

INGENIØR A. B. BERDAL A/S

UM 330A
(9)

STATENS VEGVESEN
SØR-TRØNDELAG

Tverrsnittsutvidelse
i vegtunneler

Endelig rapport

Sandvika, 8. april 1986

INNHOLD

	Side
I INNLEDNING	2
II SAMMENDRAG	2
Kap. 1. GEOMETRISKE FORHOLD	3
1.1 Generelt	3
1.2 Tverrsnitt/lengdeprofil	4
Kap. 2. FJELLFORHOLD - KLASSIFISERING	7
2.1 Generelt	7
2.2 Klassifikasjon av fjell	8
2.3 Modifikasjon av Q-metoden	9
2.4 Vurdering av klassifikasjons- metoden	10
Kap. 3 TUNNELBYGGING KOSTNADER	11
3.1 Generelt	11
3.2 Stabilitetssikring - kostnader	11
3.3 Andre fjellavhengige kostnader	14
3.4 Ikke bergavhengige kostnader	16
3.5 Sammendrag kostnader	
VEDLEGG 1 - METODER FOR BERGSIKRING	
VEDLEGG 2 - STABILITETSSIKRING - KOSTNADER	
VEDLEGG 3 - ANDRE BERGAVHENGIGE KOSTNADER	
VEDLEGG 4 - IKKE BERGAVHENGIGE KOSTNADER	
VEDLEGG 5 - EKSEMPEL PÅ FREMDRIFTSPLAN FOR UNDERSJØISKE TUNNELER	
VEDLEGG 6 - KORT OMTALE AV Q-METODEN	
VEDLEGG 7 - REFERANSELISTE	

I INNLEDNING

Ingeniør A. B. Berdal A/S er av Statens Vegvesen Sør-Trøndelag v/o.ing. B. Giske engasjert for å belyse økonomiske konsekvenser av tverrsnittsutvidelser ved vegtunneler.

Bakgrunn for denne studien er det forhold at for mange vegtunneler (spesielt undersjøiske), kan maksimal stigning være dimensjonerende for tunnellengden. I denne studien har en som forutsetning antatt at ved 80 o/oo stigning (1:12,5) kan benytte to kjørefelt i tunnelen, mens en ved 100 o/oo stigning (1:10) og brattere må benytte 3 kjørefelt i tunnelen. Denne forutsetningen vil ikke bli drøftet nærmere her.

Hensikten med denne studien er å drøfte hvilke konsekvenser en utvidelse av tunneltverrsnittet vil ha for

- sikringskostnad
- sprengningskostnad
- byggetid.

II SAMMENDRAG

I rapporten er det foretatt en sammenligning av anleggskostnadene for bygging av

47 m2, to-felts tunnel med stigning 80 o/oo
og
68 m2, tre-felts tunnel med stigning 100 o/oo

ved varierende bergkvaliteter.

Klassifisering av berget er basert på Q-metoden som er et internasjonalt klassifiseringssystem for sikring av tunneler. Sikringsmetodene er modifisert i forhold til metodene som er angitt i Q-metoden. Modifikasjonen er mer tilpasset norske forhold enn sikringsmetodene angitt i Q-metoden.

Resultatene av sammenligningen (se fig. IA og IB) viser at kostnadene pr. tunnellengde med høydedifferanse lik 1,0 m er tilnærmet lik for de to tilfellene. I middels til dårlig fjell er kostnadene pr. høydemeter lavest for to-felts tunnel og i ekstremt dårlig og godt fjell er kostnadene pr. høydemeter lavest for tre-felts tunnel. Differansen er imidlertid små og i noen grad kan en si differansene ligger innenfor kalkulasjonsusikkerheten.

Vesentlig kostnadsbesparelse kan, hvis andre forhold tillater det, oppnås ved

- å øke stigningen på tre-felts tunnel ytterligere
- redusere lengden på krabbefelt (lengden av tre-felts tunnel)

Kostnadstallene i Fig. IA gjelder generelt for utvidelse fra to- til tre-felts tunnel.

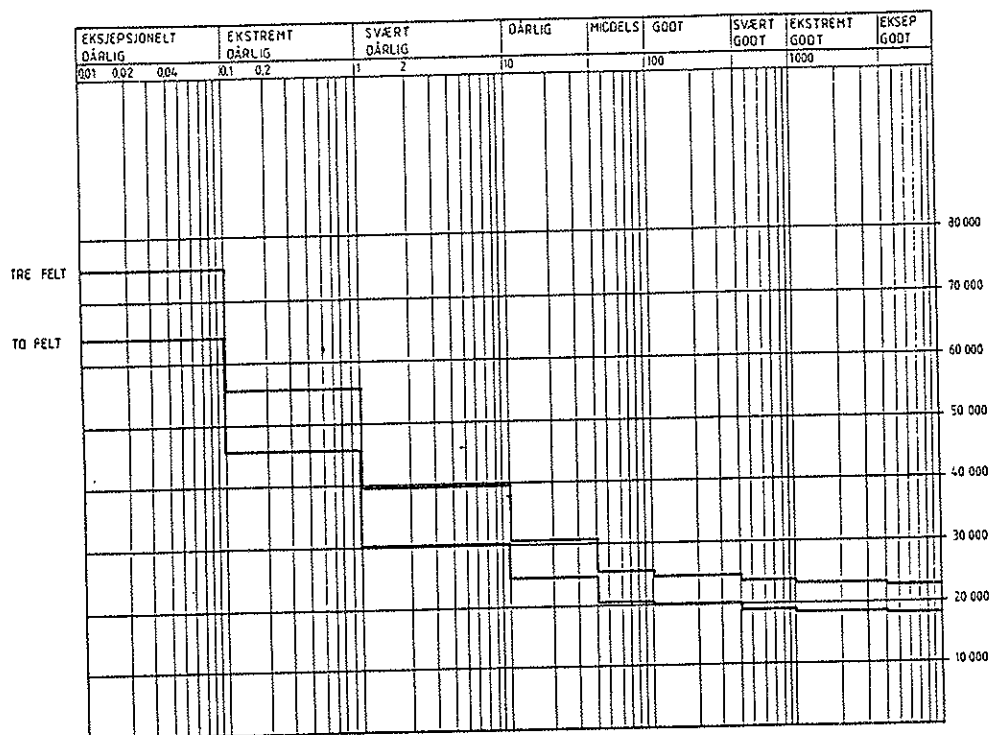


FIG 1A TUNNELKOSTNADER I KR/M.

