© 1988 Svenska Bergteknikföreningen och författare

UNDERSJØISKE TUNNELER I NORGE OG SPESIELT DEN I ÅLESUND

Rolf Naas, sivilingeniør, Selmer-Furuholmen Anlegg A/S, Oslo.

Foredragets første del er utarbeidet etter konferanse med Dr.ing. Bjørn Nilsen, konferer referanse 1, mens andre del tar utgangspunkt i et foredrag siviling. Rolf Naas holdt ved "Fjellsprengningskonferansen" i Oslo 20.11.87, konferer referanse 2.

1. UNDERSJØISKE TUNNELER I NORGE

1.1 OVERSIKT

Langs kysten av Norge er det de siste ca 15 årene sprengt i alt 10 undersjøiske tunneler av en viss lengde. Disse representerer samlet en lengde under saltvann på ca 16,5 km og gir grunnlag for en systematisk vurdering av erfaringer fra forundersøkelser og gjennomføring.

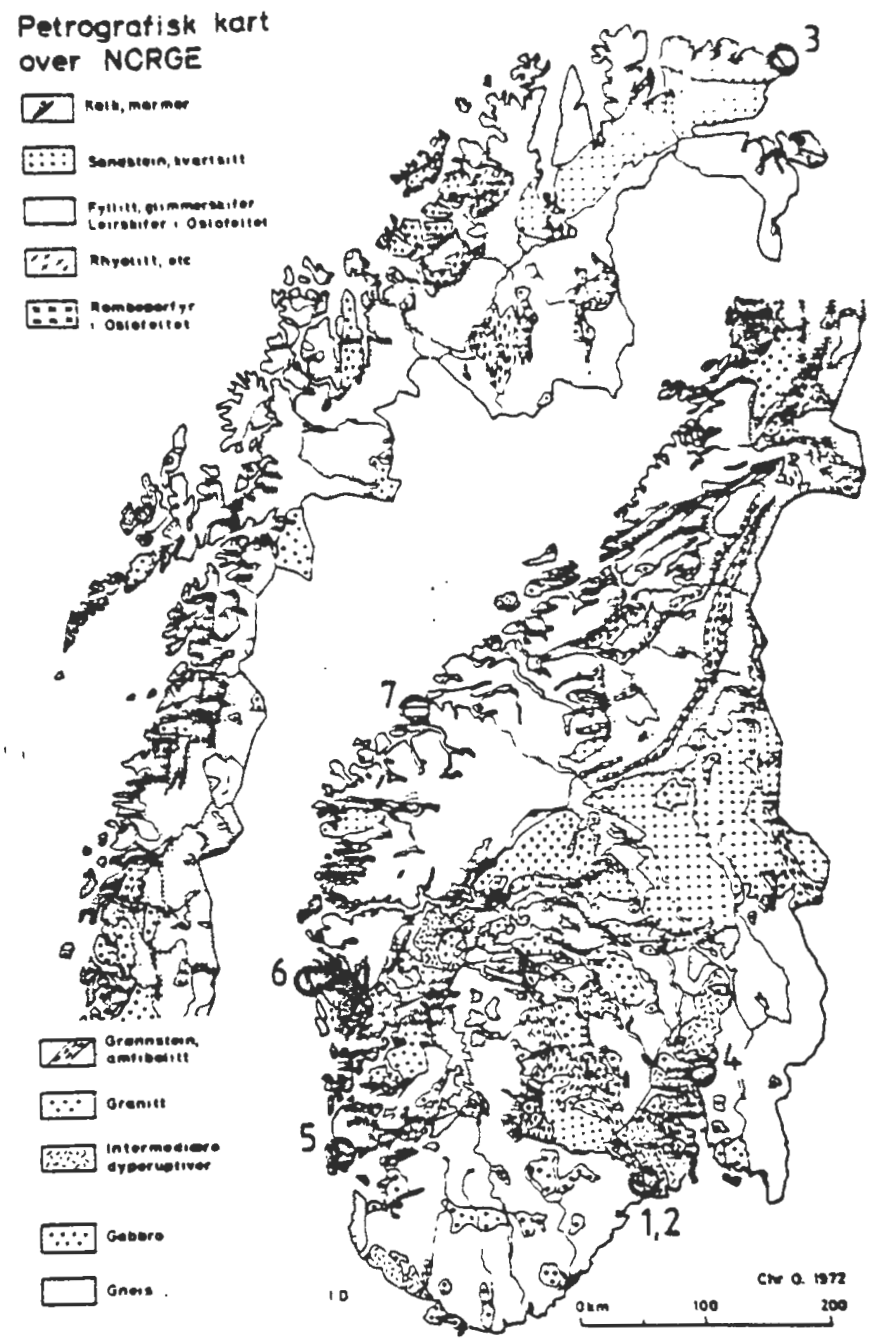
TUNNELANLEGG	BYGGET	HOVEDBERGARTER	TVERRANITT	TOTAL LENGDE	UNDERSJØISK LENGDE	LAVESTE NIVÅ	BYGGHERRE
1. Vollsfjorden vannforsyning	1974-77	Prekambriske gneiser	16 m2	9.390m[1)]	625m 42"	- 80m	Norsk Hydro
2. Frierfjorden gassrørledning	1975-77	Prekambr.gneiser/ kambrosiluriske sedimentbergarter	14 - 16m2	3.580"	3.075"(86")	- 252	Norsk Hydro
3. Bussesundet (Vardø) vegtunnel	1979-81	Eokambriske sandstriner og skifer	53 m2	2.613"	1.660"(63")	- 88"	Statens Vegvesen
4. SRV - Slemmestad avløpstunnel	1981-82	Kambrosilurisk skifer og kalk	10 "	970"	770"(79")	- 93"	VEAS
5. Karmøy - Kårstø (Starpipe)							
Karmsundet	1982-83	Kaledonsk grønnstein og fyllitt prekambrisk gneis	27 "	4.760"	2.100"(41")	- 180"	Statoil
Førdesfjorden	1982-83	Prekambrisk gneis	27 "	3.370"	1.580"(47")	- 170	- " -
Førlandsfjorden	1982-83	Prekambrisk gneis fyllitt	27 "	3.910"	1.020"(26")	- 160"	- " -
6. Hjartøy, ilandføringstunnel	1985-86	Prekambrisk gneis	26 "	2.332"	1.750"(75")	- 105	Norsk Hydro
7. Ålesund - Valderøy vegtunneler							
Ellingsøyfjorden	1986-87	Prekambrisk gneis og gabbro	68 "	3.510"	1.129"(32")	- 140	Statens Vegvesen
Valderhaugfjorden	1986-87	-- " --	68 "	4.210"	2.165"(51")	- 137	Statens Vegvesen

