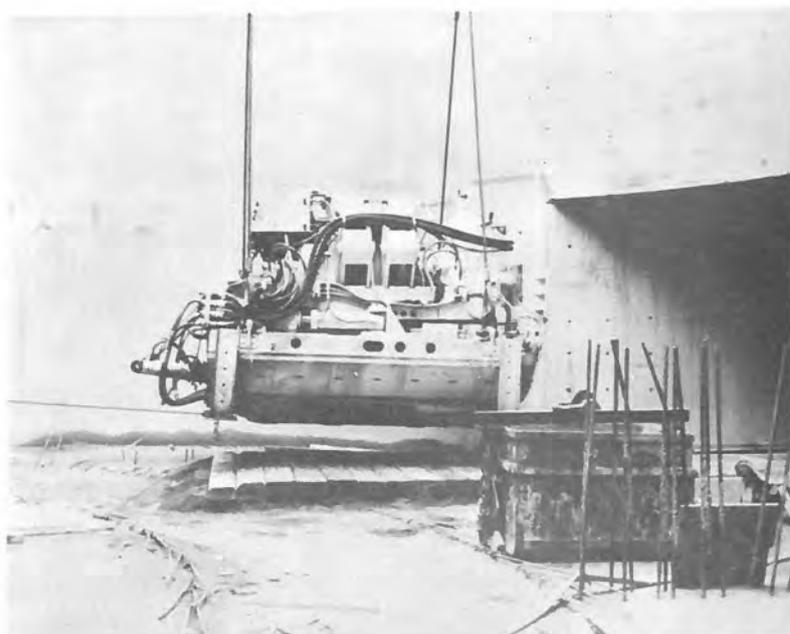


FIG. 14



FIG. 15



FIG. 16



FIG. 17



FIG. 18



FIG. 19

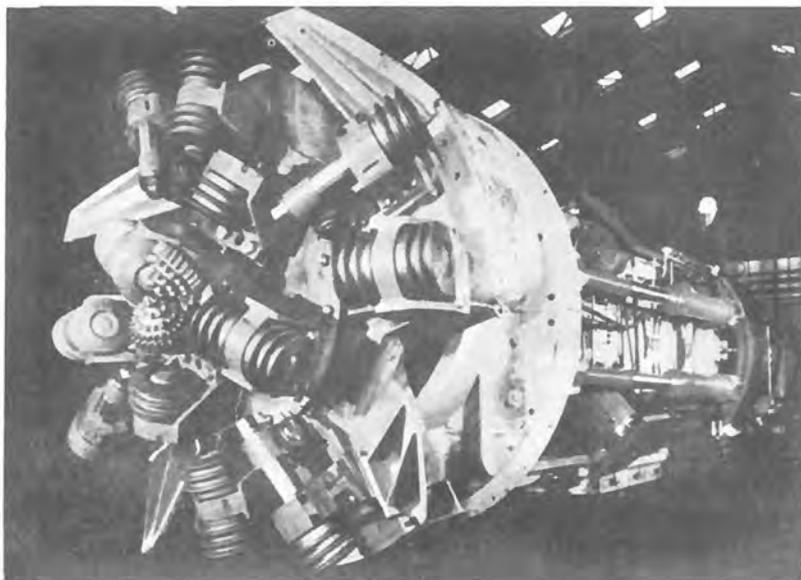


FIG. 20

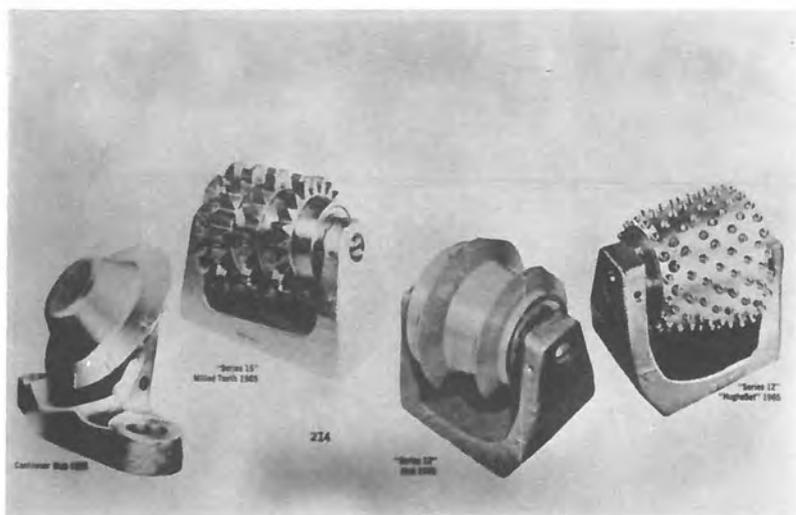


FIG. 21

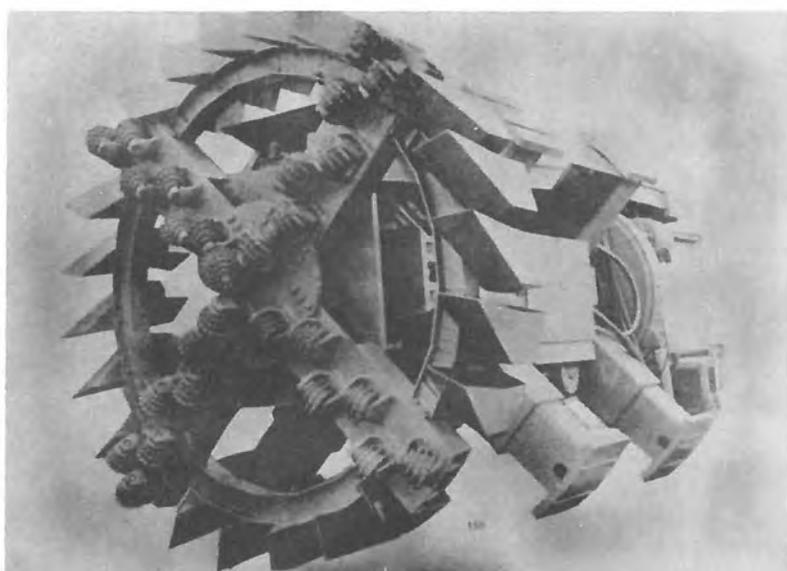


FIG. 22



FIG. 23

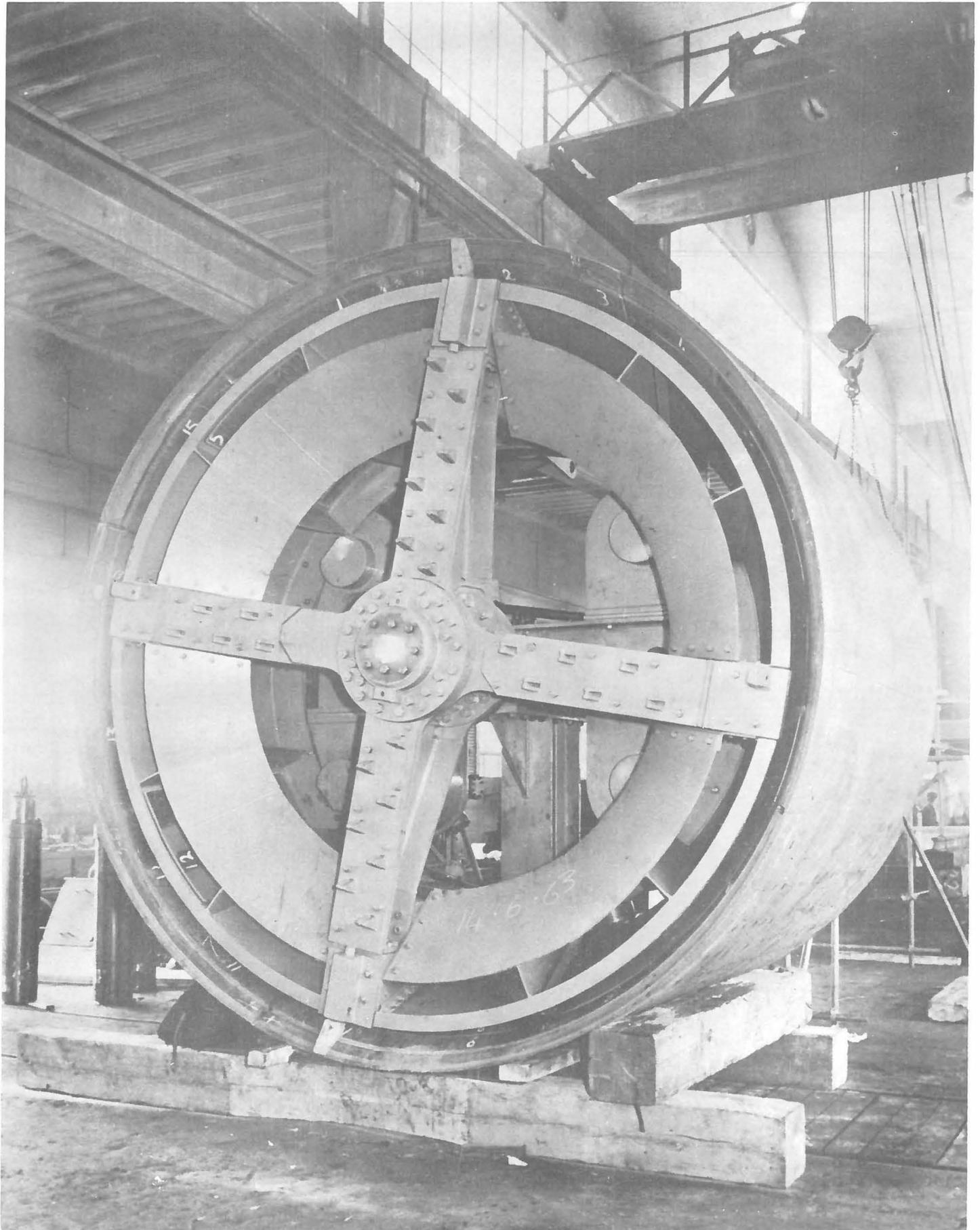


FIG. 24

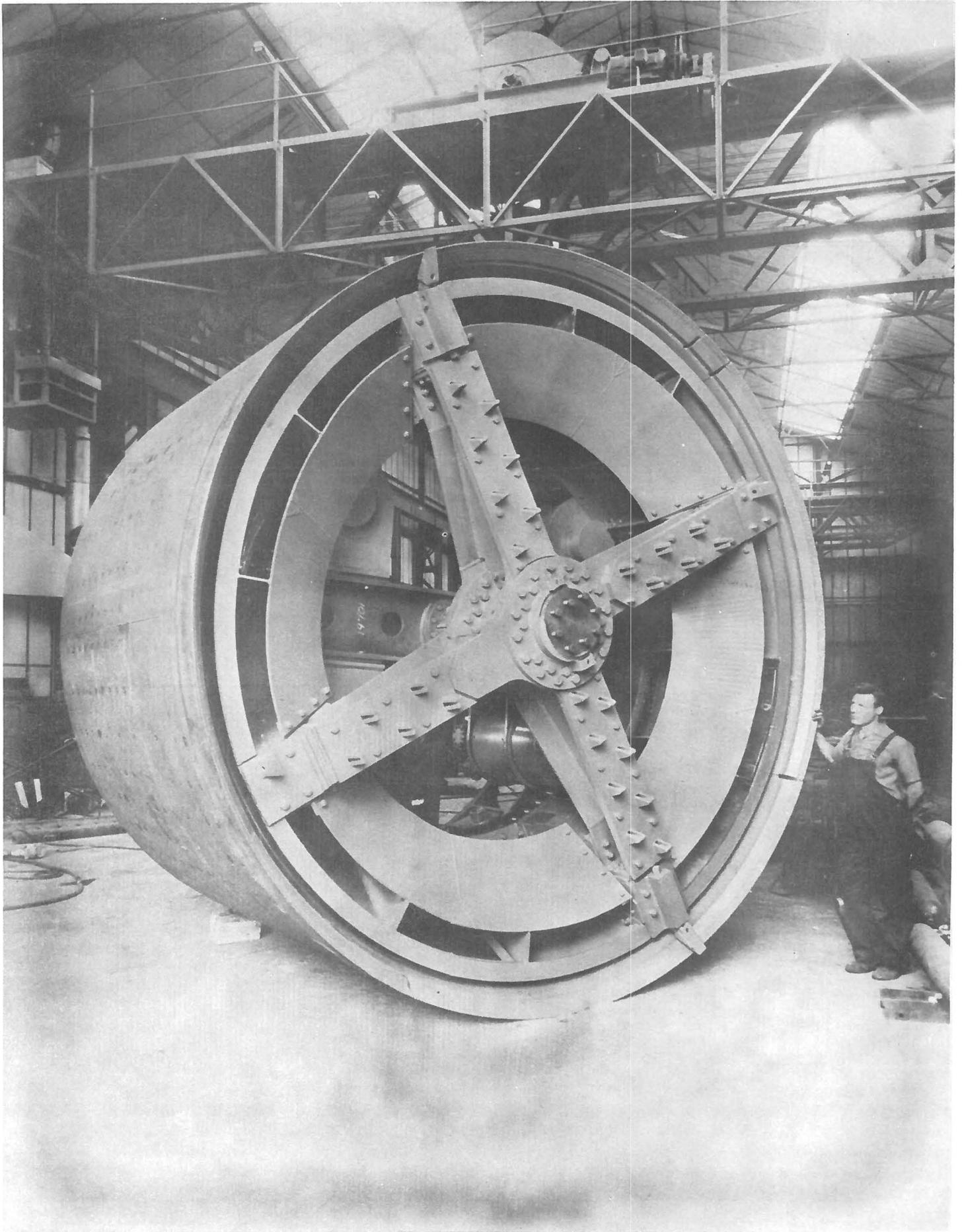


FIG. 25

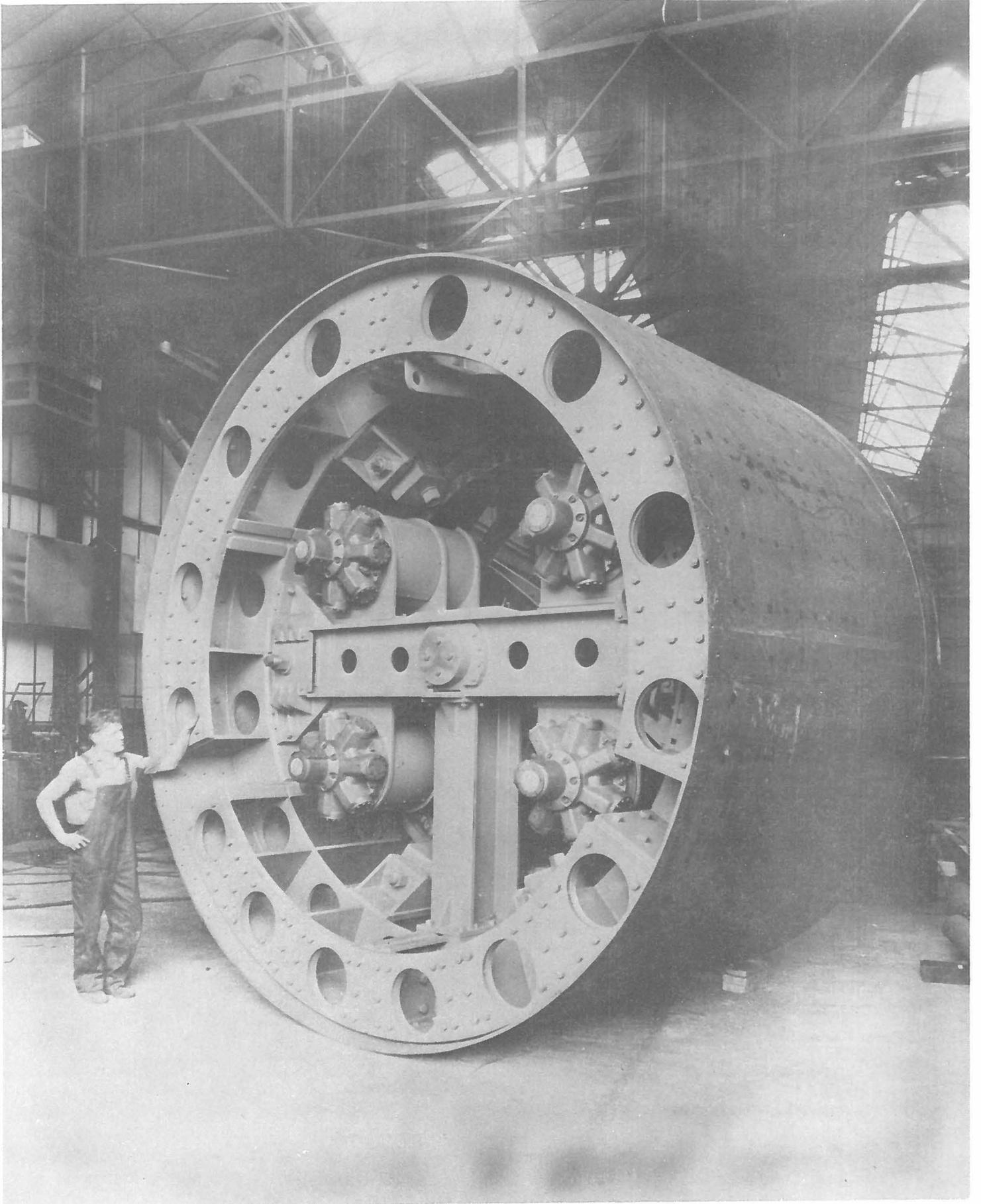


FIG. 26

ENKELTE ØKONOMISKE BETRAKTNINGER  
VED FULLPROFILBORING

av

Bergingeniør Snorre D. Brønder

ENKELTE ØKONOMISKE BETRAKTNINGER VED FULLPROFILBORING.  
-----

Formålet ved dette innlegg er å gi et visst begrep om prisnivået på fullprofilboringsutstyr og kostnadene ved fullprofilboring. Noe fullstendig bilde er det ikke mulig å gi, men det er å håpe at de eksempler som her blir trukket frem, kan tjene som holdepunkter ved videre vurderinger.

Det er tidligere vist at borkronekostnadene er en kritisk faktor ved fullprofilboring. Problemet er både slitasje på selve borflaten, (the shell) og den begrensede levetid på lagrene. Lagerlevetiden kan være så kort at det lønner seg å skifte lagre og benytte samme sliteflate.