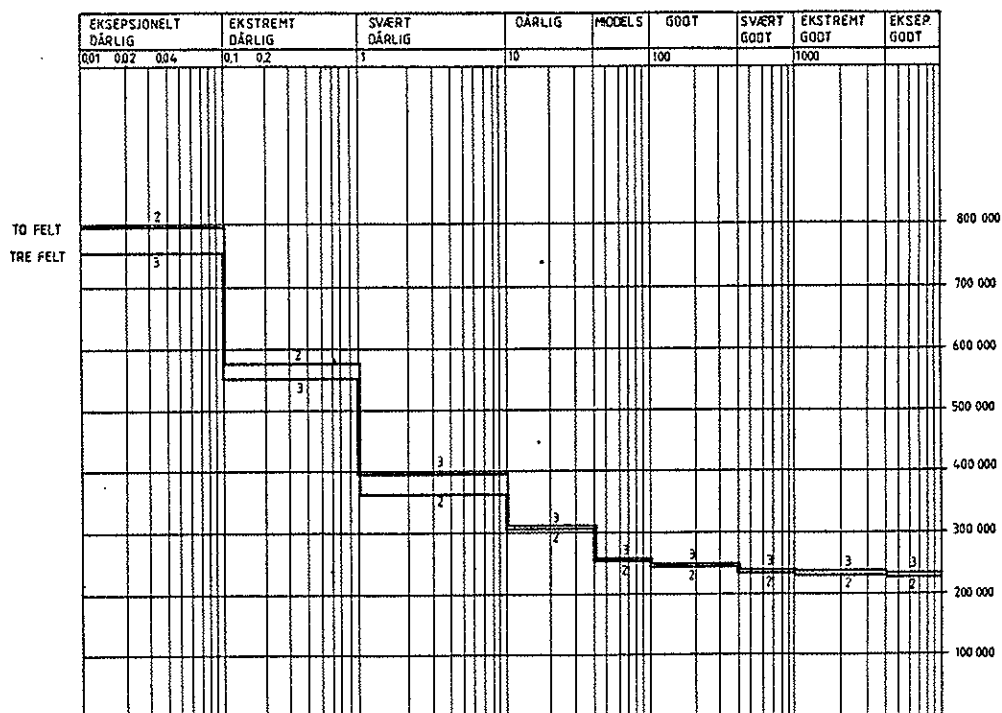


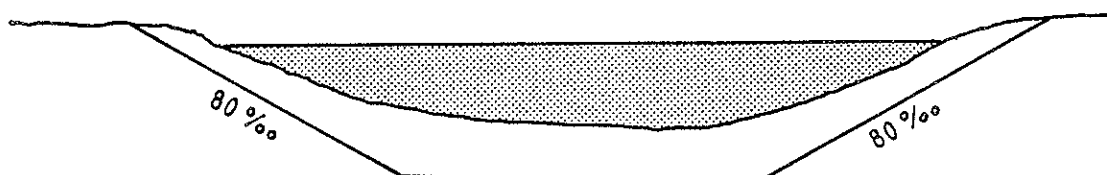
FIG 1B TUNNELKOSTNADER KR/HØYDEFTER

1. GEOMETRISKE FORHOLD

1.1 Generelt

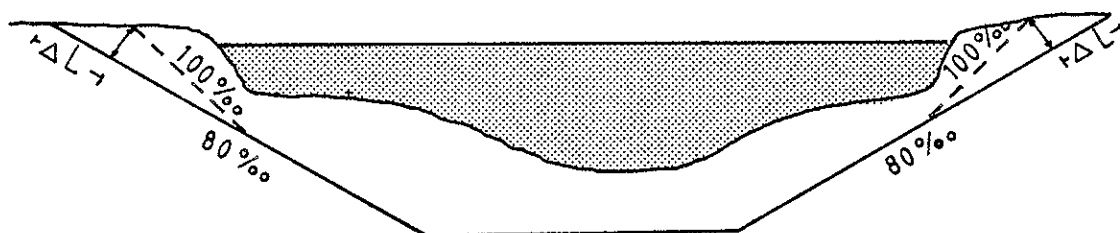
Undersjøiske tunneler kan deles i tre kategorier med hensyn på lengde/stigningsforhold:

FIG 1.11



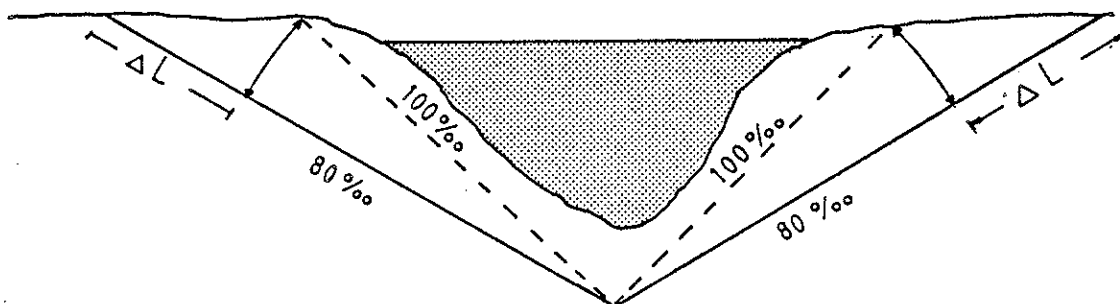
KATEGORI 1: FJORDENS BREDDE ER DIMENSJONERENDE FOR TUNNELLENGDEN. (FJORDSKRÅNINGENE ER SLAKERE ENN 80 ‰)

FIG 1.12



KATEGORI 2: KRITISK PUNKT MHT. OVERDEKNING LIGGER NÆR LAND.

