

Oversikt over drivemetode av større tunneler.

Av

Dipl.ingeniør Emil Knudsen.

-----

### Diskusjon over tunneldrivning.

Ved valg av drivemetode av tunneler har vi i første rekke å ta i betraktning at den sprengte tunnel får et så holdbart tak som vel mulig, så at vedlikeholdskostenene av tunnelen blir små og den nødvendige sikkerhet, som en jernbanetunnel krever, ikke blir forringet.

I annen rekke må man så legge vekt på at metoden gir et økonomisk godt resultat, og for at dette skal kunne innrette må metoden være konsekvent gjennomarbeidet i den minste detalj.

Borremetoden er således avhengig av den anvendte sprengteknikk og denne betinger igjen en bestemt lastemetode, mens lastemetoden atter innfluerer på transporten og deponering av massene.

Vi skal begynne vår diskusjon med sprengteknikken og på grunnlag av denne søke å finne den riktigste borre- og lastemetode, og samtidig søke å samarbeide dette til en samlet driftsplan.

Sprengteknikk.

For å opná et holdbart tunneltak er det nødvendig at alle ladninger i nærheten av taket ikke blir for sterke og at utslagsvinkelen blir størst mulig. Dette opnår man ved å kutte bort den nedre del av tunnelen først og derpå sprengne ned kalotten med lange dragere som da får fritt utslag nedover (90° utslagsvinkel). Ved å anbringe et større antall dragere på denne kalotten og ved valg av riktig sprengstofftype og serieskytning kan man opnå at taket blir helt uskadd. Dragerne må da settes således at de blir lettere etterhvert som de nærmer sig taket. Man bør heller ikke anvende det kraftige dynamittsprengstoff, men et mere skyvende- virkende sprengstoff av sikrit-type. Dette har en mindre ladetetthet og man får den nødvendige ladning over den største del av borrehullet, hvorved man undgår enhver grytevirkning som en kraftigere og mer konsentrert sprengstoffladning vil gi. Såfremt innkuttet er skutt godt ut kan disse dragere i taket borres så langt det skal være, men de må aldri være lengere enn selve kuttet, helst et par desimeter kortere. Den sprengteknisk sett mest økonomiske innkutt-lengde ved Sørlandebanens tunneler ligger høist sannsynlig på 1 - 1½ m., men i sin helhet betraktet kan man forevare et kuttet gjøres ca. 3 m.. Man borrar den da som en forkutt der slår ut en stump kjegle med ca. 1,6 m. lengde og en indre kutt med hjelpere som slår ut 3 - 3,2 m.. Kuttet og hjelperne avfyres i 3 serier, medens side-, bunn og takhullene følger i yderligere 3 serier. Vedlagte borre-skjema, skisse I. viser hvordan borhullene tenkes anlagt og i hvilken rekkefølge de må avfyres. Kuttet, hjelperne og bunnhullene bør sprenges med dynamitt, vegg-hullene derimot kun hvis dette viser sig nødvendig. Ved å anvende et mindre brisant sprengstoff ved vegg- og takhullene opnår man ikke bare å spare vegger og taket, men man sparer sprengstoffutgifter, idet sprengstoff av sikrit-typen er adskillig billigere enn dynamitt.

Etter vedlagte skjema skutt salve vil si en meget jevn utekutt masse, der er vel egnede for mekanisk bearbeiding. Det er tilsvarende

forutsetter kutten utekutt 3 m. så begrunnes det med at omkostningene ved den større mengde sprengstoff som er nødvendig i motsetning til en innkutt på f.eks. 1,5 m., være enn opveies av de meromkostninger som vil påløpe ved at man ved 1,5 m.'s kutt må skifte arbeidsmanupulasjoner dobbelt så ofte.

Borring.