1) Fjordkrysning i sin helhet drevet på én stuff - stufflengde 1400 m ved gjennomslag.

Tabell 1. Nøkkeldata for norske undersjøiske tunnelanlegg. (etter ref. 1)

© 1988 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Figur 1



Figur 1 viser beliggenhet til de 10 undersjøiske tunnelene som er ferdig pr. 1987 (etter ref. 1).

© 1988 Svenska Bergteknikföreningen och författare

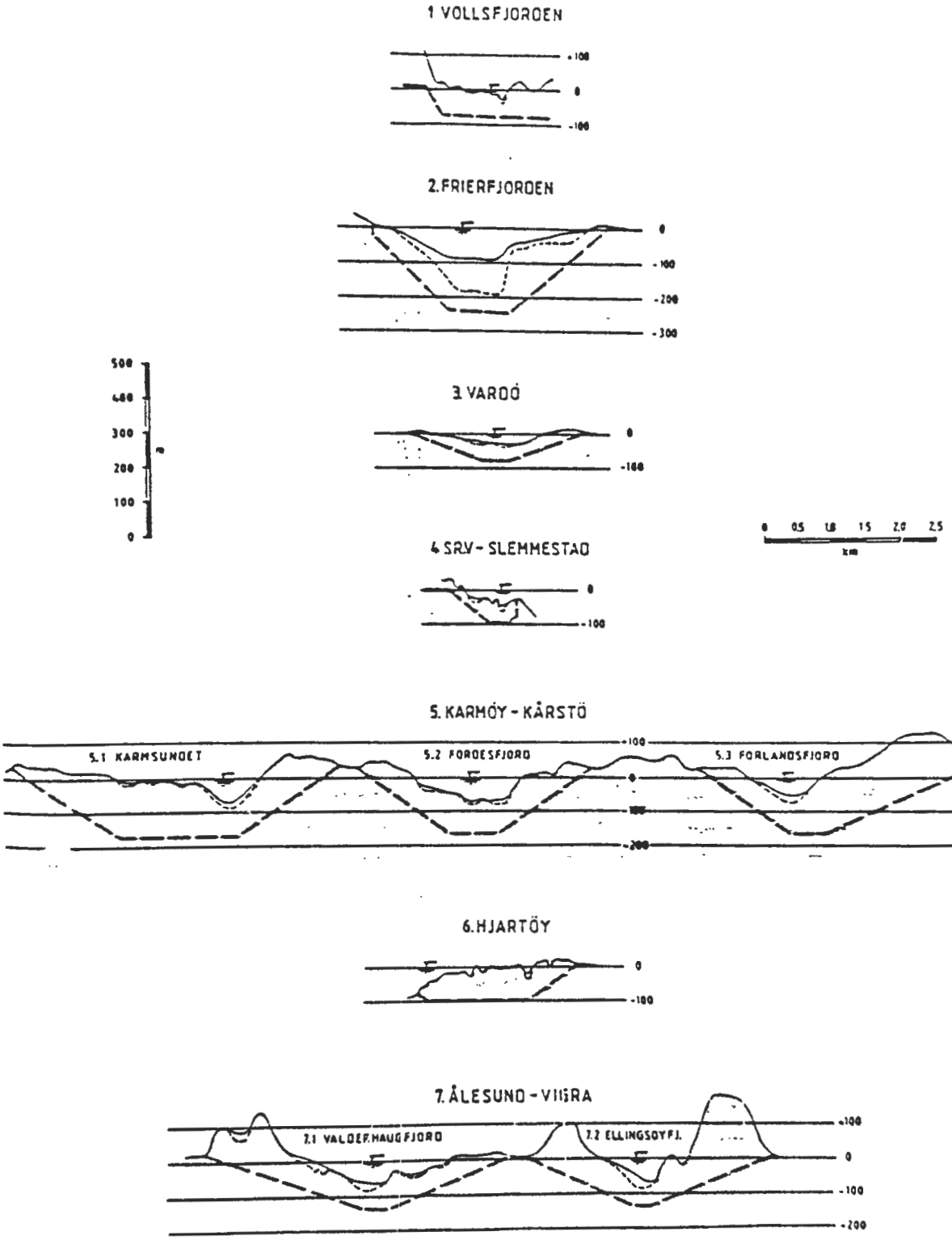


Fig. 2. Fullførte norske undersjøiske tunneler i kronologisk rekkefølge og tegnet i samme målestokk.