Fig. 1. Bildet viser en serie borkroner fra Reed Drilling Tools. En tannkrone (QH) koster ca. kr. 4.500,-, mens en hardmetallkrone (QC) koster ca. kr. 9.000,-. Utskiftning av lagrene koster ca. kr. 2.200,-.

Fig. 2. Bildet viser en annen type kroner, meiselskiver, og disse koster ca. kr. 2.800,- pr. stk. Dessuten viser bildet noen typer kerfkrone. Et sett QC-kroner til en 2,44 m ø maskin koster ca. kr. 150.000,-, mens for en 6,10 m ø maskin blir prisen ca. kr. 600.000,-.

Den billigste type fullboringsmaskin er stigortsmaskinene. Disse er idag blitt standardmaskiner i mange gruver. Eksempelvis kan nevnes at INCO har anskaffet et tosifret antall. Utviklingen kan illustreres ved salgskurven fra James S. Robbins and Ass., den største produsent av stigortsmaskiner idag.

I perioden 1962-65 ble 4 maskiner bygget, i 1966-4 stk., i 1967-4stk., i 1968-11 stk. og de første 6 måneder av 1969-16 stk.

Fig. 3. Bildet viser en Robbins 41 R. Den kan bore opptil 200 m lange stigorter med 1,52 m ø. Maskinen koster ca. kr. 560.000,-. Borgangen til maskinen koster ca. kr. 2.400,- pr. meter.

Fig. 4. Bildet viser en nyere Robbinsmaskin, 61 R. Med denne maskinen er en ca. 360 m (1200') lang stigort med ca. 2,1 m ø boret.

Maskinen koster ca. kr. 1.000.000,-, mens borgangen koster ca. kr. 3.400,- pr. meter.