FIG 1.13



KATEGORI 3: KRITISK PUNKT LIGGER MIDT I FJORDEN.

For kategori 1 betyr ikke stigningsforholdet noe for tunnel-lengden. For kategori 2 vil en kunne redusere tunnellengden litt ved øket stigning, mens for kategori 3 vil en oppnå en betydelig reduksjon av tunnellengden ved å øke stigningen.

1.2 Tverrsnitt og lengdeprofil

Tverrsnitt: I denne studien vil tverrsnittene vist på fig. 1.21 og 1.22 bli vurdert i forhold til hverandre.

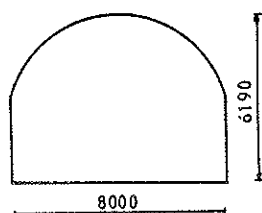


FIG 1.21 2-FELTSTUNNEL, $A=47 \text{ m}^2$

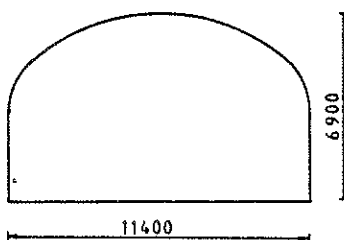


FIG 1.22 3-FELTSTUNNEL, $A=68 \text{ m}^2$

Ekstra felt i tunnel øker kapasiteten der hastighetsforskjeller mellom kjøretøy forårsaker uakseptabel kødannelse. En forutsetter at alle kjøretøy har et akseptabelt hastighetsnivå utfor bakke og i svake stigninger. Ekstra felt (krabbefelt) kan derfor bli helt eller delvis nødvendig der tunnelen går på sterk stigning ettersom krabbefelt øker kapasiteten tunnelen ved at kjøretøy med lav hastighet vil gå i eget felt. Se eks. fig. 1.23

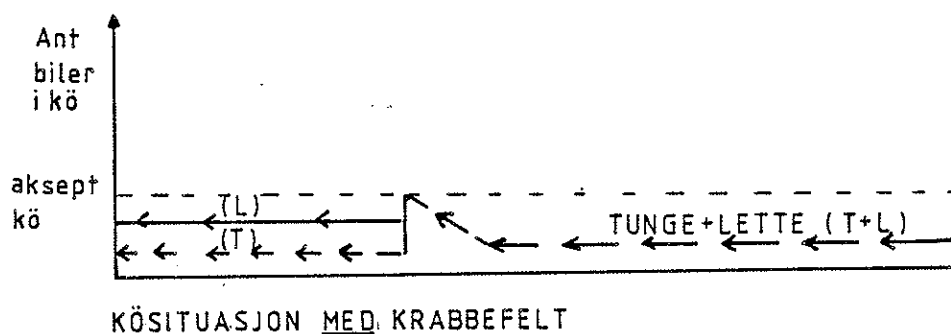
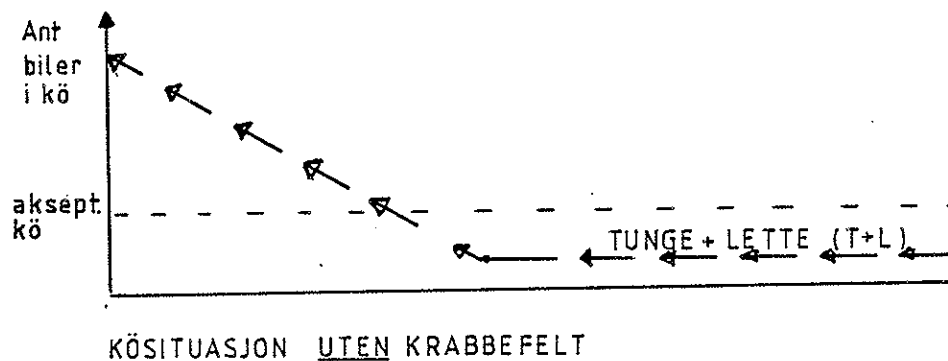
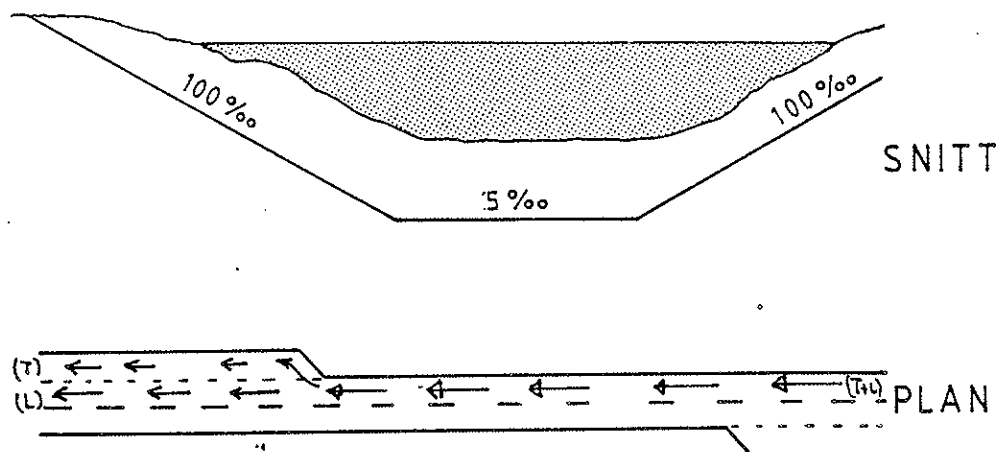


Fig. 1.23 KØSITUASJON I TUNNEL

I denne studien vil ikke behovet for krabbefelt bli vurdert nærmere. I det etterfølgende forutsettes at krabbefelt er nødvendig ved 100 o/oo stigning mens en ved 80 o/oo stigning kun har behov for to kjørefelt.