© 1988 Svenska Bergteknikföreningen och författare

1.2. DRIFTSRESULTATER

De praktiske erfaringer fra driften fram til råsprengt tunnel vil i hovedsak variere avhengig av

- forundersøkelser (før drift)
- lokal geologi
- utførende

I det etterfølgende presenteres en sammenstilling av vesentlige parametre i drifts- og kostnadssammenheng:

TUNNELANLEGG	ANDEL AV TUNNELLENGDE	SONDERBORING BORMETER PR.TUNNELMETER SLAGHAMMER	KJERNEBOR	TOTALT
1. Vollsfjorden	1)	1)	1)	1)
2. Frierfjorden	1)	2,93	1)	1)
3. Vardø	94%	1)	0,59	1)
4. SRV-Slemmestad	1)	1)	1)	1)
5.1. Karmsundet	100"	3,80	0,04	3,84
5.2. Førdesfjorden	100"	4,49	0,07	4,56
5.3 Førlandsfj.	100"	3,90	0,08	3,98
6. Hjartøy	94"	4,66	0,13	4,79
7.1. Ellingsøyfj.	66"	3,60	0,03	3,63
7.2. Valderhaugfj.	55"	3,62	0,01	3,63

1) Data mangler

Tabell 4. Omfang av sonderboring fra stuff (etter ref . 1)

TUNNELANLEGG	RASUTVIKLING/ GJENSTØPNING AV STUFFEN	ANDEL UTSTØPNING[1] UNDER SJØ	UNDER LAND	MAKS. MÅLTE SVELLETRYKK
1. Vollsfjorden[2]	3 ganger	30%[3]	15%[3]	} 1,10 MPa
2. Frierfjorden	4)	7"	0"	
3. Vardø	1 gang	19"	25"	0,04 "
4. SRV - Slemmestad	1 gang	6"	0"	4)
5.1. Karmsundet	1 gang	27"	8"	4)
5.2. Førdesfjorden	0	56"	15"	0,64 MPa
5.3. Førlandsfjorden	0	30"	12"	0,24 "
6. Hjartøy	0	14"	6"	2,40 "
7.1. Ellingsøyfjorden	1 gang	8"	< 1"	4)
7.2. Valderhaugfj.	0	9	1"	4)

1) Total lengde sikret med full utstøpning på eller bak stuff, angitt som prosentvis andel av tunnellengde under henholdsvis sjø og land.

2) For de ca. 2200 m av tunnelen nærmest Vollsfjorden. Tallene refererer til den endelige trasé ("bypass" etter utrasninger).

3) Noe usikre data, ufullstendig grunnlagsmateriale.

4) Opplysninger mangler.

Tabell 5. Resultater fra driving gjennom svakhetssoner.
(etter ref. 1)

© 1988 Svenska Bergteknikföreningen och författare

TUNNELANLEGG	MAKS. LØSMASSE-MEKTIGHET	STØRSTE INNLEKKASJE (I ETT HULL)	INJISERT I FENGDE[1] UNDER SJØ	UNDER LAND	INJISERT MENGDE (kg + l)/lm	PERMANENT LEKKASJE
1. Vollsfjorden	30 m	2)	2)	2)	2)	2)
2. Frierfjorden	107 "	2)	2)	2)	> 9	0,45 l/min.m
3. Vardø	11 "	65 l/min.	12%	0%	32	0,38 "
4. SRV - Slemmestad	10 "	2)	10"	0"	>14	2)
5.1. Karmsundet	16 "	300 "	5"	11"	15	0,08 "
5.2. Førdesfjorden	11 "	< 300 "	13"	0"	12	0,09 "
5.3. Førlandsfjorden	25 "	< 300 "	12"	1"	2	0,08 "
6. Hjartøy	14 "	ca. 200 "	13"	5"	15	0,09 "
7.1. Ellingsøyfjorden	40 "	" 400 "	34"	15"	98	0,28 "
7.2. Valderhaugfjorden	30 "	" 100 "	12"	0"	10	0,29 "

1) Utmålt fra de ingeniørgeologiske profilene i delrapportene, angitt som prosentvis andel av tunnellengde under henholdsvis sjø og land.

2) Opplysninger mangler.

Tabell 6. Løsmasseforhold på sjøbunnen samt data vedrørende innlekkasje og injisering.
(etter ref. 1)

TUNNELANLEGG	MIDLERE INNDRIFT (m/uke . stuff)	EKSTRA RENSK (t/lm)	BOLTER (stk./lm)	SPRØYTE-BETONG (% av L)[1]	BETONG-UTSTØPNING (% av L)	INJISERING (% av L)	SIKRINGSKOSTNAD (i % av total kostnad for ferdig sikret tunnel)
1. Vollsfjorden[4]	26	2)	> 0,6[3]	6%[3]	20%[3]	2)	2)
2. Frierfjorden	28	2)	0,7[3]	4"[3]	6"[3]	2)	2)
3. Vardø	17	2,9	6,9	50"[5]	21"	7%	77%
4. SRV - Slemmestad	2)	2)	2)	62"	5"	8"	2)
5.1. Karmsundet	34	0,3	1,5	65"	15"	9"	59"
5.2. Førdesfjorden	26	0,5	2,3	35"	33"	6"	66"
5.3. Førlandsfjorden	35	0,4	2,5	28"	17"	4"	46"
6. Hjartøy	40	0,3	1,6	33"	12"	10"	54"
7.1. Ellingsøyfjorden	28	0,3	6,4	20"	3"	22"	} 67"
7.2. Valderhaugfjorden	33	0,2	5,0	58"	5"	6"	

1) Eksklusive sprøyting før utstøpning.

2) Opplysninger mangler.

3) Noe usikre data - ufullstendig grunnlagsmateriale.

4) Tallene gjelder selve fjordkrysningen (endelig trasé) samt de nærmeste ca. 1500 m under land.

5) På stuff, opplysninger om sprøytebetong bak stuff mangler.

Tabell 7. Oversikt over inndrifter, totale sikringsmengder og kostnader.
(etter ref. 1)

© 1988 Svenska Bergteknikföreningen och författare

1.3 AKTUELLE PROBLEMSTILLINGER

Forundersøkelser har ikke vært berørt i dette foredraget av hensyn til den begrensede tid til rådighet. Norske erfaringer så langt viser varierende kostnader, men i størrelsesorden 2 % av totale kostnader.
Prosedyrer for forundersøkelser/tolkning samt modeller for prognosering av sikring er fortsatt dagsaktuelle spørsmål.