Det er viktig å henlede oppmerksomheten på borgangen. For en borlengde på ca. 200 m, må man regne med at borgang, kutterhode, borkroner og annet tilbehør vil beløpe seg til det samme som selve maskinen. Dette kan illustreres ved nevnte maskin, modell HG 200 fra Alfred Wirth

Fig. 5. & Co. Maksimal borlengde er ikke oppgitt, men over 200 m lang stigort med 1,4 m ø kan bores. Maskinen kan utvide stigorten videre i flere trinn, helt opp til 4,64 m ø. Tabell I viser prisene:

Tabell I

Pris komplett maskin med selvgående understell	kr. 650.000,-
Borstenger m/tilbehør	kr. 2.700,- pr. m.
200 m/borgang	" 540.000,-
Borkroner	" 100.000,-
Kutterhode	" 12.000,-
Div. verktøy og tilleggsutstyr	" <u>30.000,-</u>
Total investering for boring av 200 m.	
1,4 m ø stigort	<u>kr. 1.332.000,-</u>

Tilleggsinvestering for utrømming til 2,84 m ø,	
inkludert borkroner,	kr. 268.000,-
Tilleggsinvestering for utrømming til 3,92 m ø,	
inkludert borkroner,	kr. 303.000,-
Tilleggsinvestering for utrømming til 4,64 m ø,	
inkludert borkroner,	<u>kr. 313.000,-</u>

Total investering for boring av 200 m.	
4,64 m ø stigort	kr. 2.216.000,-
	""""""""""""""""

Her er hardmetallkroner, Hughes HHX, serie 12, forutsatt brukt.

