

FREMTIDSPERSPEKTIVER PÅ FULLPROFILBORING AV VEGTUNNELER

Full face boring of road tunnels in crystalline rocks

Geolog Arne Grønhaug, Veglaboratoriet.

SAMMENDRAG

På området fullprofilboring har det i de seneste 10 årene funnet sted en betydelig utvikling. Det pågår for tiden analyser for å finne ut om fullprofilboring av vegtunneler er et realistisk alternativ, i første rekke for enfeltstunneler med profil ca. 30 m².

Fullprofilboring antas ennå å være kostbarere enn konvensjonell tunneldrift i områder hvor det ikke er nødvendig å legge restriksjoner på sprengningene på grunn av omgivelsene. Den antatte merkostnaden må veies mot den generelt forbedrede kvalitet, arbeidssikkerhet, miljø og redusert behov for vedlikehold som fullprofilboring medfører.

SUMMARY

An important progress in the field of tunnel boring machines has taken place in the last decades. Studies are under way to assess the advantages of full face boring of road tunnels in crystalline rocks. Informations from full face borings at four different sites of special interest to Norwegian rock conditions have been collected and discussed. Under conditions specified, full face boring should be best suited for one-lane road tunnels with a cross sectional area of about 30 m². Still a little higher construction costs in areas with none restrictions on blasting as compared to conventional tunneling, this should be weighed against improved overall quality, safety, working conditions and finally lower maintenance costs.

BAKGRUNN

Det er nå 10 år siden de første forsøk på fullprofilboring i krystallinske bergarter fant sted. (Etter å ha drevet 70 m i granittiske gneiser i New York ble det nødvendig å gå tilbake til konvensjonell drift. Takket være dette og andre banebrytende prosjekter har det skjedd en rivende utvikling av fullprofilboreteknikken.)Utviklingen er nå kommet så langt at det er nødvendig å følge den nøye for ikke å bli stående utenfor.

Det har lenge vært akseptert at TBM-teknikken byr på vesentlige fordeler fremfor konvensjonell tunneldrift. For å illustrere den mest iøynefallende fordel, kan det være interessant å ta utgangspunkt i en vegtunnel fra oldtiden. Fig. 3-1 viser en vegtunnel som har tjent trafikken på en av hovedveiene til Rom frem til i dag. Detaljene fra tunnelveggen viser merkene etter bergmennesenes hakker. De samme merker viser at overmasser ikke var noe



Fig. 3-1. Denne nydelig uthugne vegtunnelen på Via Flaminia mellom Rom og Rimini har tjent trafikken uten nevneverdig vedlikehold i 1900 år.

problem ved dette anlegget, fig. 3-2. Det er også tydelig at det ikke har kunnet falle ned mange stein i løpet av de 1900 år tunnelen har vært i tjeneste.

Fig. 3-3 viser en tunnel bygd i begynnelsen av 1970-årene. Det skal ikke underslås at vi vanligvis oppnår meget bedre resultater. Bildet er da heller ikke tatt med for å karakterisere den gjennomsnittlige standard av vegtunneler drevet konvensjonelt, men for å påpeke de begrensede muligheter en i mange tilfeller har for styring av driften i retning av bedre utførelse.

Ved fullprofil tunnelboring er en igjen tilbake til en driftsmetode der denne kvalitet er innebygd, slik at en er sikret en bestemt kvalitet som bare i liten grad er avhengig av subjektiv utførelse. Men selv om sprengningsarbeidet utføres perfekt, vil det likevel være en kvalitetsforskjell mellom fullprofilborete og konvensjonelt drevne tunneler.

Dette vil gi seg utslag i verdien av tunnelen som vegforbindelse på flere måter. For det første vil de jevne konturene gi bedre optisk linjeføring slik at bilføreren lettere kan følge kjørefeltet. De jevne veggene vil gi bedre lysrefleksjon slik at behovet for belysning blir mindre. Luftstrømningen i tunnelen blir hindret i mindre grad slik at behovet for ventilasjon blir redusert.

Det er utvilsomt at de skånsomt utborete konturene i mindre grad vil bli utsatt for forvitring og nedfall. For vedlikeholdet må det ventes besparelser først og fremst i forbindelse med rutinemessig rensk, vannlekkasjer og frost. Alt i alt vil dette bety en vesentlig forbedring av trafikksikkerheten. Under anlegg vil rensken stort sett kunne reduseres til en løpende besiktigelse av hvelvet. De reduserte påkjenninger vil føre til