Markerte svakhetssoner representerer den største utfordring ved gjennomføring av undersjøiske tunneler. Med de prosedyrer som i dag følges ved aktuelle norske undersjøiske anlegg er isolerte vannlekkasjer kontrollerbare. Lengre tunneler til større dyp vil kunne endre på dette. Større svakhetssoner sammen med vann representerer et alvorlig problem og da særlig ved større tverrsnitt.
En øket grad av kontroll vil måtte komme som følge av

- forbedret teknikk ved gjennomføring og tolking av sondering fra stuff.
- annen teknikk ved både injeksjonsboring og forbolting (spiling) av stuff med tanke på å forhindre utvasking.
- tekniske løsninger og prosedyrer for hurtig sikring av stuffen etter sprengning.

Sikringsmidler og sikringsomfang står for en stor andel av de samlede kostnader med en råsprengt tunnel. Alle parter i byggeprosessen bør ha anledning til aktiv deltagelse både ved valg av sikringsmidler og fastleggelse av tidspunkt for gjennomføring.
Dette anskueliggjøres ved problemstillinger som

- på stuff-/bak stuff-arbeider.
- rensk/sprøytebetong
- sprøytebetong/støp.

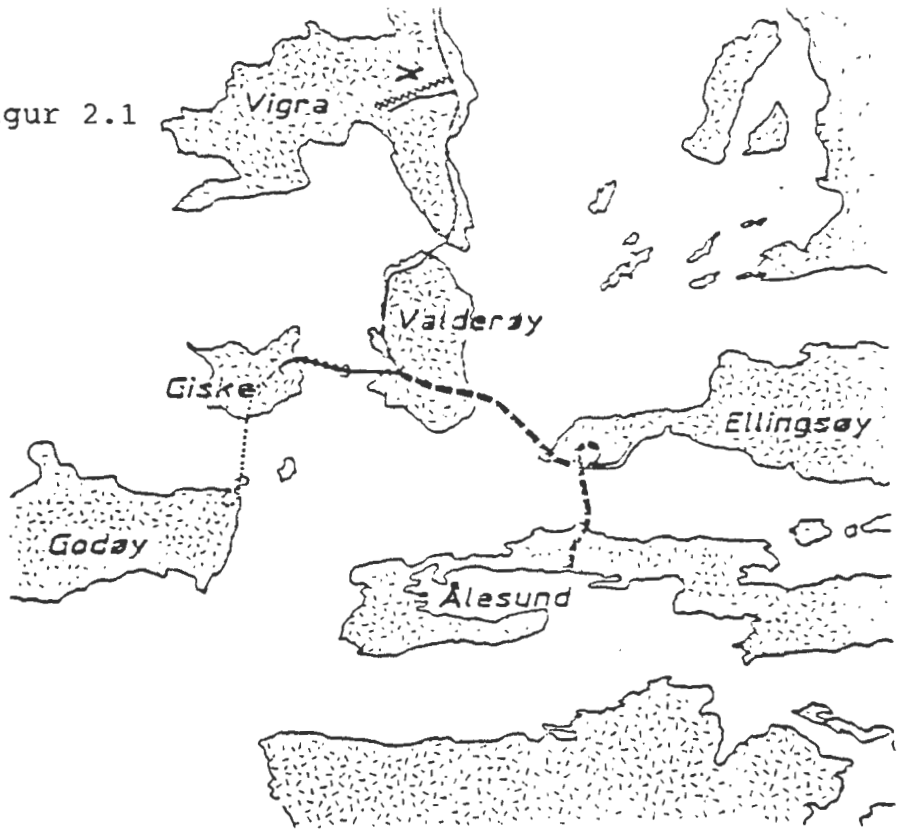
© 1988 Svenska Bergteknikföreningen och författare

2. UNDERSJØISKE TUNNELER
ÅLESUND - VIGRA. DRIFTSERFARINGER

2.1 PROSJEKTPRESENTASJON

Byggherre	: Statens Vegvesen i Møre og Romsdal i finansielt samarbeide med Ålesund og Giske Bruselskap A/S.
Konsulent	: Samarbeidsgruppen Berdal - Norconsult - Aas - Jacobsen Dr.ing. O.T. Blindheim A/S
Hovedentreprenør	: Selmer-Furuholmen Anlegg a.s.

Figur 2.1



Figur 2.1 Oversiktskart viser:

a. Ellingsøytunnelen 3500 m, tre felt (ferdig)

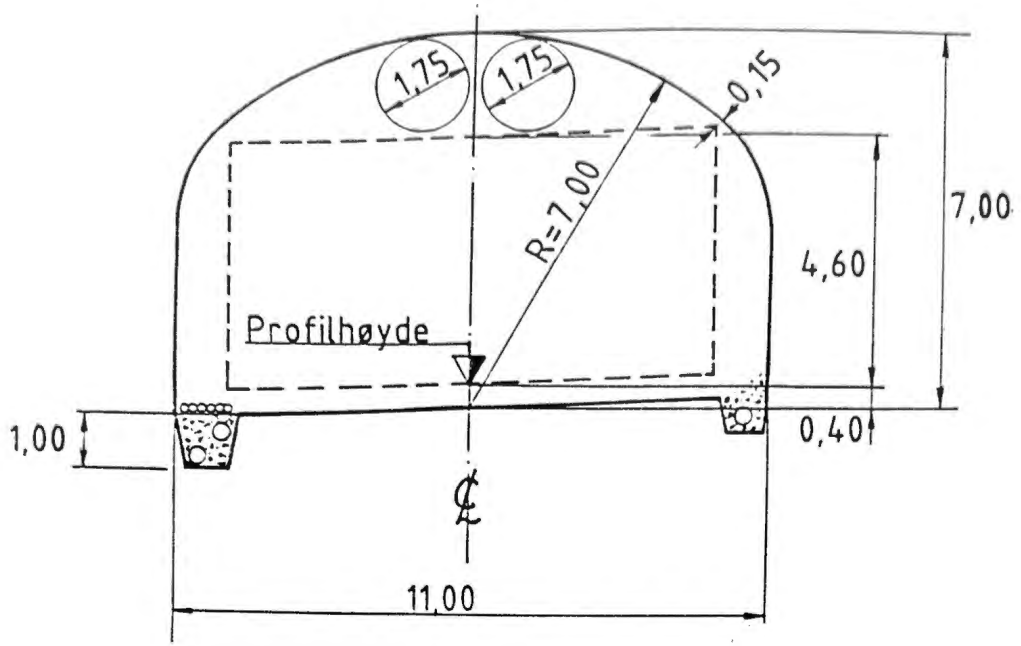
b. Valderøytunnelen 4200 m, tre felt (ferdig)