Betrakter vi det borreskjema vi nevnte i diskusjonen over sprengteknikken finner vi at den alt overveiende del av borrehullene går horisontalt. Borhullene må altså bores fra søile eller borevogn. Hvis man vil bore fra søile, måtte man først skyte ut ca. 3/5 av høiden fra bunnen av, for å få stenmasse til å montere søilen på. Denne stenmasse måtte bli liggende inntil kalotten var avboret og skutt. Vi vilde altså få 2 ganger skytning på salven. Borer man derimot fra farbar borevogn som er inndelt i 3 etasjer og hvor boreåilene er montert etter bore-skjemaet kan man bore av alle hull i stoffen på engang, og ladningen og skytningen av den hele salve foregår i et. Skisse II. viser den av mig konstruerte borevogn.

Borevognen er farbar på skinner, plassert ved hver vegg. Etter utlastningen legges inn svekkelende 3 m. skinnegang og 6 m. skinnegang for hver salve, idet 3 m. skinnegangen annen hver gang tas bort og erstattes med en 6 m. Borevognen kjøres av en luftdreven motor og en slangetrommel er tilkoblet driften således at pressluftslangen vi les av resp. på trommelen eftersom borevognen kjøres frem eller tilbake. Det samme gjelder for vannslangene. Fra trommelen føres luft og vann frem i rør til henimot boremaskinene, hvorfra korte slanger danner forbindelsen med selve maskinene. Borevognen er ca. 6 m. lang og har i den bakre halvdel en plattform i 3 m.'s høide fra bunnen, foran er 6 m.-høiden delt i 3, ved øvre gulv, som er fast montert, og mellomste gulv som er forskyvbart opover idet det under boringen senkes ned til ca. 1,8 m. fra bunnen, mens det for å gi fri høide nok for passasje av lastskrapen må heves op til 3 m.. På den bakre plattform er som skisse II. viser slangetromlene og kjøremotoren plassert. Her legges også den nødvendige borestål for maskinene som borer fra mellomgulvet.

Borstøilen som følger tunnelprofilen langs veggene og i kalotten er forsynet med luftstempler som holder vognen fast mot bunn og tak under boringen. De 2 skrå og den lange horisontale boreåilene i

nederste og mellemsste etasje kan svinges op således at de gir fri passasje for lasteskreper.

Med hensyn til valg av borkaskintype bør det absolutt tilrådes at der foretas prøveboringer, såvel med "Drifter" som med "Stooper" av forskjellige størrelser. For meget hårt fjell er "Drifterne" og fe-  
retrekke, men ellers er totaleffekten ved "Stooperne" bedre, og de er  
også adskillig billigere i anskaffelse. I ved enten valget faller på  
"Stooper" eller på "Drifter" vil den kunne regne med en lørdelse av  
maskin av minimum 600.000. Det vil si at det vil koste 300.000 for 1  
time. Anvender vi således 10 maskiner samtidig vil vi kunne se hele arbe-  
ven avboret på 10 timer.

Lastning.

Den forutsatte inndrift av 3 m. pr. selve vil gi oss  $27 \times 2,5 \times 3 = 202$  tonn sten å laste op. Ved manuell lastning må man regne med maks. 1,5 tonn pr. mann pr. time; det vil si ca. 140 arbeidstimer. I en 5 m. bred tunnel kan man med for-dél ikke sette mer enn 6 mann samtidig ved håndlastning, det vil si at det vil ta ca. 23 timer å laste salven ut. Ved håndlastning vilde man selvfølgelig drive med mindre salver, men regneeksemplet viser jo tydelig at håndlastning ikke kommer i betraktning ved så lange tunneler.