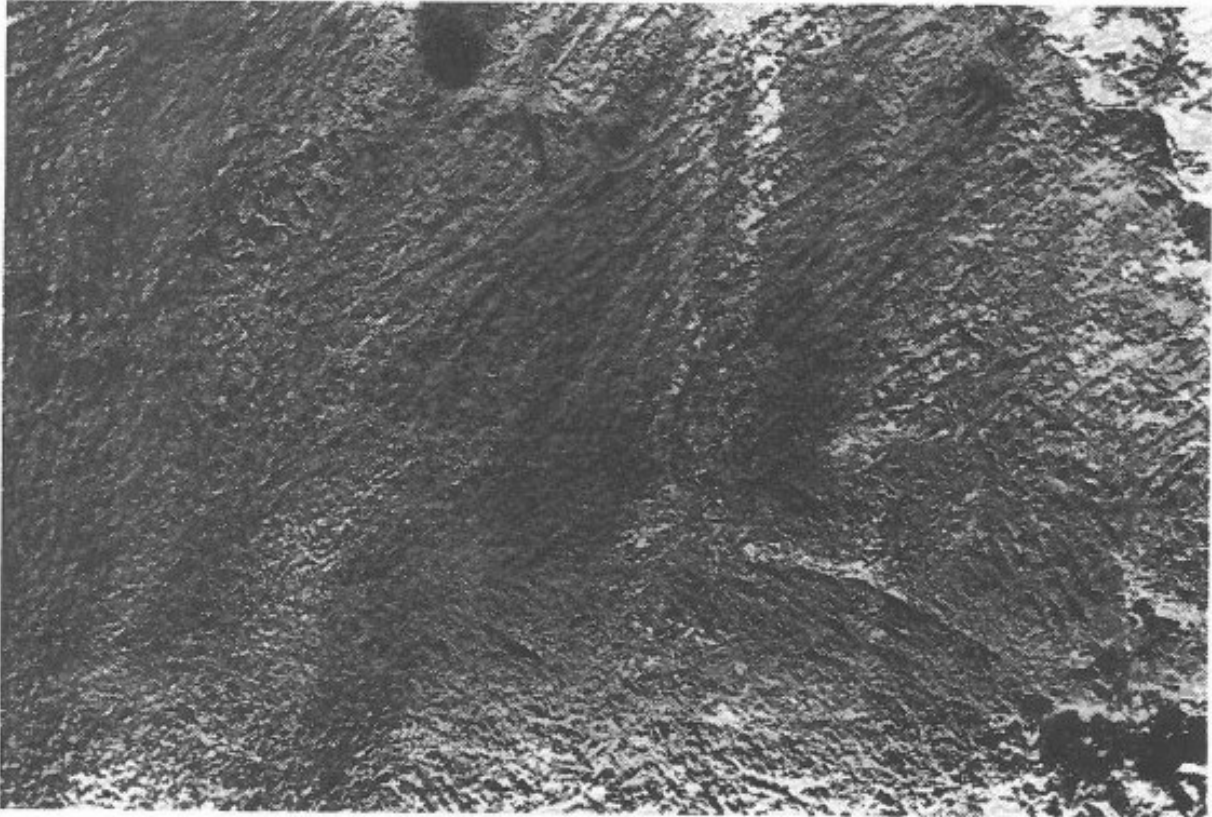


Fig. 3-2. Detalj fra vegg som viser merker etter bergmennenes brytningsredskaper.



Fig. 3-3. Innføringen av sprengstoffet betydde en revolusjon for tunneldriften. Fotoet demonstrerer sprengningsmetodens viktigste ulempe, mindre muligheter for å oppnå en drift som skåner gjenstående berg. Fra en vegttunnel drevet i begynnelsen av 70-årene.

betydelig innsparing til bergforsterkning ved bolting, unntatt der det forekommer bergtrykksytringer.

Det er videre sannsynlig at tunnelavsnitt som nå blir utstøpt i en viss utstrekning vil kunne sikres med systematisk bolting, eventuelt kombinert med bånd og nett. Vanskeligheter ved fullprofilboring oppstår ved drift i så dårlig berg at spennskoene ikke får feste, og når hvelvet faller ned før maskinen har passert. I slike tilfeller vil sikringsarbeidene få mye større konsekvenser enn ved konvensjonell drift.

Totalt sett er det vannlekkasjene i vegtunneler som forårsaker de høyeste sikringsomkostninger i de vegtunneler som nå bygges. Det må antas at det som regel er gunstigere lekkasjeforhold i fullprofilborede tunneler enn i utsprengte. Spesielt vil en regne med at vannlekkasjene blir mindre utbredt ved at de opptrer mere konsentrert, men det er også rimelig å regne med en mindre vanntilstrømning totalt.

Foreløpig er det ikke funnet dokumenterte opplysninger om hvor mye sikringsarbeider som er innspart ved fullprofilboring, men fra flere anlegg foreligger det klare, skjønnsmessige vurderinger om dette. Således ble det ved fullprofilboring i Stockholm antatt en reduksjon til "under det halve" og i Trondheim til "omkring det halve".

Det er de økonomiske forhold som lenge har vært en avgjørende motforestilling mot en generell anvendelse av metoden. Spesielt ble omkostninger til borverktøy og reparasjoner regnet for å ligge på et høyt nivå.