c. Godøytunnelen 3850 m, to felt (under anlegg)

hvor Statens Vegvesen er byggherre med Selmer-Furuholmen Anlegg a.s som hovedentreprenør.

© 1988 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Figur 2.2



Figur 2.2 viser typisk snitt for Ellingsøytunnelen og Valderøytunnelen som omtales i det etterfølgende. Tunnelen har fall ca 1:12. og lavbrekk ligger ca cote - 140 m. Sålene har ensidig tverrfall og gjennomgående kombinert grøft for kabeltrekkrør, drensledning og pumpeledning i ene side. På motsatt side der det er nødvendig, etableres ekstra drenasje m/tverrgrøfter til hoveddren. Vegbanen er bygget opp av knust forsterkningslag 21,5 cm/ 20 -120 mm penetrert bærelag 10 cm/32-63 mm og 8,5 cm asfalt. Tverrsnitt 68 m2.

© 1988 Svenska Bergteknikföreningen och författare

2.2 DRIFTSOPPLEGG

Krav til framdrift (sammen med dagmulkt på kr 60.000,- pr. stuff) resulterte i at vi valgte separat drift for alle innslag.

Antatt produksjonstid for borerigg/laster på stuff utgjør ca 50 % av total og resulterte i valg av 3 boms borerigg (AC Boomer H 175) og 30 tonns hjullaster (Cat 980 C).

Hvert hovedarbeidssted disponerte eget utstyr for sonder- og injeksjonsboring samt injeksjonsutstyr, våtsprøyterigg og støpeskjold. Dette av hensyn til den totale sikkerhet (mannskap, prosjekt) og under henvisning til tidligere erfaringer fra undersjøiske tunneler. Avtale med byggherren om forsering av anlegget med tilhørende bonus for tidligere ferdigstillelse, resulterte i at det i stedet for 4 slepeskjold ble levert 1 slepeskjold og 2 mobile til bruk ved sikringsstøp ved anlegget.

Tunneldriften ble gjennomført på tradisjonelt vis med underentreprenører på uttransport, veg og tipp. Videre ble sprøytebetong satt bort til under-entreprenør. Forøvrig ble aktivitetene på stuff og foran stuff utført i egen regi og med den ordinære bemanning. Med unntak av visse innkjøringsvansker er arbeidene gjennomført til vår og byggherrens tilfredshet.

Bemanningen ved hvert innslag besto generelt av 5 mann + 1 formann pr skift med skiftordning "2 + 1". Videre 1 elektriker og 1 stikningsingeniør.

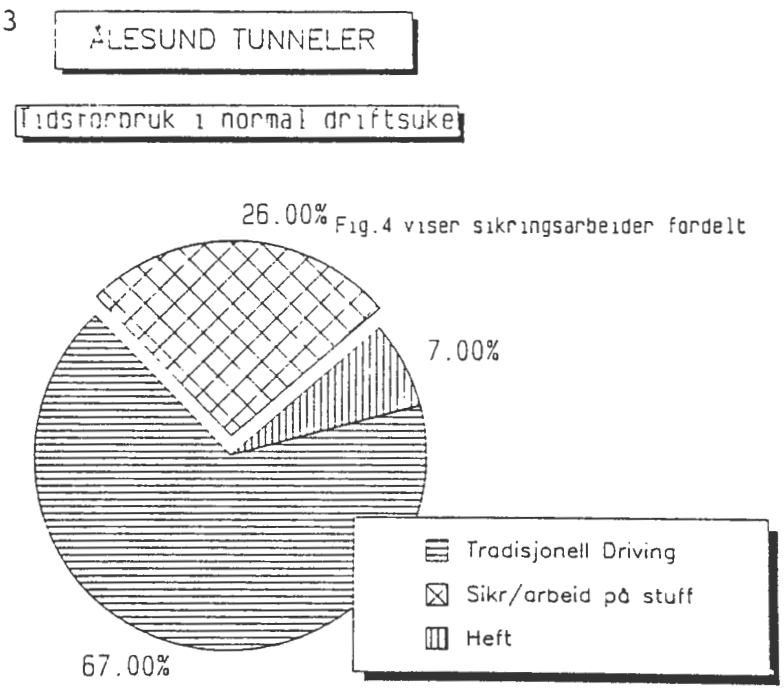
© 1988 Svenska Bergteknikföreningen och författare

2.3 DRIFTSERFARINGER

Vi mener å ha foretatt et riktig utstyrsvalg og en riktig dimensjonering av dette for det prosjektet som er fullført med midlere framdrift i området 30 m/uke.