2. BERGFORHOLD - KLASSIFISERING

2.1 Generelt

Ved tunneldrift benyttes bergmassene som byggemateriale. Når en skal planlegge/bygge en tunnel er det behov for å beskrive egenskapene til bergmassene som byggemateriale. Variasjoner i bergmassenes egenskaper har betydning bl.a. for

- borbarhet og sprengbarhet
- tunnelens stabilitet
- vannlekkasjer

Borbarhet og sprengbarhet kan beskrives forholdsvis enkelt. En vanlig inndeling av kategorier (som vil bli benyttet i vedlegg 3 er:

- dårlig sprengbarhet/borbarhet
- middels sprengbarhet/borbarhet
- god sprengbarhet/borbarhet

Tunnelens stabilitet er et sammensatt begrep. Den avhenger av:

- bergmassenes kvalitet (geologiske forhold)
- tunnelens geometri og krav til sikkerhet
- tunnelens levetid

I dette kapitlet vil en drøfte begrepet bergmassens kvalitet. I begrepet inngår svært mange parametre. De viktigste er:

- Bergartstype
- Oppsprekningsgrad
- Antall sprekkesett
- Sprekkes karakter
- Sprekkens retning
- Sprekkematerialets karakter
- Vannforhold
- Bergspenninger
- Bergmassens styrkeparametre.

Alle disse parametrene kan variere innenfor vide grenser. En kan således tenke seg et uendelig antall bergklasser. Fra et ingeniør-geologisk synspunkt er dette svært upraktisk ettersom en ønsker å koble sammen bergmassenes egenskaper med nødvendig fjellsikring og stabilisering. Behovet for et enkelt klassifiserings-system for bergmassene melder seg.

Lekkasje og injeksjon er vanskelig å knytte direkte til kjente klassifikasjonssystem. I denne studien vil en derfor se på et typisk lekkasjetilfelle og deretter drøfte hvilke konsekvenser varierende lekkasjeforhold har for den totale kostnad.

2.2 Klassifisering av berg

Innenfor ingeniørgeologien finnes det mange klassifiseringssystemer for berg.

Klassifiseringssystemene kan være nyttige redskaper til støtte for en ingeniørgeologisk vurdering av bergmassenes kvalitet og de tilhørende stabilitetsforhold for en tunnel eller et bergrom. For å besvare spørsmålene som er stilt i denne studien, er det valgt å knytte vurderingene hovedsakelig til Bartons (NGI) klassifikasjonssystem kalt Q-metoden. Årsaken til det er at dette klassifikasjonssystemet enklest knytter sammen parametrene bergkvalitet, spennvidde og sikring. Til en viss grad er det også tatt hensyn til andre klassifikasjonssystemer.

2.2.1 Q-metoden

I Q-metoden (se vedlegg 6) deles bergmassene inn i flere kategorier. Hver kategori er representert ved en betegnelse for bergkvalitet og et tilhørende intervall for Q-verdi, se fig. 2.21.

I Q-metoden plottes Q-verdien mot ekvivalent dimensjon for bergrommet/tunnelen. Ekvivalent dimensjon bestemmes ut fra tunnelens spennvidde dividert på en faktor som angir tunnelens sikringsnivå (se vedlegg 6, side 1). I diagrammet som da fremkommer, er det plottet inn sikringsmetoder for gitte verdier av Q og ekvivalent dimensjon, se fig. 2.21.

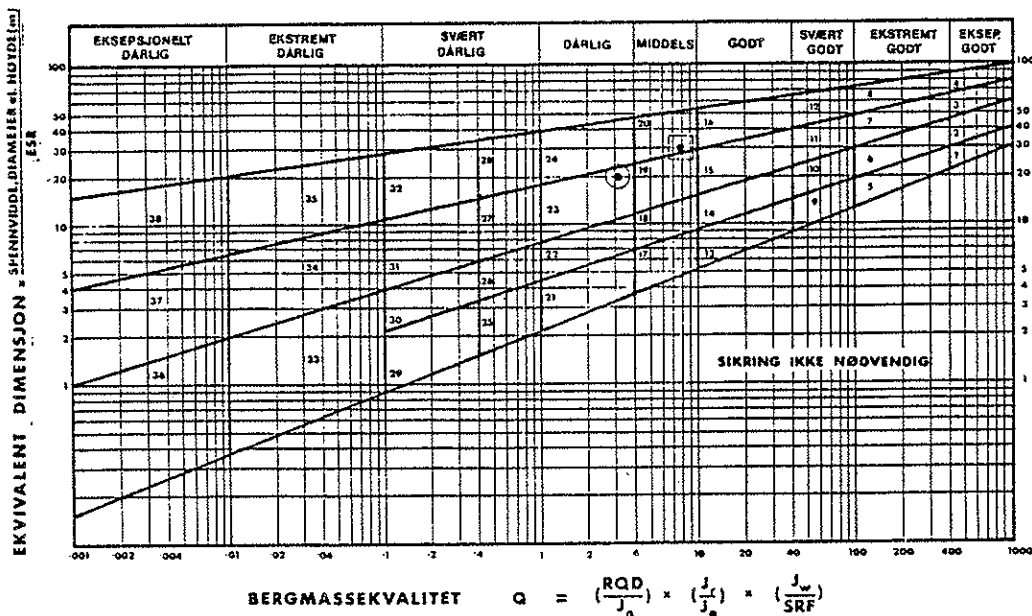


Fig. 2.21 Q-metoden

Inngangsparametrene til formelen blir tallfestet som beskrevet i vedlegg 6, tabell 1-6.

Av diagrammet fremgår bl.a. at for en to-felts tunnel vil Q-verdier større enn 22 medføre at sikring ikke er nødvendig. Tilsvarende tall for en tre-felts tunnel er $Q = 50$.