For å få en oversikt over den senere tids utvikling er det foretatt litteraturstudier, innhentet opplysninger fra byggherrer, entreprenører og maskinprodusenter, samt sendt steinprøver fra spesielle prosjekter for vurdering av borbareheten. Dessuten er Vegvesenets planer gjennomgått for å vurdere i hvilken utstrekning det finnes prosjekter der TBM vil kunne brukes med fordel. Det synes foreløpig å være enkelte tunneler med tverrsnitt på ca. 30 m² som synes mest aktuelle for fullprofilboring. Dette tverrsnitt finnes ikke i Vegnormalene, men flere forhold taler for at et så lite tverrsnitt kan aksepteres dersom tunnelen drives med TBM.

Ved enkelte prosjekter med lang vegtunnel som vil få liten trafikk kan en tenke seg at en kan få en permanent vegforbindelse ved bygging av møteplasser. I andre tilfelle der trafikken vil kunne bli så stor at det vil kunne oppstå ventilasjonsproblemer, vil to enfelts tunneler kunne bli aktuelt. Et tredje aktuelt tilfelle er vegprosjekter som i begynnelsen vil ha liten trafikk, slik at en kan bygge enfelts tunnel som siden kan utbygges med ytterligere en parallell enfelts tunnel. Dessuten er det klart at fullprofilboringen har åpenbare fordeler i tettbygde strøk og kanskje spesielt der en arbeider med liten bergoverdekning, og/eller i berg av dårlig, men ikke meget dårlig kvalitet.

Før en kan vurdere mulighetene nærmere, er det nødvendig å foreta grundig geologisk kartlegging, helst supplert med kjerneboringer gjennom kritiske partier. Dernest må det utføres en omfattende testing av store, representativt uttatte prøver av de ulike bergarter i prosjektområdet. Slik prøvetagning er utført for tunnel gjennom Nygårdshøyden i Bergen og tunnel Fjærland—Skei.

For å få inntrykk av forholdene ved fullprofil tunneldrift av i dag er listen over prosjekter gjennomgått, og det er valgt ut spesielle anlegg som er interessante for de prosjektene som er nevnt foran. Det er imidlertid klart at utviklingen går så altfor fort at godt dokumenterte opplysninger lett er blitt foreldet. En oversikt over boringer med diameter ca. 6 m i krystallinsk berg er gitt i tabell 3-1. Den omfatter 4 anlegg, Echaillon og Arc-Isère, Frankrike, Taloro, Sardinia og Washington D.C., USA.

TABELL 3.1.

*) Driftsstans på 8 1/2 måned, delvis på grunn av ombygging av maskinen og sikring av ras i tunnelen.

***) To parallelle tunneler som krever montering av fullprofil-bormaskinen på to steder.

BORSTED	BERGGRUNN	DIA- METER (m)	PÅ- BEGINT	LENGDE (m)	BRUTTO BORTID	INNDRIFT m/mnd BRUTTO
ECHAILLION FRANKRIKE	GNEIS	5,9	1972	640	4 mnd	160
TALORO SARDINIA	GRANITT	6,4	1974	3100	14 mnd	220
ARC ISERE FRANKRIKE	GNEIS	5,9	1974	5400	26 mnd	210 *
WASHINGTON D.C. USA	GNEISER	5,8	1974	5700	21 mnd	270 **
WASHINGTON D.C. USA	GNEISER	5,8	1975	4200	13 mnd	320 *

Echaillon, Frankrike.

Ved Echaillon, Frankrike, ble det i 1972/73 drevet en 4,7 km lang tunnel. Det ble benyttet en Wirth-maskin med 5,9 m diameter, som boret gjennom gneis i en lengde av 640 m i løpet av 100 arbeidsdager. Maksimal inndrift pr. dag var 16,5 m og den gjennomsnittlige inndrift var 6,4 m. Borskivene hadde en gjennomsnittlig levetid på 81 fm³. Inndriften gikk noe ujevnt, men uten større uhell på grunn av ras eller rasfare. Bergarten er delvis karakterisert som gneis og delvis som "le cristallin", og den oppgitte trykkfasthet ligger mellom 400 og 1600 kg/cm².

Taloro, Sardinia.

I Sardinia, ved Taloro ble det i 1974/75 boret en vannkrafttunnel på 3400 m lengde med en Robbinsmaskin med 6,4 m diameter. Maskinen var en ombygd 1970-modell, der matningstrykket pr. kutter var øket fra 13 til 16 tonn, og antall kuttere var øket fra 42 til 53.

Berggrunnen var en del av det Sentral-Sardinske massiv og besto av granitt med variasjon til granodioritt. Den varierer fra frisk granitt, oppsprukket granitt, forvitret granitt til oppbrutt granitt.

Bemanning på maskinen var 13 mann på hvert skift, inkludert mannskap for transport. I tillegg kom et arbeidslag på 8 mekanikere og elektrikere.

Driften ble igangsatt med konvensjonell drift, men etter tre måneder satte en igang med montering av maskinen, noe som tok 3 1/2 måned mot 2 forutsatt, fig. 3-4. Deretter gikk inndriften pr. uke gradvis opp til ca. 70 m etter 7 ukers drift, men variasjoner gjorde at månedsinndriften først stabiliserte seg på 300 m etter 6 måneder. Etter 8 måneder oppsto et opphold i driften på 1 1/2 uke. fig. 3-5.