Fig. 6. Bildet viser en stigortmaskin HRD-5 fra Lawrence manufacturing Co. Maskinen bygger på et noe annet prinsipp enn de tidligere viste. Pilothullet bores her av en uavhengig maskin, kravet til denne er kun at den skal kunne bore 10" hull med tilstrekkelig nøyaktighet. Stigortsmaskinen klatrer oppover etter hvert som den borer, og benytter seg således ikke av noen borgang. Maksimal borlengde er ca. 150 m 1,8 m ø. Utstyrt for boring av 75 m stigort 1,8 m ø koster maskinen komplett kr. 1.200.000,-. En IR-minemaster komplett utstyrt for boring av pilothull av tilsvarende lengde koster kr. 330.000,-.

Av andre fabrikanter av stigortsmaskiner bør nevnes Security Engineering, Hughes Tool Co. og Söding u. Halbach. Dessverre innehaes få opplysninger om disse maskiner.

Kostnadene ved stigortsboring skal illustreres ved to eksempler fra U.S.A. Mr. Hendrichs fra Hecla Mining Company har satt opp følgende regnestykke etter å ha boret 520 m 1,22 m ø stigort i kvartsitt med 3.150 kp/cm<sup>2</sup> trykkstyrke.

Tabell 2.

Utsprengning av plass til maskinen, 68 m <sup>3</sup> ,	kr. 8.580,-
Støping av betongfundament	" 572,-
Elektriske opplegg	" 3.575,-
Andre forberedelser	" 1.788,-
Transport, oppsetting og demontering	
17 MS a kr. 230,-	" 3.910,-
Diverse	" <u>1.788,-</u>
Total forberedelse, uansett hull-lengde	kr. 20.213,- " " " " " " " " " " " "



drevet stigort ofte blir bestemt av drivemetoden, i stedet for av den funksjon stigorten senere skal fylle. Med dette i minnet, er fordelene ved å benytte fullborede stigorter til styrtsjakter, ventilasjonsorter etc., tydelige".

Sitat slutt.

Erfaring fra en gruve i New York State, basert på boring av 1,114,7 m stigort i apatittholdig magnetitt og i Granittisk Gneiss, gav følgende resultat.

Tabell 4.

1,22 m ø stigort

Høyeste meterpris	kr. 705,-
Laveste meterpris	kr. 423,-
Gjennomsnittlig meterpris	kr. 656,-
Kronekost ved utrømming	kr. 234,-

1,52 m ø stigort

Laveste meterpris	kr. 656,-
Gjennomsnittlig meterpris	kr. 892,-
Kronekost ved utrømming	kr. 328,-

Kronekostnadene var garantert av kroneleverandøren. Denne var villig til å fornye kontrakten med de nåværende priser. Avskrivningen, kraft og arbeidsledelse er ikke inkludert. Kostnadene er utregnet med kr.53,60 pr. time i arbeidslønn som basis, og to manns bemanning på maskinen.

Tunnelmaskinene er i sin oppbygning langt mer kompliserte enn stigortmaskinene, da tunnelmaskinene skal fylle langt flere funksjoner. Ved siden av selve boringen skal også maskinen kunne styres, massen skal fjernes fra stuff, og forholdene i tunnelen som støv, støy og temperatur skal kunne kontrolleres. Maskinene skal dessuten være sikre arbeidsplasser. I det følgende

er kun tunnelmaskiner etter rotasjonsboringsprinsippet behandlet, da de skjærende maskiner er forutsatt behandlet i et annet foredrag.

En generell bemerkning om priser.

Ofte angies reglen "Tunnelmaskiner koster ca. 1000,- pr. HK". Det er imidlertid vidt forskjellig hva som er inkludert i prisen på en maskin. Noen oppgir prisen komplett maskin inkludert lasteanlegg, kutterhode og borkroner. De fleste angir komplett maskin eks. borkroner, mens noen angir maskin eks. borkroner og kutterhode. Reglen kan gi ett begrep om størrelsesorden på amerikanske maskiners pris, selv om flere fabrikanter fremhevet at reglen passet dårlig for deres maskiner.

Reglen må ikke anvendes på europeiske maskiner, disse ligger generelt godt under de amerikanske i pris.

Fig. 7. Bildet viser en Jarva-maskin, bygget av Jarva Inc. Maskinen er vel den enkleste som er på markedet i dag. Firmaet har siden 1965 bygget maskiner i størrelse fra 1,83 m ø til 6,10 m ø og kan levere maskiner opp til 10 m ø.

Komplett maskin, eks. borkroner koster:

2,44 m ø	ca. kr. 2,35 mill.
4,00 m ø	ca. kr. 3,90 mill.
6,10 m ø	ca. kr. 5,90 mill.

Som mulig leiepris ble antydnet kr. 215.000,- pr. mnd. for en 3,4 m ø maskin.

Fig. 8. Bildet viser Betti I fra Hughes Tool Company. Dette firma har bygget minst 7 maskiner i størrelsesorden 1,00 m ø til 6,45 m ø, men har såvidt vites ingen maskin i drift i dag.

Pris komplett maskin, eks. borkroner:

Betti I 6,45 m ø	ca. kr. 7,2 mill.
4,60 m ø	ca. kr. 5,6 mill.

Fig. 9. Bildet viser en Demag TVM 20-23 H, av samme type som for tiden borer i Huddinge i Sverige. Demag har bygget maskiner fra 2,0 m ø til 3,15 m ø. Større maskiner er prosjektert og kan leveres.

Pris komplett maskin eks. borkroner:

2,00 m ø	ca. kr. 1,5 mill.
3,15 m ø	ca. kr. 2,5 mill.

Fig. 10. Bildet viser en Alkirkmaskin, HRT-12 fra Lawrence Manufacturing Co. Den viste maskin er en prototyp. Firmaet har senere bygget flere maskiner fra 2,4 m ø til 5,75 m ø. Konstruksjonen av disse maskinene er noe forskjellig fra prototypen, men hovedprinsippene er beholdt.

Pris komplett maskin inklusiv borkroner, transportseksjon pluss lastebelte for lasting av 8,6 m<sup>3</sup> vagger:

3,96 m ø	ca. kr. 5,72 mill.
6,10 m ø	ca. kr. 7,15 mill.

Fig. 11. Bildet viser en 3,2 m ø maskin fra Jmes S. Robbins, modell 104/121 A. Det er denne maskin som gjør krav på verdensrekorden i tunnelinndriving, satt i Oso-tunnelen i New Mexico. Maskinen kostet anslagsvis 3,0 mill.kroner.

Robbins har bygget ca. 25 tunnelmaskiner fra 2,14 m ø til 11,15 m ø. De står også for den kraftigste maskin som såvidt vites er bygget, en 5,5 m ø maskin med 1500 HK installert. Også den dyreste maskin er Robbins ansvarlig for, en 10,25 m.ø maskin for Metroen i Paris kostet kr. 10,80 mill.