2.3

Modifikasjon av Q-metoden

Sikringsmetodene som er angitt i Q-metodene stemmer ikke helt overens med den tradisjon og praksis som finnes for fjellsikring i Norge. Det vil derfor i denne studien bli innført i Q-metoden en modifikasjon av sikringsmetodene som er mer tilpasset norske forhold. (Modifikasjonene er utført av A. Palmstrøm, Ingeniør A. B. Berdal A/S og er ikke publisert). Modifikasjonen er gjen-gitt i fig. 2.41.

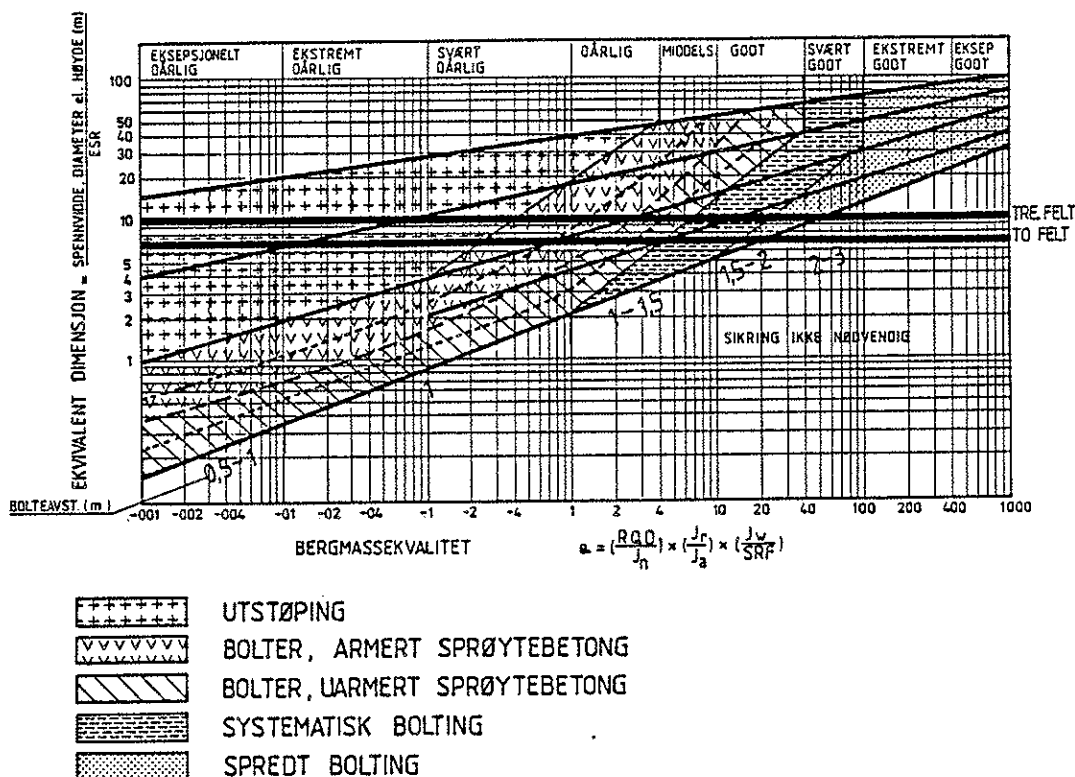


Fig. 2.22 Modifisert Q-metode

Sammenligningen mellom sikringsomfanget i en 47 m² tunnel og en 68 m² tunnel (se kap. 1, fig. 1.21 og 1.22) vil bli gjennomført på grunnlag av den modifiserte utgaven av Q-metoden. I tillegg vil det bli gjort en egen vurdering av vannlekkasjen og injeksjonsbehov for de to aktuelle tverrsnitt.

2.4 Vurdering av klassifikasjonsmetoden

Selv om det må advares mot ukritisk bruk av klassifikasjonssystemer; er det et nyttig hjelpemiddel for å beskrive tendenser og relasjoner som f.eks. ved utvidelse av tverrsnitt for en veg-tunnel. Fordelen ved å knytte vurderingene til klassifikasjonssystemer er at en med disse systeme har et mer objektivt mål for fjellkvalitet.

Når en benytter et klassifikasjonssystem til å knytte sammen fjellkvalitet og fjellsikring, vil en nødvendigvis måtte foreta en del forenklinger. Dette vil føre til at enkelte forhold ikke blir tatt tiltrekkelig hensyn til. Slik forhold kan være

- bergmessige
- kontraktsmessige og økonomiske
- funksjonsmessige.

Eks. bergtekniske: Q-metoden tar i litt liten grad hensyn til sprekkeretning og retning/størrelse av bergspenningene. Q-metoden behandler heller ikke problematikken om minste nødvendig fjell-overdekning. Disse forhold bør derfor vurderes spesielt for konkrete prosjekter.

Eks. kontraktsmessige og økonomiske: Den utførte sikring kan i mange tilfelle være influert av kontraktsmessige forhold. Entreprenøren kan f.eks. ha dårlig pris på betongutstøping og god pris på sprøytebetong. I mange tilfeller vil dette da føre til et økt press på bruk av sprøytebetong som fjellsikring

Eks. funksjonsmessige: Ut fra f.eks. estetiske eller vegtekniske årsaker kan det være ønskelig å benytte andre sikringsmidler enn de som ut fra et rent ingeniørgeologisk synspunkt ville vært nødvendig.

3. TUNNELBYGGING - KOSTNADER

3.1 Generelt

Ved beregning av kostnader vil det her bli benyttet følgende inndeling:

- kostnader ved stabilitetssikring (vedlegg 2)
- kostnader ved andre fjellavhengige arbeider (vedlegg 3)
- kostnader ved ikke bergavhengige arbeider (vedlegg 4)

Ved beregning av sikringskostnader vil det bli tatt utgangspunkt i metodene beskrevet i vedlegg 1 og tverrsnittene vist i fig. 1.22 og 1.23. Sikringstype og tilhørende fjellkvalitet/Q-verdi bygges på diagrammet vist i fig. 2.22.