Bortsett fra sikkerhetsaspektet avviker ikke driving av undersjøisk tunnel fra driving av tunnel over havets nivå. Erfaringstall vil variere noe fra et prosjekt til et annet. For Ålesund tunneler vises følgende:

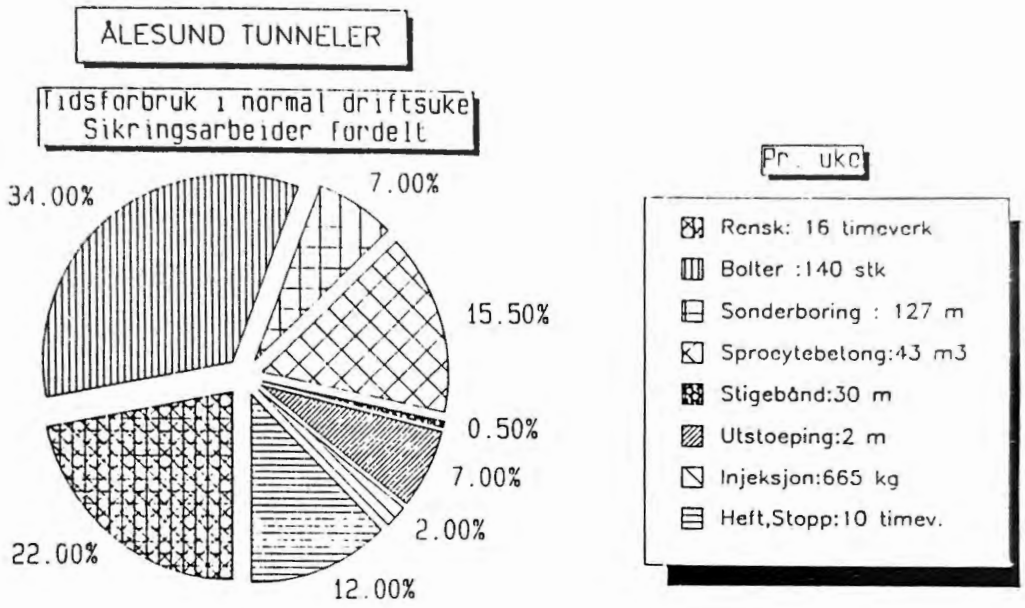
Figur 2.3



Figur 2.3 viser ut fra middelverdier over anleggstiden fordeling av tidsforbruk på tradisjonell driving, sikring på stuff og foran stuff arbeider samt heft.

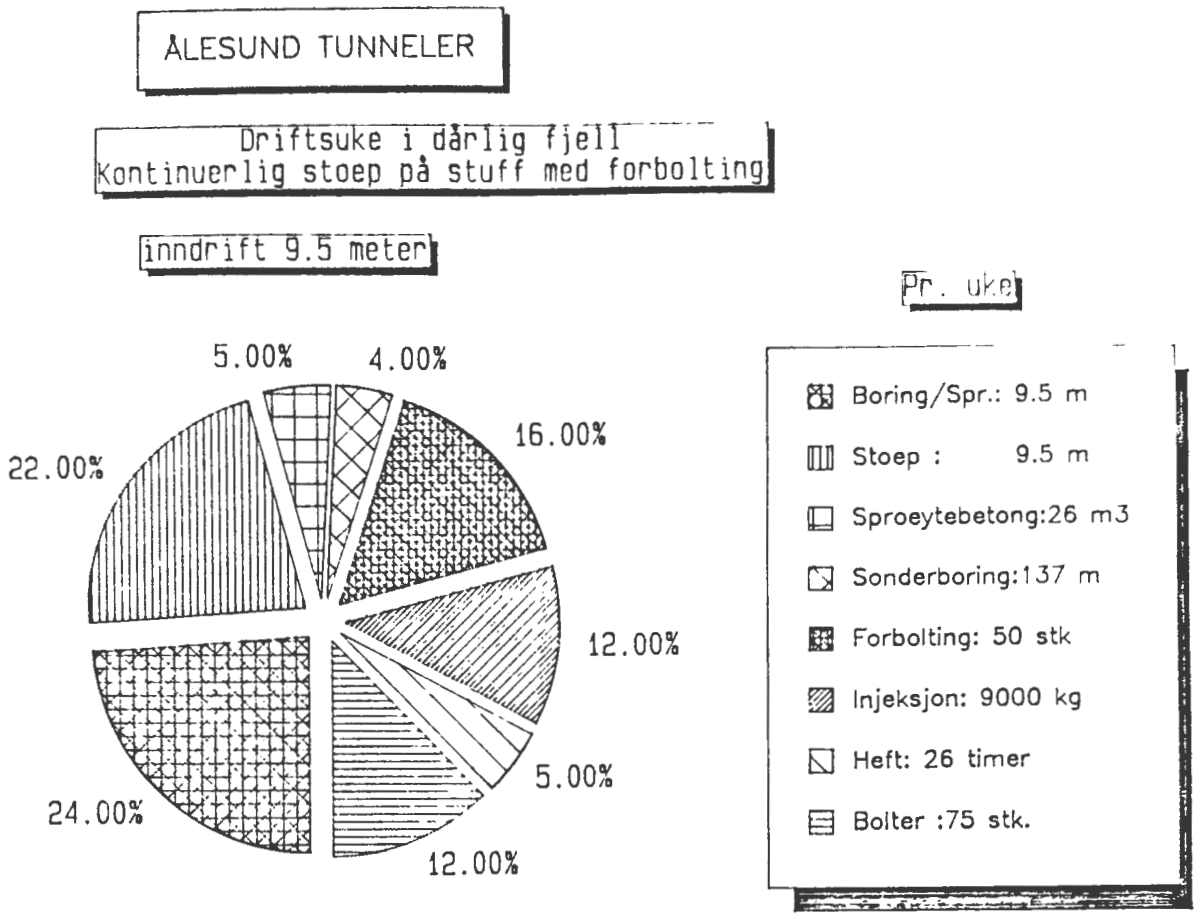
© 1988 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Figur 2.4



Figur 2.4 viser, ut fra middelverdier over anleggstiden, en detaljering av arbeidssikring/arbeider foran stuff.