Robbins har leiet ut maskiner med leien basert på meter boret. En modell 81, 2,60 m ø, pris ca. kr. 1,5 mill., ble leiet ut for kr. 354,- pr. tunnelmeter. Dette var i lettborne bergarter.

Fig. 12. Bildet viser en maskin fra Alfred Wirth & Co. Firmaet har bygget maskiner fra 2,14 m ø til 3,0 m ø. En 2,4 m ø maskin borer for tiden i Solna i Sverige. Firmaet har under bygging en interessant type maskiner for boring av store tunneler i trinn. Det dreier seg om en maskin for utvidelse av 3,5 m ø tunnel til 7,7 m ø, og er for om-

Fig. 13. rådet 7,7 m ø til 10,7 m ø.

Pris komplett maskin eks. borkroner:

3,0 m ø	ca. kr. 1.920.000,-
Fullt sett Tannkroner	kr. 113.400,-
Fullt sett hardmetallkroner	kr. 235.800,-
Fullt sett utskiftningslagre	kr. 44.800,-

Ut over de her viste maskiner har man de som opererer etter freseprinsippet, Habegger, Greenside- Mc.Alpine og Krupp. Dessuten finnes russiske og japanske maskiner.

I forbindelse med priser på Maskiner, må også utstyret bak maskinene nevnes. For å få en god utnyttelse av maskinen, kreves et vel avpasset og driftsikkert transportanlegg som har en kapasitet tilsvarende maskinens største inndrift. Maskinene stiller bestemte krav til ventilasjonsanlegg, luft, vann og kraftforsyning. Det sirkulære tverrsnitt er også en begrensende faktor i valg av transportmetode. Ved fullprofilboring har man en kjede operasjoner. Stopper en operasjon, står hele anlegget. For å gardere seg kan det derfor være nødvendig med store reservedels-lagre. Det kan altså kreves større investeringer i opplegg og utstyr enn vanlig ved konvensjonell drift for å få en god utnyttelse av den dyre maskinen.

Kostnadene ved tunnelboring skal søkes belyst med utgangspunkt i en kalkyle foretatt av amerikaneren Georg Hill.

Utgangspunktet er Azoteatunnelen i Navajoørkenen. Denne

er 20,8 km lang, varierer mellom 3,80 m ø og 4,7 m ø. Bergarten er skifer med 210 - 630 kp/cm<sup>2</sup> trykkstyrke. Tunnelen ble boret med en Robbinsmaskin, modell 121. Gjennomsnittlig inndrift over 750 m pr. mnd.

Hill setter opp kalkyle for 4,07 m ø tunnel drevet på konvensjonell måte med Jumbo med tungborustrustning, skinnegående transport med cherrypicker for vognrangering, og lasting med Conway 100. Total investering kr.1.800.000,-.

Til sammenligning kalkuleres tunnelen drevet med en 1350 HK tunnelmaskin 4,25 m.ø til 6,9 mill. kr. Til transport benyttes transportbånd i hele tunnelens lengde.

Total investering kr. 13.500,000,-.

Oppsatt i kr. pr. m<sup>3</sup> får man følgende:

Tabell 5	Konven.drift	Fullboring
Investering	6,80	46,00
Lønn	279,00	22,70
Materiell, ekskl.rotasjonsborkroner	117,50	98,30
Rotasjonsborkroner		10,30
Kraft	10,30	4,90
Vannlensing	10,30	10,30
Montering, demontering, vedlikehold		39,-
Daganlegg	<u>15,40</u>	<u>14,-</u>
Sum	439,30	245,50
	*****	*****
Forbygging og utstøpning	<u>225,50</u>	<u>152,60</u>
Total	664,80	398,10
	*****	*****

For tunnelmaskinen er her forutsatt en borsynk på 3,5 m/t og driftsprosent 60.

Kalkylen gir følgende anbudsnummer:

Konvensjonell	Fullboring
kr. 176 mill.	kr. 118 mill.

Til sammenligning refereres anbudene på Azoteatunnelen.

	Konvensjonell	Fullboring
Høyeste	kr. 175 mill.	kr. 194 mill.
Laveste	kr. 145 mill.	kr. 99 mill.

Man bemerker den løse bergarten og derved lave borkronekostnadene. Ved å nu se på de tidligere refererte resultater fra prøving av bergarter fra Bærum, og å føre de angitte estimat inn i kalkylen, får man resultatene i tabell 6. Her er regnet med 10 % syenittporfyr, 10 % diabas og 80 % skifer. De samme anlegg og transportkapasiteter er beholdt, også samme bemanning. Endringen gir seg derfor kun utslag i lønn, borkrone- og kraftkostnader. Tallene representerer kr. pr. m<sup>3</sup>.

Tabell 6.

	Hills kalkyle	Gruppe I	Gruppe II
Investering	46.00	46.00	46.00
Lønn	22.70	76.00	38.60
Materiell	98.30	98.30	98.30
Borkroner	10.30	97.00	60.20
Kraft	4.90	20.00	9.30
Vannlensing	10.30	10.30	10.30
Mont., demont., Vedlikehold	39.00	39.00	39.00
Daganlegg	14.00	14.00	14.00
Sum	<u>245.50</u>	<u>400.60</u>	<u>315.70</u>

Lønnsandel og kraftpris er regnet ut ifra de inndrifter i løpet av 24 timer som var oppgitt i Gruppe I. For Gruppe II's vedkommende er oppgitt borsynk, pluss en effektiv bortid på 61 % av total skifttid lagt til grunn.

Oppsettet i tabell 6 skulle tydelig vise hvor viktig borsynk og kronekostnader er for det totale resultat.

For norske forhold må man kunne vente at prisen ved konvensjonell drift vil ligge vesentlig lavere enn i U.S.A.

Utviklingen med raskt økende lønnskostnader og sosiale utgifter, samt presset for å forkorte arbeidstiden, bringer oss imidlertid imot amerikanske forhold.

For fullprofilboringens vedkommende formodes kostnadene i Norge og U.S.A. å være sammenlignbare for like anlegg. De største postene; Investering, materiell, vedlikehold og borkroneomkostninger må antas å være like i de to land. Synkende borkroneomkostninger og standarisering av tunnelmaskinene, samt videre automatisering både av maskinene og opplegget bak disse vil styrke fullprofilboringens konkurransevne i Norge i fremtiden.

Fig. 1.