Det er benyttet priser fra Ingeniør A. B. Berdals prisbank, som er bearbejdede enhetspriser fra ulike tunnelentrepriser.

Prisene for (spesielt) sikringsarbeider er mengdeavhengige. I det etterfølgende er det benyttet gjennomsnittspriser.

Ved bestemmelse av bruksområde og sikringsnivå for de to tverrsnittene er det benyttet faktor 1,15 for å redusere spennvidden til ekvivalent dimensjon (se vedlegg 6). Faktor 1,15 tilsvarer en lite til middels trafikkert vegtunnel.

I diagrammet fig. 2.22 er det kun tatt med stabilitetssikring, ikke rensk, injeksjon og sonderboring.

I kostnadsberegningene (se vedlegg 2) vil kostnadene for rensk bli regnet sammen med øvrige sikringsarbeider, mens det vil bli gjort separat vurdering av sonderboring og injeksjon.

3.2 Stabilitetssikring - kostnader

Detaljerte beregninger av kostnadene er vist i vedlegg 2. I fig. 3.2 er det vist en fremstilling av kostnadene ved fjellsikring som funksjon av fjellkvalitet og tverrsnitt. Kurven er fremkommet ved å beregne sikringskostnader midt i intervallene referert i vedlegg 2, og benytte samme sikringskostnad for hele intervallet. Det antas at kurvenes form vil være mer kontinuerlig for de gode fjellkvalitetene, mens den har en mer sprangvis form for de dårlige fjellkvalitetene. Sprangene indikerer overgangen mellom ulike sikringsmetoder (f.eks. sprøytebetong erstattes med betongutstøping).

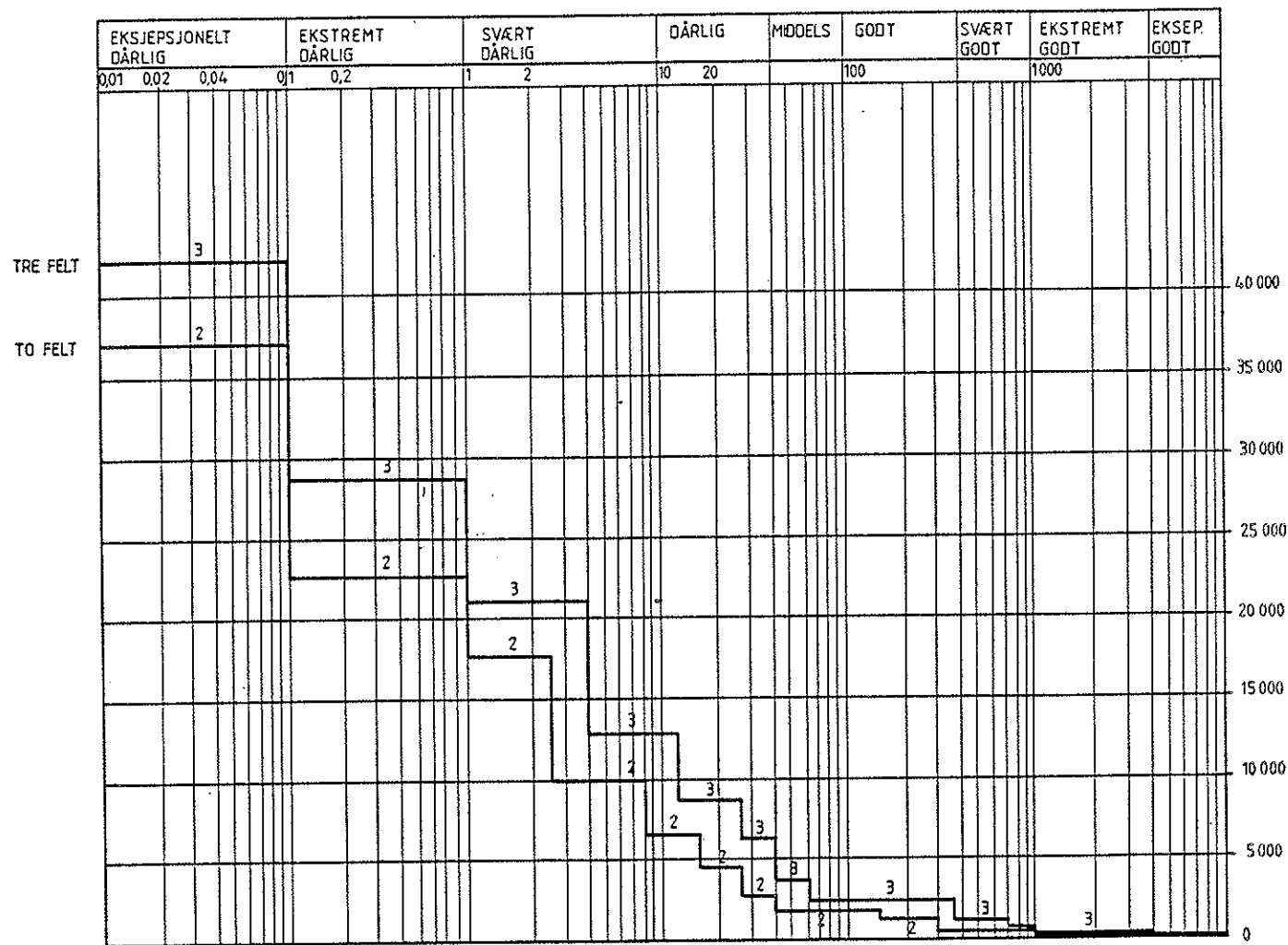


FIG. 3.2 SIKRINGSKOSTNADER I KR/M TUNNEL

3.3 Andre fjellavhengige kostnader

3.3.1 Generelt

Til kategorien andre fjellavhengige kostnader hører

- sonderboring
- injeksjon
- vann- og frostsikring
- sprengning, utlasting, transport og ventilasjon i anleggsfasen

Kostnadsregningen med forutsetninger er vist i vedlegg 3. I tabellene nedenfor vil det på grunnlag av kostnadsregningen i vedlegg 3 bli vist en sammenligning av kostnadene pr. løpemeter for to- og tre-felts tunnel (47 m² og 68 m²).