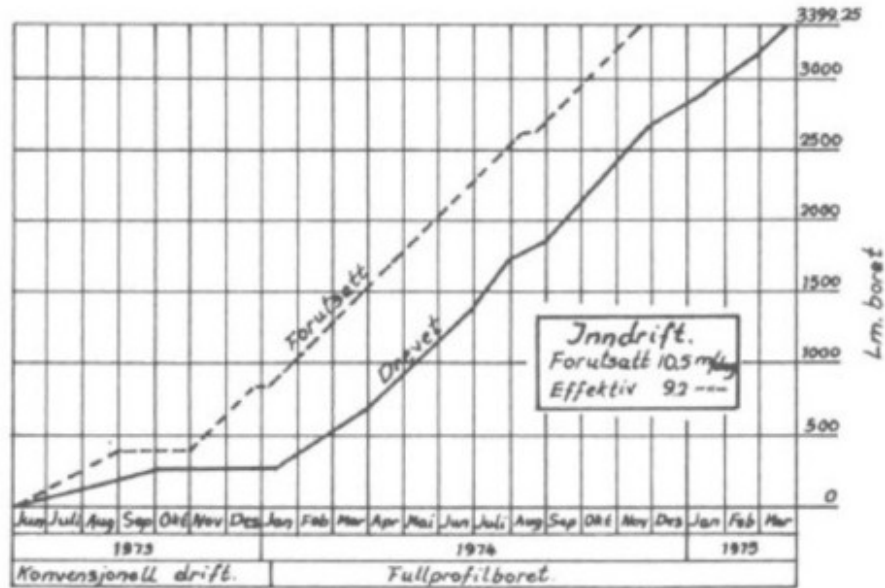


Fig. 3-4. Diagram som viser inndriften under boringen av tunnelen ved Taloro.

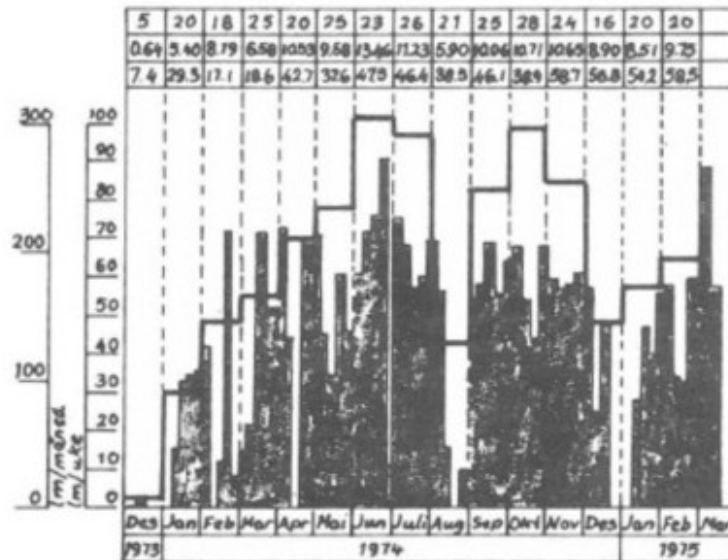


Fig. 3-5. Histogrammet viser inndrift pr. måned (tykk strek) og pr. uke (gråtone) ved boringen av Taloro-tunnelen.

Fordelingen av bergkvalitet går fram av fig. 3-6 som også viser fordelingen av inndrift pr. time, inndrift pr. dag, samt den prosentvise netto boretid på de ulike tunnelavsnitt. Det går fram at inndriften øker sterkt ved økende oppsprekningsgrad eller forvitningsgrad av berget, men at den går ned i knusningssonene.

I frisk uforvitret granitt er inndriften 0,75 m/t og øker gradvis til 3 m/t i sterkt oppsprukket og forvitret berg. Den prosentvise utnyttelsesgraden av maskinen steg etterhvert