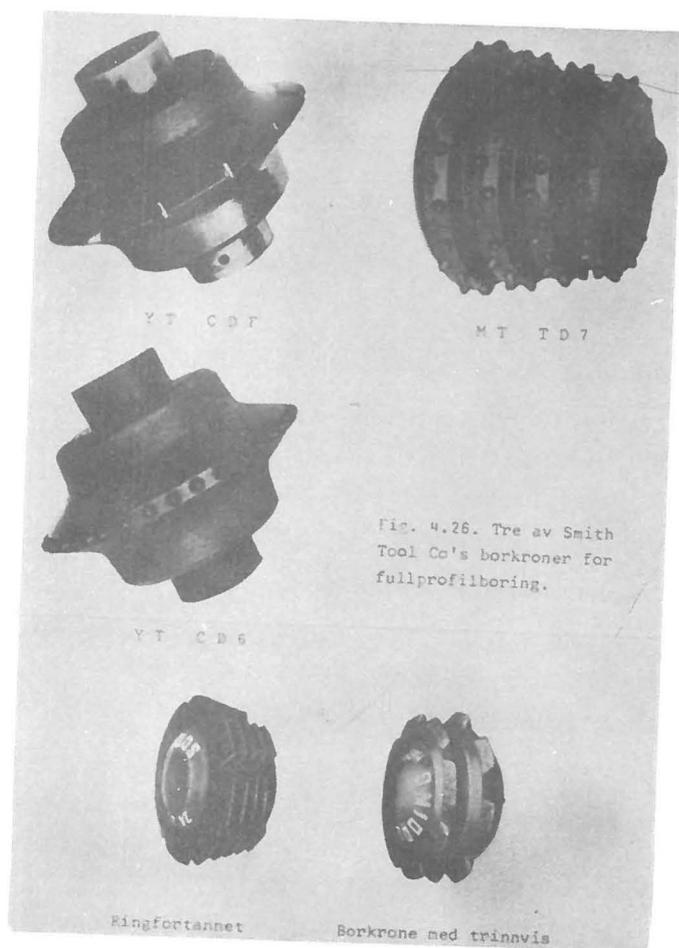
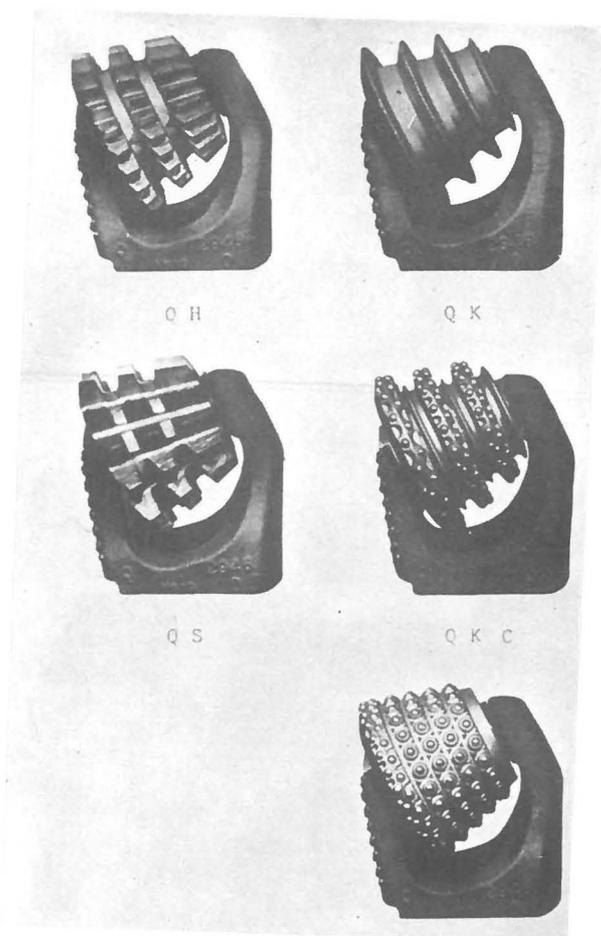


Fig. 4.26. Tre av Smith Tool Co's borkroner for fullprofilborring.

Fig. 2.

Fig. 3.

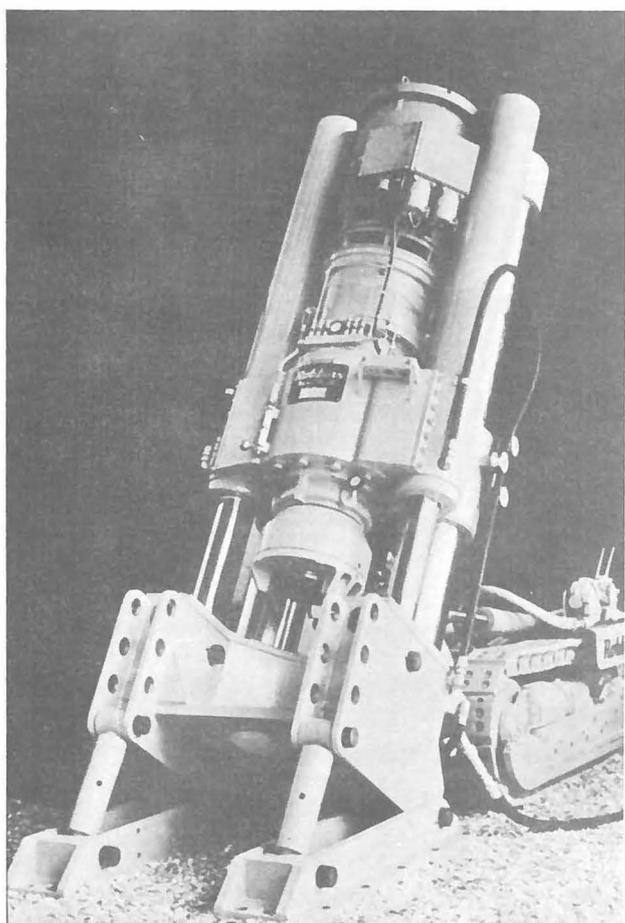
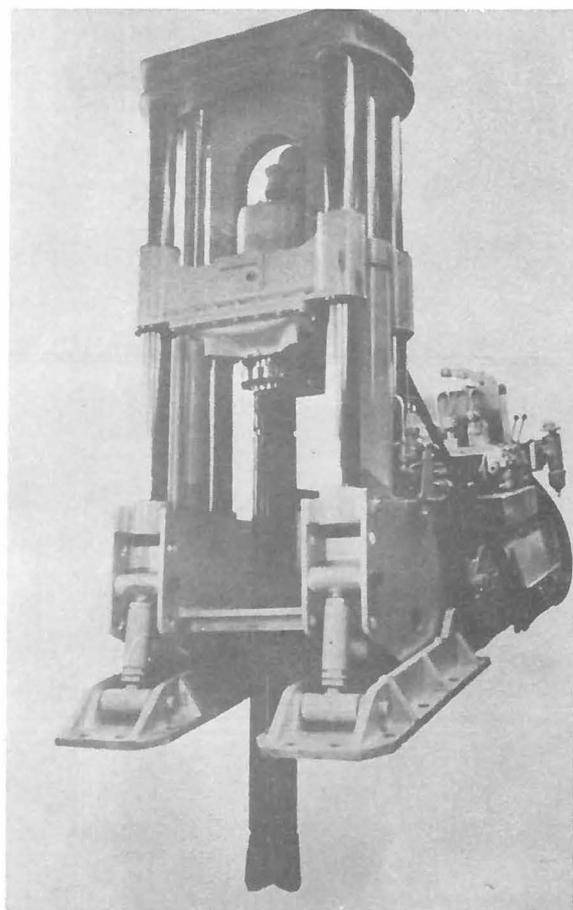


Fig. 4.

Fig. 5.