3.3.2 Sonderboring

Tabellen 3.31 viser kostnadene både for redusert og normal sonderboring. Ved kostnadssammenstillingen kap. 3.5 vil normal sonderboring bli lagt til grunn.

TABELL 3.3.2 SONDERBORING, gjennomsnittskostnader, kr/lm tunnel

TVERRSNITT	RED. SONDERBORING	NORMAL SONDERBORING
47 m ² (tofelts)	183	354
68 m ² (trefelts)	204	354

3.3.3 Injeksjon

Ved sammenligning av injeksjonskostnader vil injeksjonskostnadene bli fordelt pr. løpemeter tunnel. Forutsettes det at lekkasjehyppigheten er lik for hele tunnelstrekningen, vil det være riktig å benytte samme prosentsats for både to- og tre-felts tunnel (tabell 3.3.A). Forutsettes derimot at lekkasjene er samlet på ett sted, f.eks. på den delen av tunnelen som ligger utenfor strandlinjen, vil prosentsatsen for tre-felts tunnel måtte multipliseres med faktor 1,25 for å kompensere for kortere lengde (tabell 3.3.3 B) Prosentsatsen angir lengde injisert strekning i prosent av total lengde.

I kostnadssammenstillingen kap. 3.5 vil det for tre-felts tunnel bli benyttet middeltall mellom tabell 3.3.3 A og 3.3.3 B.

TABELL 3.3.3 A Gjennomsnittlige injeksjonskostnader ved jevnt fordelt lekkasje. (kr/lm tunnel)

TVERRSNITT/ lengde injisert	Andel av tunnel injisert			
	2%	5%	10%	20%
47 m2 (tofelts)	212	530	1060	2120
68 m3 (trefelts)	246	615	1230	2460

TABELL 3.3.3 B Gjennomsnittlige injeksjonskostnader ved lokal lekkasje. (kr/lm tunnel)

TVERRSNITT/ lengde injisert	Andel av tunnel injisert			
	2% ^{x)}	5% ^{x)}	10% ^{x)}	20% ^{x)}
47 m2 (tofelts)	212	530	1060	2120
68 m3 (trefelts)	307	768	1537	3075

x Prosentsatsen for 68 m2 tunnel er korrigert med faktor $12,5/10 = 1,25$ for å kompensere for lengdeforskjellene.

3.3.4 Vann og frostsikring

Ved sammenligning av vann- og frostsikring gjelder de samme betraktninger som for injeksjon. Her forutsettes imidlertid ved kostnadssammendraget i kap. 3.5 at behovet for vann- og frostsikring fordeler seg likt over hele tunnelen. Årsaken til det er at vann og frostsikringen er rettet mot mindre lekkasjer.

TABELL 3.3.4 Vann- og frostsikring (PE-skum/plate) kr/lm tunnel

TVERRSNITT/lengde vann og frost	Andel av tunnel injisert			
	10%	20%	50%	100%
47 m2 (tofelts)	414	818	2070	4140
68 m3 (trefelts)	483	966	2415	4830

3.3.5 Sprengning/utlasting, transport og ventilasjon i anleggsfasen, kostnader

I tabell 3.3.5 er kostnadene for fjellsprengning angitt for de to tverrsnittene. Kostnadene gjelder for fjell med middels sprengbarhet.

TABELL 3.3.5 Sprengning (kr/lm tunnel)

TVERRSNITT	Sprengning, drift- rensk, ventilasjon	Last transp.	Kontur- spr.	Grøft	Sum Kostnader
47 m2	4035	2820	300	600	8655
68 m2	5236	4080	370	600	10286

3.3.6 Vannlensing, kostnader

I tabell 3.3.6 er kostnadene for etablering og drift av vannlensesystemet i anleggsfasen gjengitt.

TABELL 3.3.6 Vannlensing (kr/lm tunnel)

TVERRSNITT	Etabl.	Drift	Sum Vannlensing
47 m2	140	153	293
68 m2	170	200	370

3.4 Ikke bergavhengige kostnader

I tabell 3.4 er det vist kostnadene for ikke bergavhengige arbeider.

Forutsetningene som er gjort, går frem av vedlegg 4.

TABELL 3.4 Ikke bergavhengige kostnader (kr/lm tunnel)

	47 m2	68 m2
Belysning, ventilasjon	1000	1208
Vegbane	1200	1800
Drenssystem	420	420
Lensesystem	1180	1255
Sum ikke bergavhengige kostn.	3800	4683