Av tunnellastemaskiner er der i Amerika og Tyskland konstruert og benyttet de forskjelligste typer etter skuffeprikkprinsippet, men de er både dyre i anskaffelse, i drift og vedlikehold og kan etter de mine -religgende uttalelser ikke konkurrere med lasteskraper. Jeg har i en årrekke arbeidet med lasteskraper i tunnel og jeg kan fremvise de resultater som jeg nedenfor bygger mine beregninger på. Viktig for lastningen er det at man benytter store transportvogner som tar minst 5 tonn, så at man får minst mulig vognskiftning, og at arrangementet for denne skifting er således ordnet at det tapes minst mulig tid. - Lasteskraperne er farbare på skinnegangen. De kjøres av lokomotivet inn til stoffen. Blokken for returlinen festes med kilebolt i selve stoffen og lastninger kan begynne. Anvender man 2 lasteskraper ved siden av hinannen vil de meget lett kunne laste rent over hele tunnelbredden. Lasteskraperen drives av 1 40 Hk. pressluftmotor for lastningen og 1 20 Hk. motor for tilbakekjøring av skrapen. Hovedsaken er at tromlene er således dimensjonert at linene blir liggende i et lag og ikke over hinannen og at trommel diam. er minst 20 ganger så stor som linens diam. Linene må være enkelt konstruert uten friksjonskoblinger som lett gir anledning til sluring. Returblokken i stoffen bør likeledes ha en diam. 20 ganger linens tverrsnitt. Selve linen må utføres som spesielline med tykkere yttertråder, ikke under 1 mm. trådtykkelse. Disse liner fåes i utmerket kvalitet innenlands. ( A/S. Maréale Spiker - & Ståltverfabrik ).

Befølges ovennevnte synepunkter vil lineomkostningene holde sig innenfor rimelighetens grense.- Motoren for lastekjøringen ligger helt foran på maskinen og linen går direkte fra skrapen på trommelen. Konstruksjonen av selve stenskraperen er meget viktig. Skrapnevinkelen, det vil si den vinkel skrapens tenner danner med horisontalen må lett kunne varieres etter stenens størrelse. Likeledes er vektfordelingen, formen av draget og befestelsen av draket på selve skrapen av den største betydning for et godt resultat.

Skisse III. viser den antatte lasteskraper.- Det tenkes som nevnt anvendt 2 lasteskraper der hver får 100 tons av laste op, eller 20 vogner. Skrapens kapasitet ved kontinuerlig lastning varierer fra 0,5 til 1 tonn pr. min., eller fra 10 til 5 min. for lastning av 1 vogn av 5 tons. Hele selven kan således med 2 lastemaskiner lastes op på 3 timer, og rener seg hver en 1/2 time for tilfrysning og borttagning av skrapens hele lastearbeidet utføres på et skift - 4 timer. Skisse IV. viser en meget vel skikket vogntype for sårjelsstning, idet der samtidig er tatt hensyn til at anskaffelse- og vedlikeholdsomkostninger ikke blir for store. Det er derfor sett bort fra anvendelse av tippeanordninger på selve vognen, og vognen består kun av tralle med fast karm. For tipping av trallene, enten ved kupper eller på fylling, tenkes anvendt en elektrisk drevet tippeanordning som er istand til å tippe trallen enten forover eller tilbake, og som er forber på samme skinnegang som trallen går på. Skisse V. viser en sådan tippeanordning.

### Sporarrangement.

For hurtig vognveksling til skrapene tenkes anvendt et sporarrangement som skisse VI., eller skisse VII. viser. I skisse VI. vises dette sporarrangement der består av dobbelt spor og dobbelt kryssspor i en byggeledd av 12 m. som er sammenknyttet på jernslippene og kan i sin helhet løstes og forflyttes ved hjelp av borrebukken. Fremgangsmåten ved vognvekslingen under løstningen er følgende:

På det ene spor står det ene lokomotiv med 40 tomvogner. De te skyver tomvognene <sup>til de 2 endestoppene</sup> ~~syvslende over på det annet spor~~ *M. A. S.*  
*Det er det samme som i skisse VII.*  
I skisse VII. har vi vist et annet sporarrangement, bestående av 2 symmetriske penceer der er lagt med penceleddene mot hinannen. Her vil den samlede byggeledd bli mer enn 12 m., men man kan jo også dele arrangementet i 2 enheter for lettere forflytning.

Med hensyn til sporvekslingsarrangementet må dette ha minst en skinnegang av 12 m. liggende innentor sig mot stoffen. Ved 6 m. fremdrift på 2 skift vil det vare hensiktsmessig å forflytte sporvekslingsarrangementet en gang hver uke, altså 36 m. av gangen. Dette kan 2 mann gjøre om natten mellom kl. 24 og kl. 6 morgen, idet de som ovenfor nevnt tar borrebukken til hjelp.