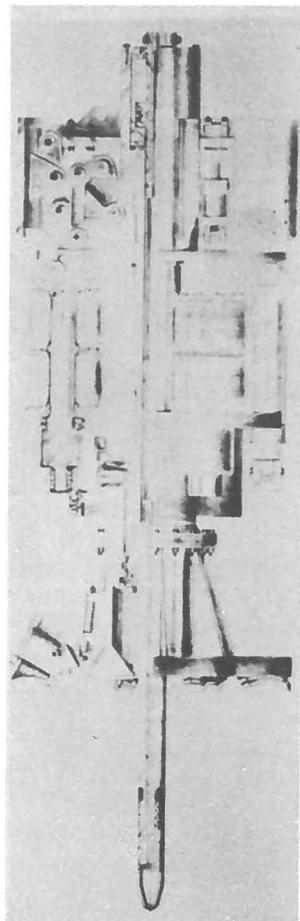
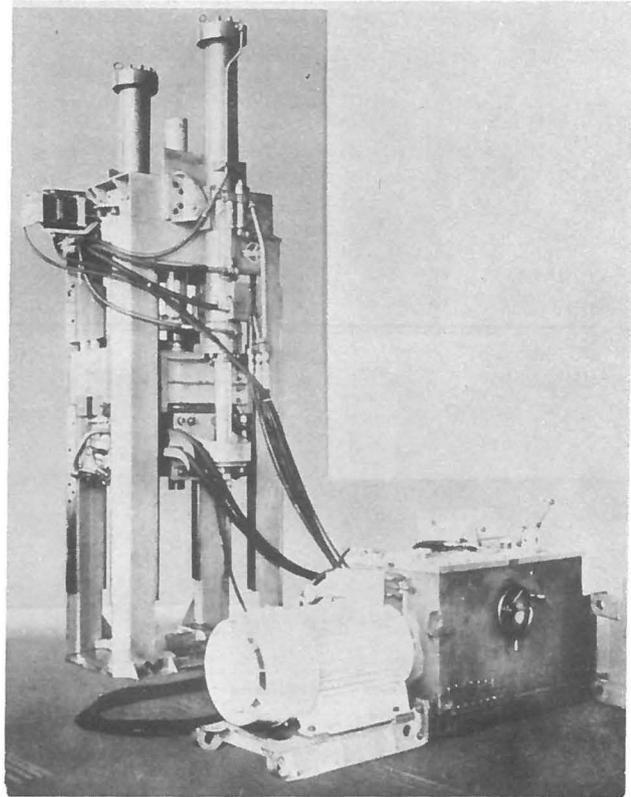


Fig. 6.

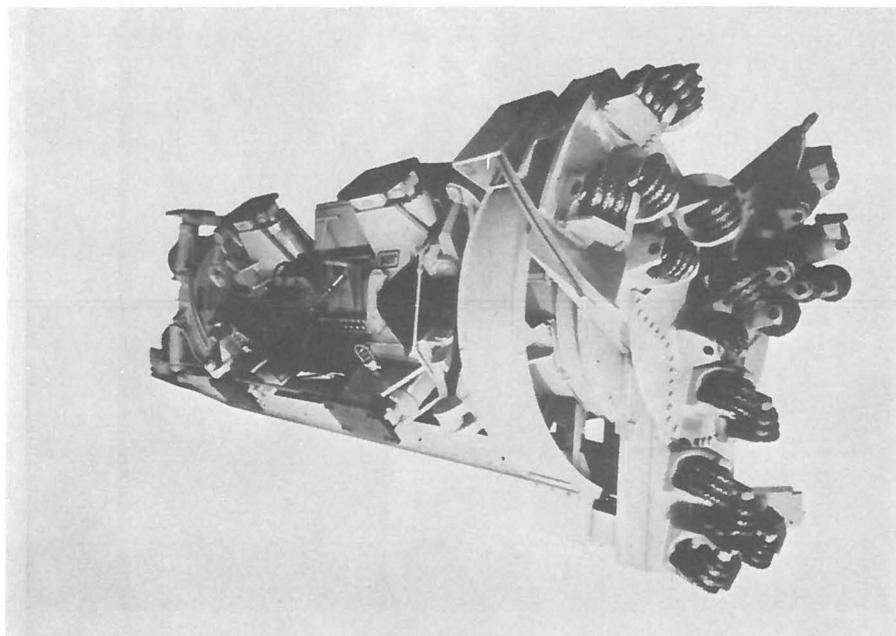


Fig. 7.

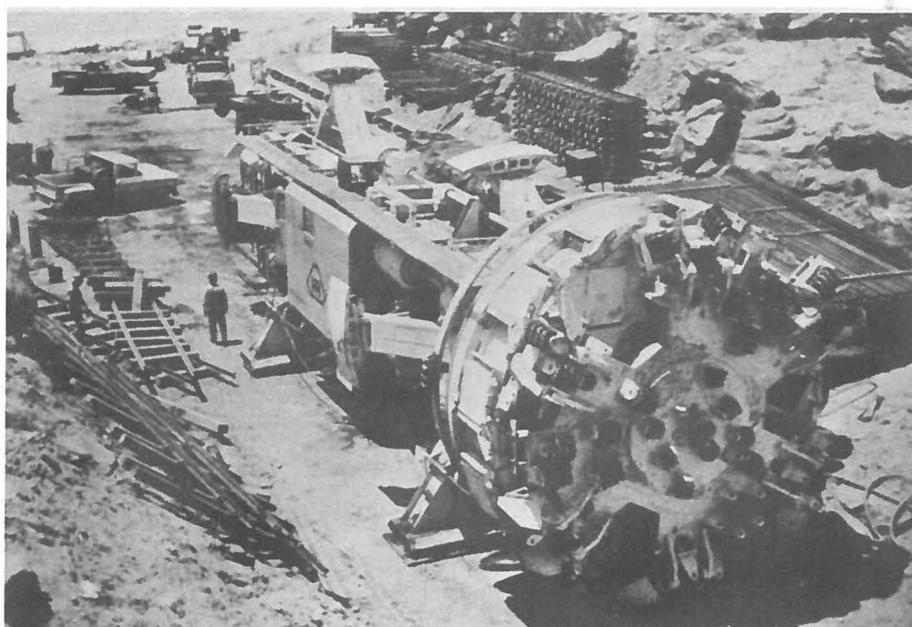


Fig. 8.

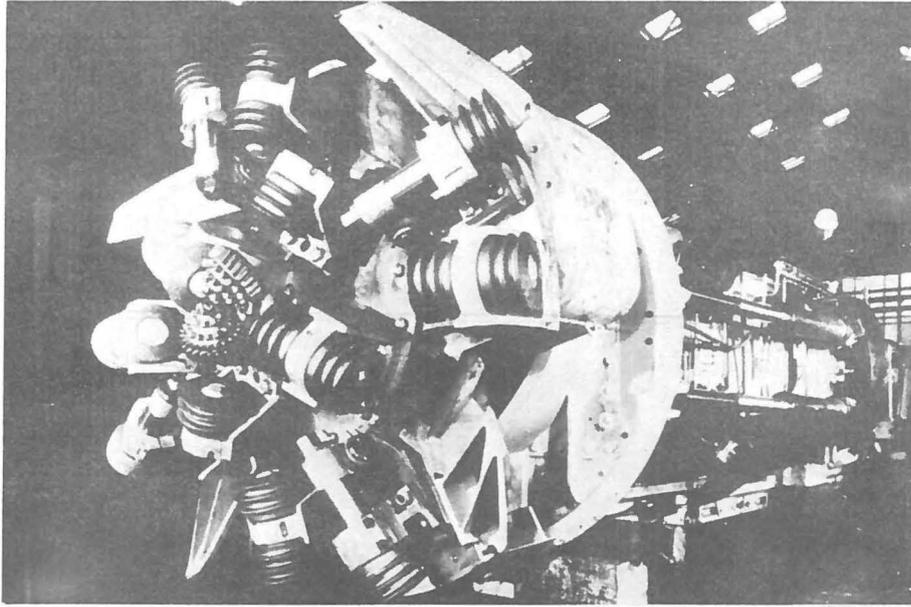


Fig. 9.