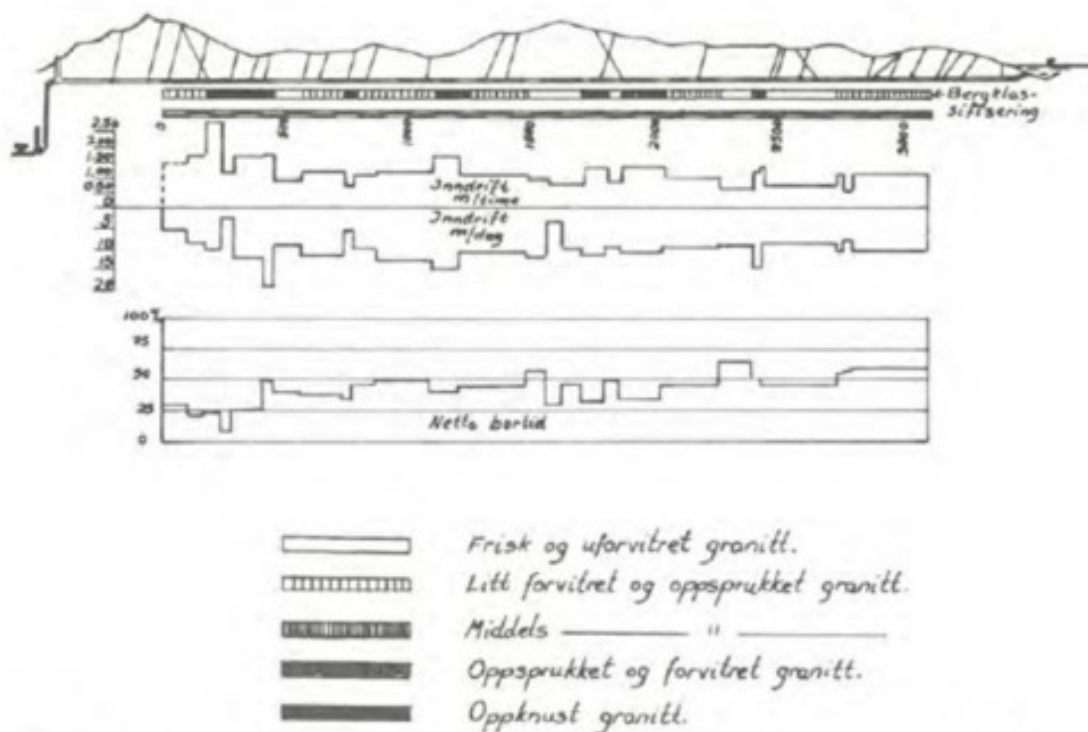


Fig. 3-6. Lengdeprofil av Taloro-tunnelen som viser inndriften som funksjon av bergkvaliteten. (Svart: meget oppknust og forvitret berg. Ruter: oppbrutt og noe forvitret berg. Loddrett skravering: noe oppsprukket berg. Åpent: frisk og uforvitret granitt).

opp mot 50%, mens gjennomsnittet ble på 42%. Gjennomsnittlig ble maskinen ettersatt og vedlikeholdt i 22,5% av tiden, og utskiftning av kuttere sto for 8%. I resten av tiden ble det utført sikringsarbeider og diverse. Beste resultat lå på ca. 60% utnyttelse, som ble gjennomført i en sammenhengende strekning på 200 m.

Kutterne hadde en levetid på 40 fm³ i frisk granitt, 80 fm³ i oppsprukket granitt og 160 fm³ i oppsprukket og forvitret granitt, i gjennomsnitt en levetid på 70 fm³.

Belledonne, Arc-Isère, Frankrike.

Anlegget ble startet opp i begynnelsen av 1974 med en Wirth-maskin med diameter 5,9 m. Kontrakten lyder på 9600 m av en total lengde på 19.000 m. Inntil mars i år var det drevet 5400 m i krystallinske skifre. Det første året ble det drevet 2700 m, i 1975 ble det drevet 2300 m og fra nyttår til først i april 1976 ble det drevet 1450 m. Når driften går normalt uten lengre avbrudd, viser driftsresultatene seg å variere mellom 400 m og 500 m/mnd.

Forskjellige forhold har imidlertid forårsaket lengre driftsstans. Ved P 2700 var det 3 1/2 måneders driftsstans på grunn av sikringsarbeider i dårlig berg. Dessuten var det 2 1/2 måneders driftsstans første året på grunn av reparasjoner og ombygging av maskinen. Videre var det 2 måneders driftsstans på grunn av sikringsarbeider ved P 4960 og 3 uker ved P 6437.

I to tilfeller, ved P 2700 og P 4960 ble det nødvendig å drive en omløpstunnel for å sikre hvelvet ved og foran maskinen. Den midlere inndrift pr. time er oppgitt til 1,33 m/t, og kutterne (med to skiver) hadde en midlere levetid på 117 fm³.

Washington D.C., USA.

Ved bygging av undergrunnsbane i Washington benyttet det en Robbinsmaskin med diameter 5,8 m og med matningskraft pr. kutter på 18 tonn. Maskinen ble bestilt i april 1973 og levert på anleggstedet januar 1974. Etter en monterings tid på 1 1/2 måned, ble den så satt i drift i en 5700 m lang tunnel. Den neste kontrakten omfatter videre boring av 4300 m tunnel samt noen andre arbeider.

Berggrunnen varierer endel og består av gneiser av granittisk til diorittisk sammensetning, amfibolitt, hornblendegneis samt ca. 10% klorittskifer og kvartsårer. Fremdriften var ved besøk på anlegget oppgitt til gjennomsnittlig å ligge på 2 m pr. time, maksimalt 3 m. Beste døgninndrift ble oppgitt til 30 m og ukeinndrift til 90 m, alt på 3 skift, og under jevn drift uhemmet av spesielle vanskeligheter. I driften er det lagt inn 4 timers daglig vedlikehold av maskinen og full utskiftning av kuttere hver lørdag.

Anlegget ble ferdig i oktober 1975. Dette gir en anleggstid på 21 måneder, og en brutto inndrift på 270 m/mnd. Den neste kontrakten på 4200 m ble igangsatt i 1975 og er nettopp avsluttet. Brutto inndrift blir her ca. 350 m/måned.