Skiftinndeling og menneskestyrke.

Efter arbeidsbeskyttelsesloven kan 2-skiftinndelingen legges fra kl. 6 morgen til kl. 24 natt, og denne inndeling byr på den beste effektive arbeidstid. Foredagsskiftet legges da fra kl. 6 - 14.30, med  $\frac{1}{2}$  times frikost fra kl. 10 - 10.30, og eftermiddagsskiftet fra kl. 15.30 til kl. 24, med 2 times frokost fra kl. 19.30 til kl. 20. Driver man så løstningen på første halvskift og boringen o. skytningen på 2det halvskift får man vel 1 times tid for utlætning efter foredagsens skifte skytning og 6 timer om natten for annet skifts skytning. Denne inndeling byr også på den fordel at fredelegning av sporarmerement, rørledningsnett etc. foretas i tiden 24 til 6 morgen, og altså uten å gripe forstyrrende inn i den kontinuerlige drift. Ved denne skiftinndeling spiller det psykologiske moment etter min mening en ikke liten rolle, idet hvert skift utfører i å for sig et avsluttet arbeids, nemlig: Utlætning og sprengning av en salve, og der vil så snart arbeiderne er innarbeidet opstå en kaprestrid mellom de 2 skift og hvem som klarer sitt arbeidspensum best. Dagene må da selvfølgelig kunne slutte tidligere hvis arbeidet er fullført på kortere tid enn skiftet. Ved 3 skiftinndeling vil man enten måtte redusere på inndriften pr. salve til f.eks. 2 m. for å få et avsluttet arbeids på hvert skift, eller også vilde skytningen komme helt ut av regelmessig tid, og man vilde tape en masse tid. Det er jo også klart at 3 salver av 2 m. vil falle dyrere enn 2 salver av 3 m..

For å opna en inndrift av 3 m. pr. skift må der borer med 12 maskiner av gangen og laget i stoffen må da bestå av 12 mann plus 1 bas. Hertil kommer pr. skift en kompressorkjører og det nødvendige menneske for kiling av tak og vegger, sprengning av grøft, ransking og kullning av bunn og legning av permanent skinnegang, hvilke siste arbeids forutsettes ført løpende efter. Likeledes kreves der menneske på tipp og ved pukkver samt reparatører, smeder og skinneledere, tilsammen ca. 30 mann ved innslag, og total-ydelsen for den ferdige tunnel vil da være 15 mm. pr. mann pr. time. Ved løstningen vil menneskefordelingen i stoff-

fen være som følger:

- 2 lasteskrupkjørere.
- 2 lokomotivkjørere.
- 2 pensestillere.
- 2 menn ved vognene for vognene og holdning av disse.
- 3 " i stufferen for etterpass.
- 2 " ute ved barvognen for påføring, etterpass av barvognen samt for utsortering av gamle og ordning av nye brett.

Drifteinndeling.

I skisse VIII. har vi vist hvorledes vi har tenkt oss de forskjellige arbeider fordelt fra stoffen og utover til den ferdige tunnel. Regnet fra stoffen må skinnesengen ligge i en avstand 20-32 m., herfra følger fra 12-48 m. dobbeltspor til sporvekslingsanordningentet, og fra dette må der videre være fra 120-156 m. dobbeltspor for tomme- og lastede vogner. Herfra, på en strækning av 100-150 m. kan så kiling av taket, sprengning av grunn, rengjøring og kultivering av bunn og fremlegning av den ferdige skinneseng foregå. Innenfor disse 150 m. er der da anbragt en pene fra dobbeltsporet til det ferdiglagte enkeltspor, og denne pene tenkes flyttet ved hjelp av renskebukken, som i likhet med borrebukken er forberet. Maskene fra kilingen lastes fra renskebukken direkte ned i vognene, og renskebukken må være så kraftig konstruert at den kan tåle nedskyting av eventuelle lette "bomber" i taket.