© 1988 Svenska Bergteknikföreningen och författare



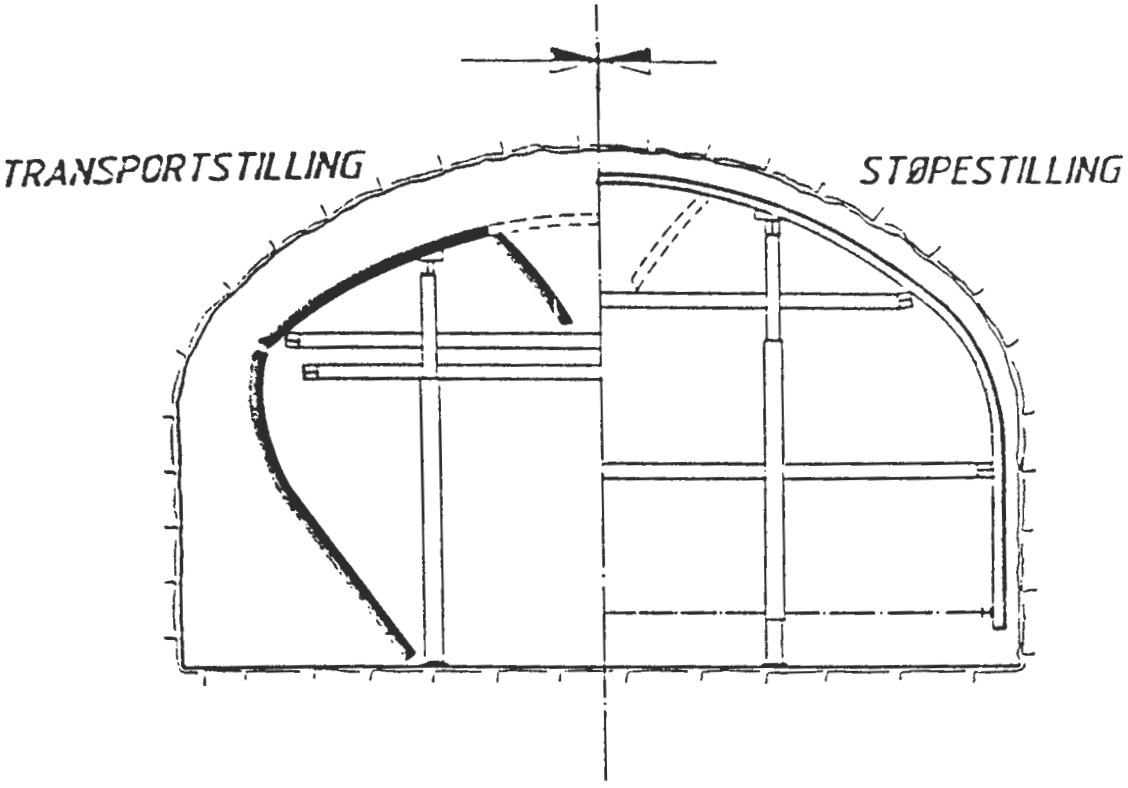
Figur 2.5 viser tidsforbruk ved kontinuerlig støp på stuff med forbolting. Middelverdier fra en periode er benyttet.

For prosjektet var det samlet forutsatt ca 900 m sikringsstøp. Når ressultatet ble ca 300 m så skyldes det også en bevist satsing på sprøytebetong (så langt dette var forsvarlig) ut fra ønsket om og prioritering av framdrift.

2.4. STØPESKJOLD

Ulike støpeskjold ble tilført prosjektet i løpet av anleggstiden og skal kort presenteres.

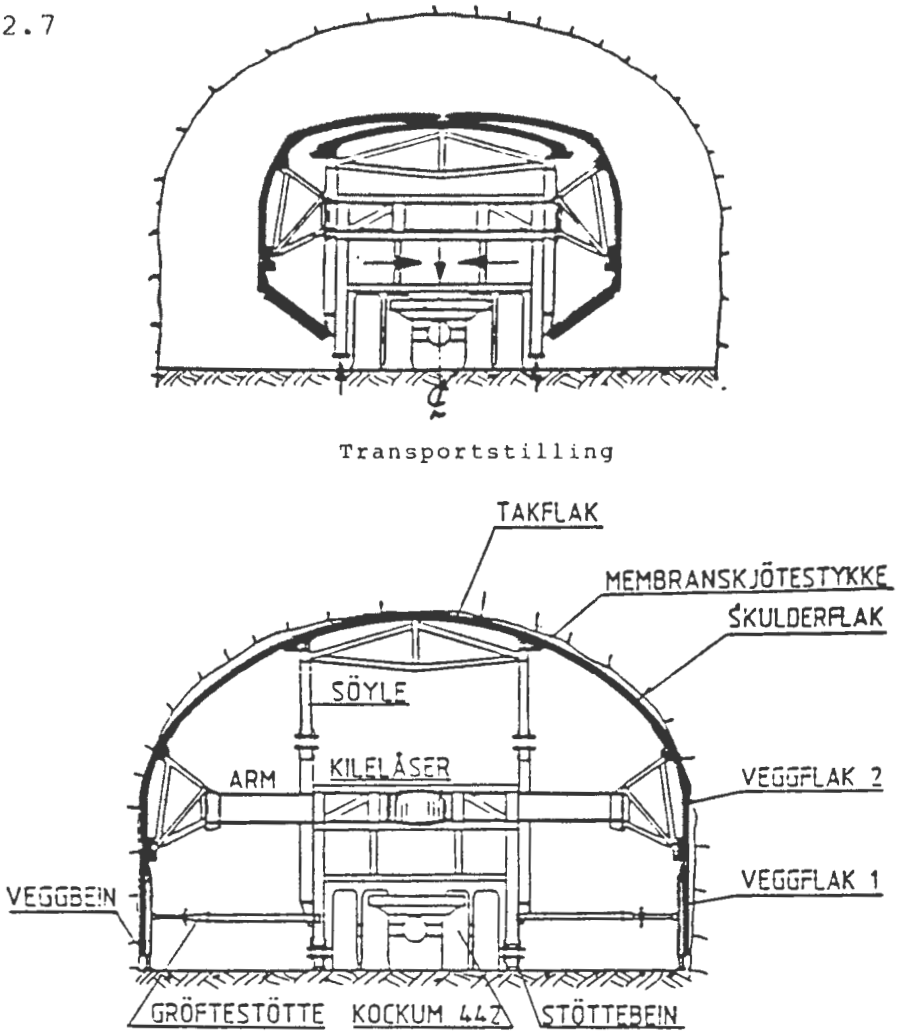
© 1988 Svenska Bergteknikföreningen och författare



Figur 2.6 viser snitt av slepeskjold levert til anlegget. Skjoldet ble aldri benyttet på anlegget da behovet ble dekket av de 2 mobile skjold.
Vekt ca 30 tonn. lengde 6,0 m, kostnad ca 0,5 mill kroner.
Skjoldet slepes av hjullaster.