Fra anlegget ble det medtatt en prøve av bergarten som ble brutt ut under besøket. Den besto av en meget massiv og seig amfibolitt. En vil anta at denne bergarten sammen med kvartsårene representerer noe av det vanskeligst borbare berg som finnes i norsk grunn. Et helhetsinntrykk av tunnelen var meget godt. Det var jevne konturer med få slepper og bruddsoner. Vannlekkasjene varierte fra drypp til betydelig vannføring som ble ledet ned med plastfolie. På partier som ble ansett for kritiske, var det montert 6" stålbuer skolet opp mot konturen med trebjelker. Hele hvelvet var sikret med systematisk bolting, bånd og netting, noe som etter vanlig oppfatning her ville blitt bedømt som en overdimensjonering av sikringen.

FORUTSETNINGER FOR VELLYKKET DRIFT

På grunn av de høye faste utgiftene er det nødvendig å få så sammenhengende drift som mulig. Etter de erfaringer som er vunnet, ser det ut til å være enkelte forhold som det spesielt er viktig å rette oppmerksomheten mot for å oppnå dette.

Driftstans eller nedsatt drift på grunn av uforutsette geologiske forhold forekommer, og det er fortsatt vanskelig å bedømme driftsforholdene i ulike berggrunn med tilfredsstillende grad av nøyaktighet.

Metoden krever imidlertid at det legges en driftsplan som forutsetter god kjennskap til driftshindringer i de ulike tunnelavsnitt slik som lav inndrift, fare for fastkjøring og høy kutterslitasje.

De geologiske forhold må kartlegges i stor detalj i terrenget, og usikre avsnitt må undersøkes nærmere, helst ved boringer. Videre må det foretas en grundig laboratorieundersøkelse av bergarttypene i prosjektområdet for å bedømme borslitasje og inndriftsforhold. Dersom prøvetagningen er representativ og alle antatte bruddstrukturer er gjennomført med kjerneboring, må en anta at det foreligger et godt grunnlag for bedømmelse av driftsforholdene.

Det andre forhold som har vist seg å skape vanskeligheter for en kontinuerlig drift, er laste- og transportsystemet. I de beskrevne anlegg skjer transporten med skinnegående utstyr. Dette er ikke så vanlig her i landet, hvor en har bedre tro på gummihjulgående transport. Gummihjulgående transportutstyr av den type som benyttes her, vil kreve snu- og møteplasser i en 30 m² tunnel. Dersom møteplasser må bygges med mellomrom, vil driften

bli komplisert idet det må foretas sprengningsarbeider nær kraftkabelen, og en må inn med separat driftssystem for boring.

Det er således behov for et mere skreddersydd transportsystem enn det som finnes på markedet for tiden, dvs. en trucktype av størrelse som ligger mellom de typene som nå benyttes, og som kan kjøres i begge retninger. Spesielt der en regner med å få en høy inndrift, er det avgjørende å få et mere pålitelig transportsystem.

Det tredje forhold som det må legges meget vekt på, er å oppnå at boremaskinen virker pålitelig. Dette krever et godt verksted og et grundig opplegg av rutiner for service og reparasjoner.

Et fjerde forhold som det er nødvendig å beherske, er arbeidssikringen. Den bør baseres på et lite antall gode og rimelige metoder som helst bør inngå i den permanente sikringen, eller som ikke vil være til hinder for denne. Det er bygd fullprofil boremaskiner med boreutstyr for bolting, injisering eller sprøytebetongutstyr montert like bak borhodet. En annen mulighet er sikring med stålbuer som kan monteres automatisk bak borhodet, og skiftes ut med annen sikring så langt bak maskinen at dette arbeidet ikke forstyrrer driften.

Det største problemet er faren for fastkiling på grunn av ras og deformasjoner. På de tunnelavsnittene der det foreligger slik fare, må det være utarbeidet spesielle driftsplaner på forhånd slik at hindringene for driften blir minst mulig.

FREMTIDSPERSPEKTIVENE

Det utføres for tiden et omfattende utviklingsarbeid på området brytning av berg. Selv om noen av brytningsteknikkene det arbeides med, kanskje ikke ligger så langt frem i tiden, skal de ikke berøres her. Derimot skal det drøftes i hvilken grad de erfaringer som er gjort med eksisterende utstyr og de forbedringer som kan gjøres i det nåtidige opplegg, kan antyde noe om fullprofilboringen. Det er foran beskrevet fire forhold der forbedringer av systemet synes nærliggende.

Fig. 3-7 skisserer en antagelse av kostnadsutviklingen ved fullprofilboring. Grunnlaget for fremstillingen bygger på grove gjetninger fra sammenraskete opplysninger av høyst ulik karakter og kvalitet fra anlegg med vidt forskjellige forhold og forutsetninger. Ved kurvens avslutning på høyre side (1975) er det forutsatt at tunneldriften foregår i hardt norsk berg, dvs. i gneisgranitt som testet i forbindelse med Fjærlandsprosjektet. Det er også forutsatt at tunnelboremaskinen avskrives på 25 km og at tunnallengden er minst 3 km. Det er videre forutsatt en inndrift på 20 m/døgn, et tall som er anslått på grunnlag av testrapport fra Robbins, de foran beskrevne erfaringer og egne vurderinger.