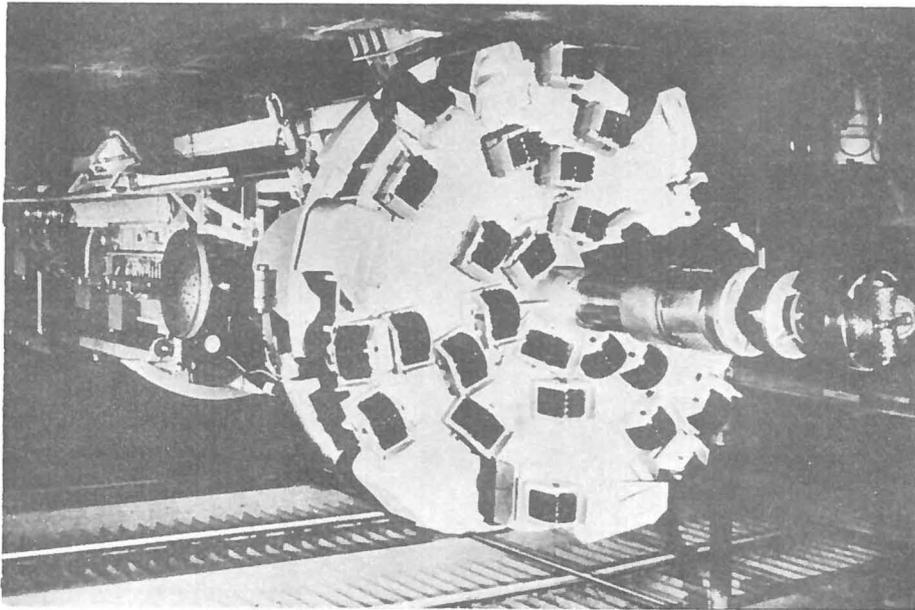


Fig. 10.

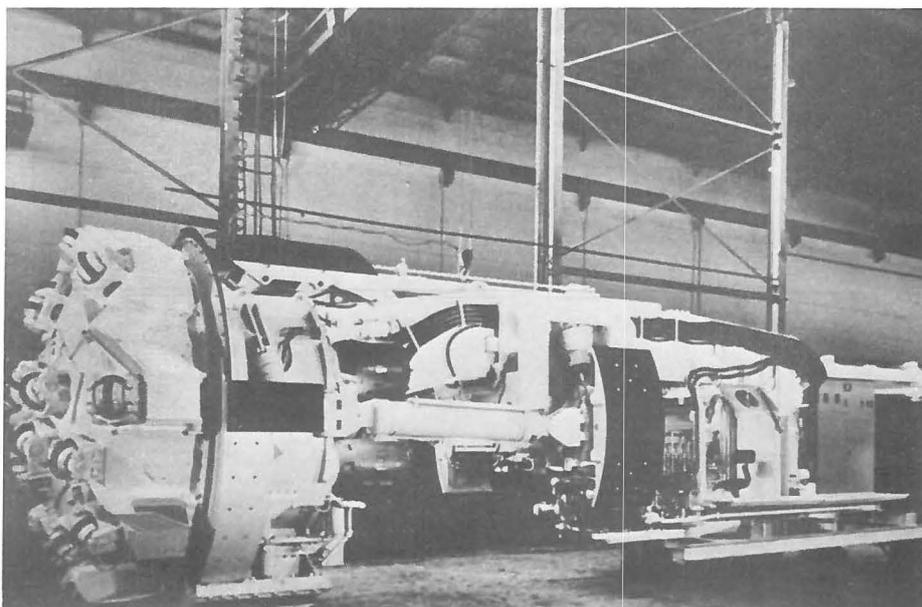


Fig. 11.

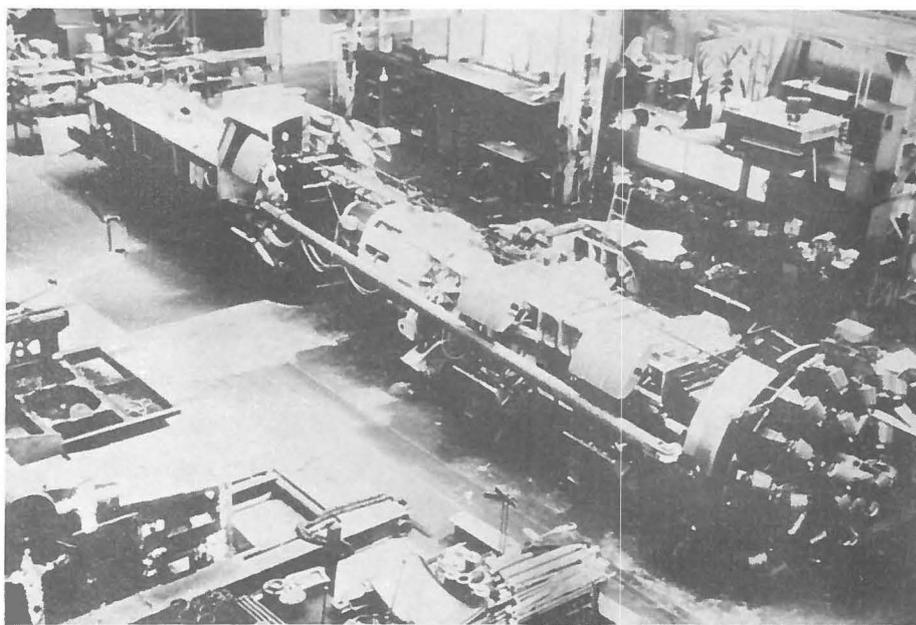


Fig. 12.

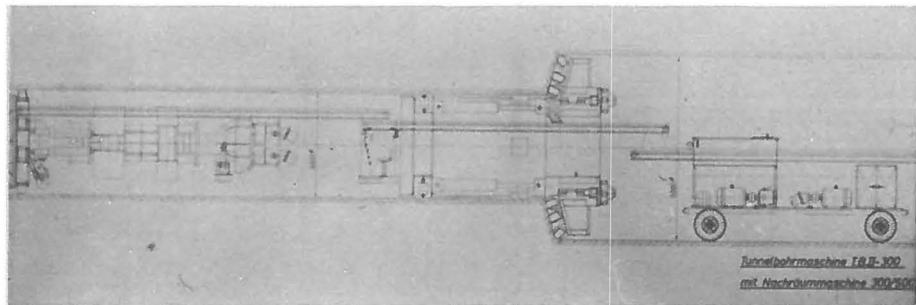


Fig. 13.