© 1988 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Figur 2.7

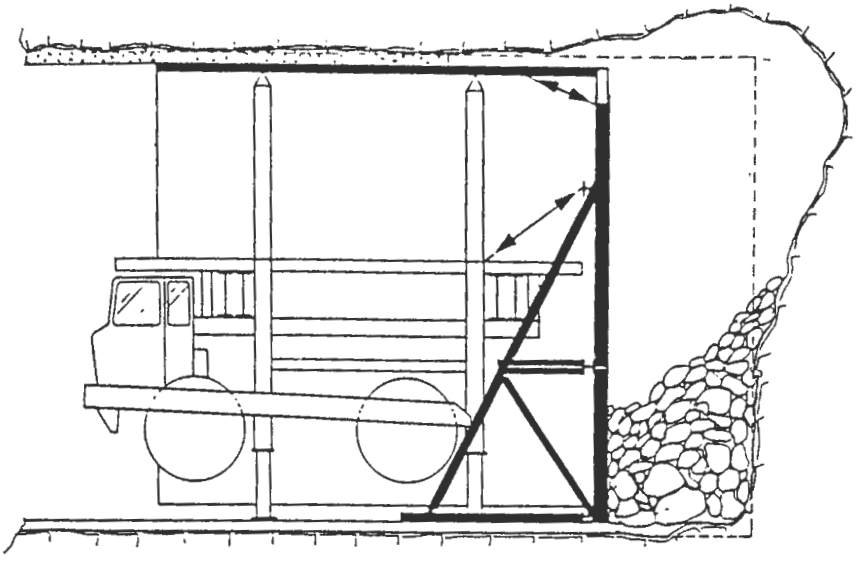


Figur 2.7 viser snitt av mobilt støpeskjold levert til anlegget. Skjoldet er bygget over dumper KL 442. Total vekt ca 45 tonn, lengde 6,0 m, kostnad ca 1,5 mill kroner.

Ved gjennomføring av anlegget oppsto nedfall utenom teoretisk profil således at det for ett tilfelle må klassifiseres som ras på stuff. Dette tilfelle reulterte i diskusjoner og vurderinger på anlegget som konkluderte med at det snarest ble bygget et eget skjold for å kunne mestre større problemer med selve stuffen.

© 1988 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Figur 2.8



Figur 2.8 viser skjold for gjenstøping av stuff, eventuelt plugging av tunnel. Skjoldet må kombineres med mobilt støpekjold for gjennomføring av støp i øverste del av tverrsnittet. Vekt ca 6 tonn, kostnad ca 0,2 mill kroner.

2.5 FRAMDRIFTSERFARINGER

Framdrift er et vesentlig element ved presentasjon av driftserfaringer fra Ålesund tunneler. I utgangspunktet var en samlet anleggstid på 3 år fordelt med:

ca 1/4 år til forberedende arbeider,
ca 2 år til driving av tunnel og
ca 3/4 til etterarbeider/vegbygging.

For å sikre fradriften samt skape et grunnlag for forhandling om forsering, ble det valgt å satse på skiftordning "2+1". Denne medfører ca 108 brutto produksjonstimer pr uke, mot 72 etter byggherrens opplegg. Resultatet ble en reduksjon av anleggstiden for tunnel på kritisk veg med nær 50%, og forsering framkommer i dette tilfelle som et direkte resultat av flere produksjonstimer pr.uke.

© 1988 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Avvik fra forutsatt framdriftsplan er blitt stort også for etterarbeidene. Grøft og ledningsarbeider, permanent sikring og etterrensk er for en stor del utført parallelt med drivingen. Nevnte arbeider er videre gjennomført noe raskere enn forutsatt. Grovt kan en angi at 1/3 av etterarbeidene er utført etter gjennomslag.

Med utgangspunkt i kontraktens masser er samlet anleggstid redusert fra 37 til 22 måneder, d.v.s. 40 % reduksjon.

2.6 SPESIELLE ANBEFALINGER

Av hensyn til etterarbeidene bør ved vegtunneler hovedtyngden av all sikring medtas på stuff. Kun suplerende bolting og mindre sprøytebetongarbeider bør slippes bak stuff. Det er derfor viktig at partene i byggeprosessen kobles så tidlig som mulig for nødvendig tilpasning mellom driftsopplegg og permanente installasjoner. Spesielt må det forhold avklares at de permanente anlegg må tas i bruk før hovedentreprisen er ferdig og arbeidene overlevert. Dette har ikke minst en ansvarsside som ingen er tjent med forblir uklart.

REFERANSER

1. Nilsen. B. (1987): "Undersjøiske tunneler
   Delprosjekt 1 - forundersøkelser og driving.
   Delrapport 1.7 - sluttrapport.
   SINTEF-rapport STF 36 A87115 av 31.12.87, 44s.

2. Naas, R. (1987): "Undersjøiske tunneler Ålesund - Vigra, driftserfaringer".
   Fjellsprengningsteknikk/Bergmekanikk/Geoteknikk 1987, Tapir Forlag, Trondheim, 11s.