Endelig følger kompressoranlegget i en avstand fra stoffen varierende fra 400 - 1000 m..



lengder blir likeledes sammensveiset inne i tunnelen. Anordning av transport-tabelt kompressoranlegg forutsetter imidlertid at der stasjoneres et mindre kompressoranlegg for smie utenfor innslaget. Sådanne små kompressoranlegg har imidlertid statustanene risiko av, som det formodedes kunne bli benyttet, og det lar sig sannsynligvis gjøre å anvende den nødvendige kraft derfor avveislende for større- og kompressoranlegget, således at dette ikke skulde bety noe stort kraftbehov.

Ørskostningsoverslag.

For å kunne få en nogenlunde oversikt over investeringskostningene har jeg innhentet priser på nødvendig materiell og maskiner.

Det er:

1. Farbare borevogner (Erosvia Verkssted)	Kr.	18.000,-
2. Bormaskiner, anslagsvis	"	58.000,-
3. Kompressor med motor	"	30.000,-
4. Kjøle- og vannspylingsapparat	"	1.500,-
5. Borstål	"	6.000,-
6. Slanser	"	1.500,-
7. Presslufttrø 4" 1000 m.	"	1.000,-
8. Vannspylingsrør 2" 1000 m.	"	2.000,-
9. 2 farbare lasteskraper (Erosvia Verkssted)	"	18.000,-
10. 40 stk. 5 tons traller	"	40.000,-
11. Tippevogn for traller	"	2.000,-
12. 2 stk. lokomotiver (Elektrisk eller Diesel) eller (Deutz-Diesel eller Lokomotiven 50)	"	80.000,-
13. 1000 m. dobbeltepor skinnegang av brede 17 til 22 kgs. skinner med penselrør- og 500 m. skinnegang for burrebukke.	"	20.000,-
14. Farbar <u>burrebukke</u>	"	6.000,-
8 stk. ventilasjonsapparat	"	48.000,-
Salg og reparasjonsverktøyer	"	15.000,-
Diverse	kr.	334.000,-
	"	16.000,-
	kr.	350.000,-

fordeler man disse investeringskostningene vil det bli ca. 44.- pr. m. Når jeg har vellet en produksjonskostnad på 8000 m. per år av investisjonskostnader begrunnes dette med at de nye investisjoner vil oss en så stor inndrift at man kan drive 800 m. av utrustningskostnader fullt ferdig på ca. 4 1/2 år, i hvilken tid man kan velge å drive den resterende del. fra det annen innsparing ved å velge å bruke den gamle fordel benytte et som overfor...

for Høggebostadtunnelen ved Østre resp. vestre innslag. Hvorved man fikk hele kraftforbruket samlet, foruten den store fordel det vilde by på å ha disse store anlegg så nære hinannen. Selvfølgelig er det mange andre hensyn å ta f.eks. balansering av kapasene o.s.v., men det ligger utenfor denne oppgaves rekkevidde å komme nærmere inn på dette.

Driftsutgifter.

Lønninger 50 mann i 8 timer a. kr. 2,-	kr.	800,-
Sprenestoff	"	400,-
Knall og tendeleddning	"	60,-
Borstål	"	15,-
Diverse småre- og driftsmatr. samt belysning	"	30,-
Elektrisk kabel	"	60,-
Ventilasjonsledning	"	200,-
Elektrisk kraft	"	35,-
Amortisasjon av anlegg	"	265,-
Uforutsatt	"	<u>240,-</u>
	Tilf.	<u>kr. 2.100,-</u>

Det vil si: Kr. 350,- pr. løpende m. ved 6 m. inndrift pr. dag. Hertil kommer så utgiftene for administrasjon, silagn, lagerhold, boliger etc. etc. som jeg her ikke kan komme nærmere inn på, men ovenstående der er basert på 6 m. ferdig tunnel pr. dag vilde tydelig at metoden er verdt å bli vist oppmerksomhet.