Resultatet ved oppstilling i poster som vist blir noe usikker, men totalt viser postene en reduksjon med tiden. Det som går tydeligst frem av fremstillingen, er den markante nedgang i kutteromkostninger. Fra for noen år siden å være en dominerende kostnad, synes den nå å være kommet ned på nivå med andre poster. Imidlertid er det nødvendig i denne forbindelse å understreke at spesielt borslitende bergarter vil gi andre resultater. En annen side ved utviklingen er den stadige økningen av inndriften, noe som er muliggjort ved anvendelse av betydelig høyere matningstrykk og utstyr som tåler dette.

Fig. 3-8 er et forsøk på å antyde noe om utviklingen i forhold til konvensjonell drift. Det er forutsatt at driften ikke foregår i områder der det er restriksjoner på sprengningsarbeider, og at innsparing i sikringsomkostninger ved fullprofilboring er 25%, et tall som skulle ligge på den sikre siden.

Som sammenfatning kan det sies at det har skjedd en sterk utvikling av fullprofilboringen

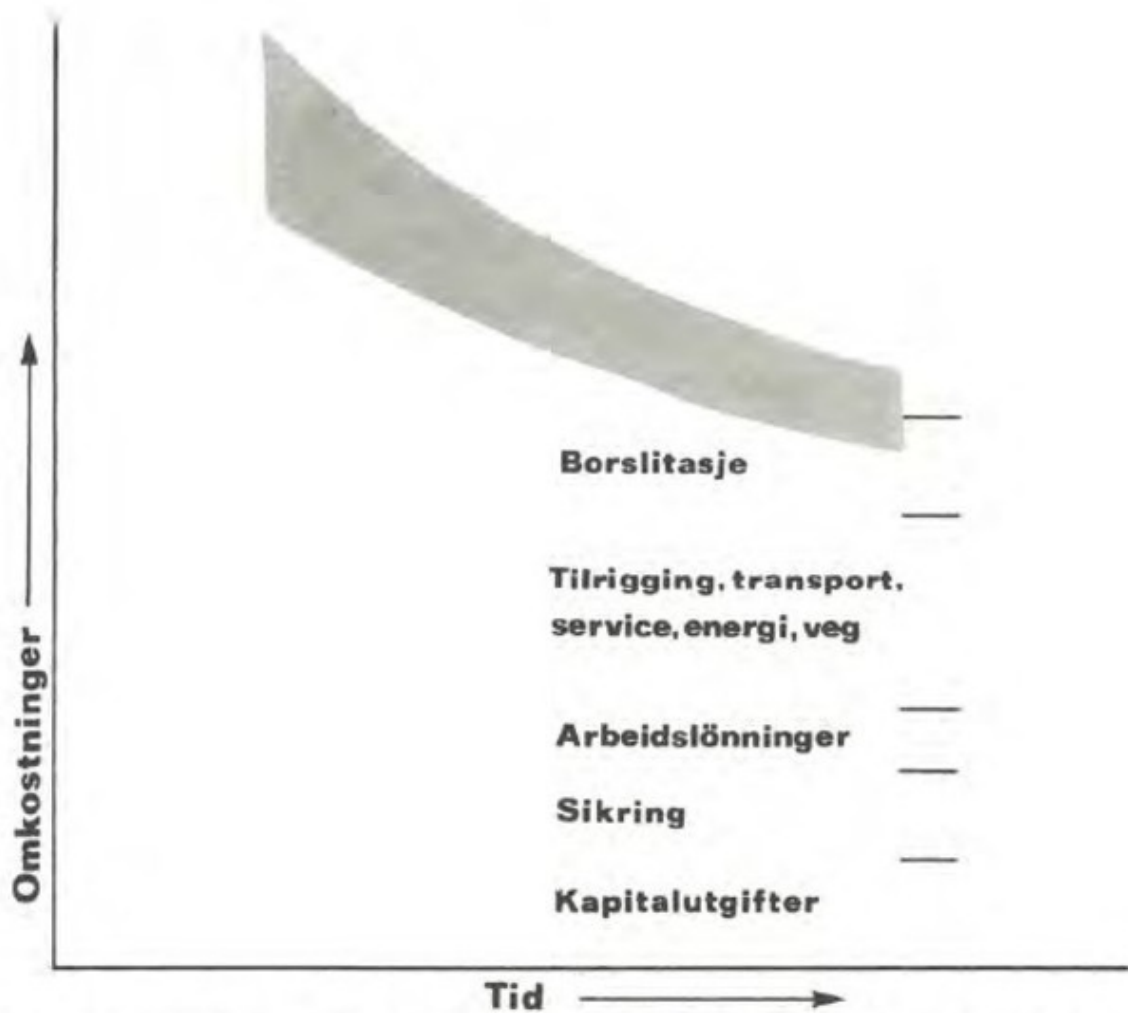


Fig. 3-7. En generalisert antagelse av kostnadsutviklingen ved fullprofilboring i løpet av det siste decennium.

i de senere år, og det synes som om enda bedre resultater er nær forestående. Ut fra de forutsetninger som er beskrevet tidligere, synes det imidlertid som om det enda er en mindre differanse i anleggskostnader i favør av konvensjonell drift. I dagens situasjon må denne differansen veies mot den høyere kvalitet som fullprofildrift innebærer, og de besparelser til sikring og vedlikehold som kan oppnås ved det enkelte prosjekt.

REFERANSER:

Bergsprängningskomiteén, Stockholm 1970. Protokoll.

Blindheim, O. T. 1973. Fjellsprengningskonferansen 1973.

Cordel, R. 1976 Amenagement E.D.F. d'Arc — Isere. Passage d'un accident geologique dans une galerie executee au tunnelier. Tunnels et ouvrages souterrains no 13 jan 1976.

Fantoma, D-Bernardelli, N 1975. Galleria di derivazione dell'impianto di Pompaggio del

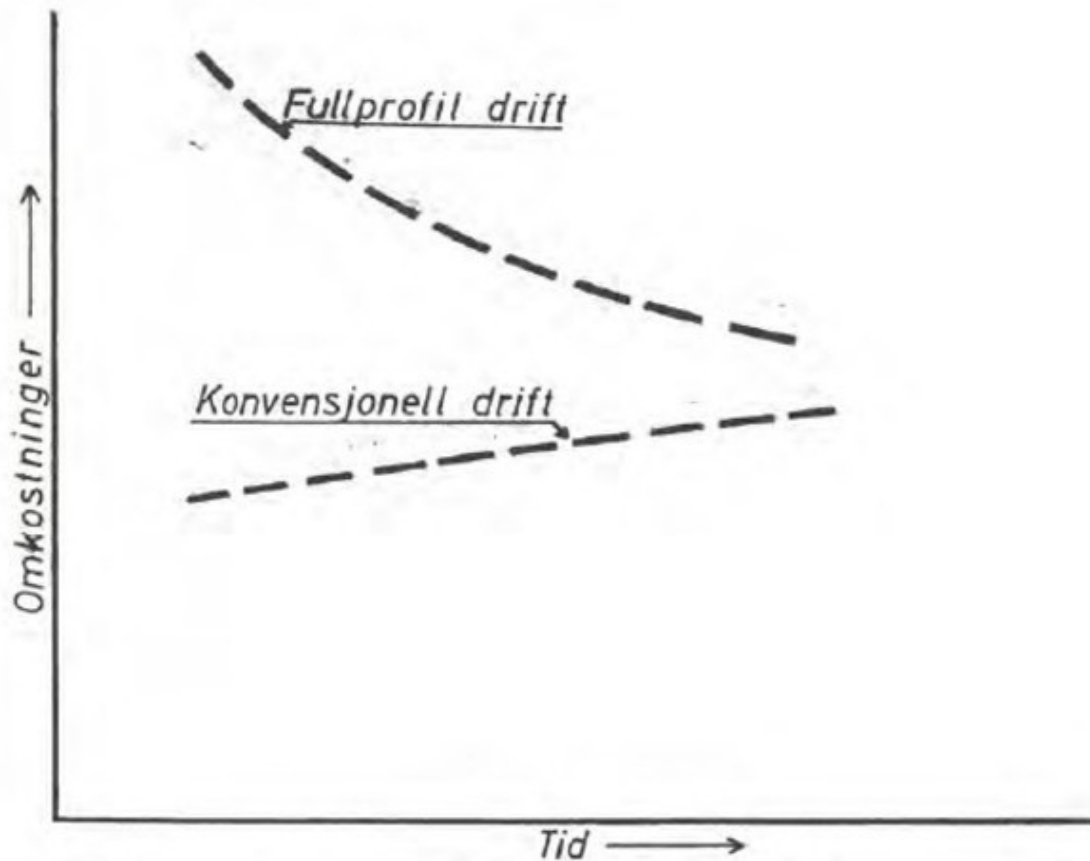


Fig. 3-8. En generalisert antagelse av kostnadsutviklingen ved konvensjonell drift og fullprofilboring av vegtunnel på 30 m² i løpet av det siste decennium.

Taloro (Sardegna). Relazione sullo scavo con macchina foratrice. Bollettino della Associazione Mineraria Subalpina XII. nr. 4.

Flaate K. 1975. Fullprofilboring av tunneler. Rapport fra befarings og diskusjoner i Washington D.C. 10. oktober 1976. Veglaboratoriets Interne Rapport nr. 653.

Fjellsprenningskonferansen 1969.

Heltzen, A. M. 1968, Fullprofilboring av tunneler. Bygg nr. 10.

Hug J. (Electricité de France). 1976. Pers. comm.

Moro T. 1975 Galleria di derivazione dell'impianto di Pompaggio del Taloro (Sardegna) Studio Geologico, Bollettino della Associazione Mineraria Subalpina XII nr. 4.

Statens Vegvesen. Arbeidsgruppe for fullprofilboring.