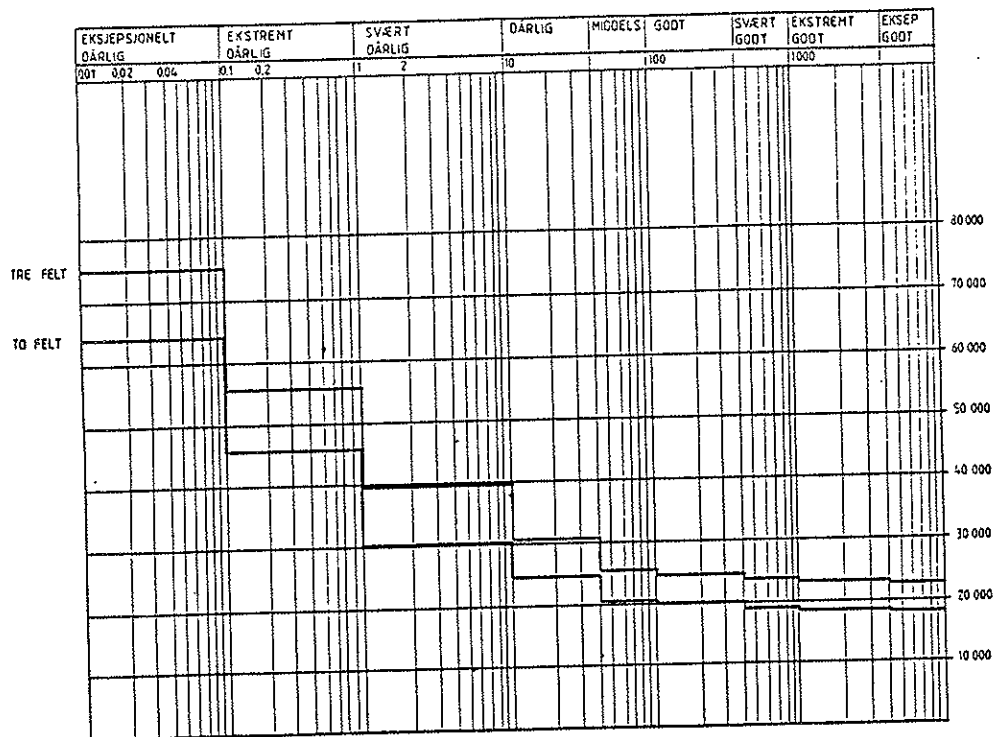


FIG 1A TUNNELKOSTNADER 1 KR/M.

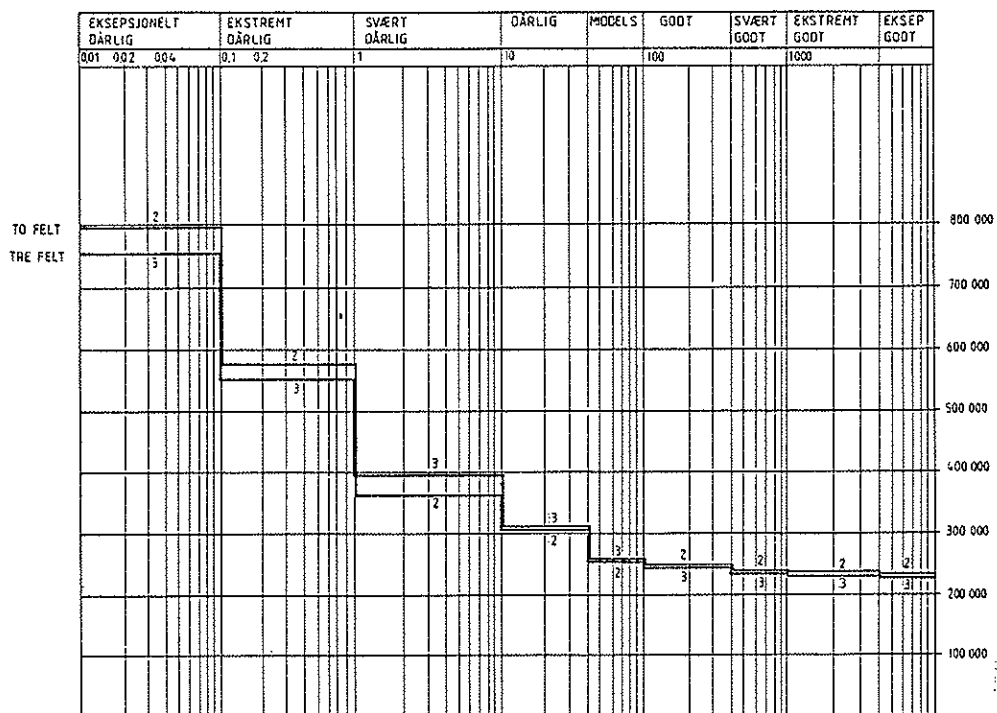


FIG 1B TUNNELKOSTNADER KR/HOYDEHETER

Tabell 3.5 A KOSTNADER TO-FELTS TUNNEL, 47 m2, 80 o/oo

	Eksepsjonelt dårlig	Ekstremt dårlig	Svært dårlig	Dårlig	Middel	Godt	Svært godt	Ekstremt godt	Eksepsjonelt godt
STABILITETSSIKRING	39.645	24.180	10.000*	4.675*	1.800*	1.265	270	125	60
SONDERBORING	354	354	354	354	354	354	354	354	354
INJEKSJON (10%)	1.060	1.060	1.060	1.060	1.060	1.060	1.060	1.060	1.060
VANN/FROSTSIKR. (50%)	2.070	2.070	2.070	2.070	2.070	2.070	2.070	2.070	2.070
SPR. LAST. TRSP. VENT	8.655	8.655	8.655	8.655	8.655	8.655	8.655	8.655	8.655
VANNLENSING	293	293	293	293	293	293	293	293	293
IKKE FJELLAV. KOSTN.	3.800	3.800	3.800	3.800	3.800	3.800	3.800	3.800	3.800
Enhetskostn.	55.877	40.412	26.232	20.907	18.032	17.497	16.502	16.357	16.292
+ Rigg (påslag 15%)	8.381	6.061	3.932	3.136	2.704	2.624	2.475	2.453	2.443
SUM KOSTNADER	64.259	46.473	30.164*	24.043	20.736	20.121	18.977	18.810	18.735

Tabell 3.5 B KOSTNADER TRE-FELTS TUNNEL, 68 m2, 100 i/oo

	Eksepsjonelt dårlig	Ekstremt dårlig	Svært dårlig	Dårlig	Middel	Godt	Svært godt	Ekstremt godt	Eksepsjonelt godt
STABILITETSSIKRING	45.970	28.957	15.000*	7.490*	3.300*	1.645	440*	160	80
SONDERBORING	354	354	354	354	354	354	354	354	354
INJEKSJON (10%)	1.384	1.384	1.384	1.384	1.384	1.384	1.384	1.384	1.384
VANN/FROSTSIKR. (50%)	2.415	2.415	2.415	2.415	2.415	2.415	2.415	2.415	2.415
SPR. LAST. TRSP. VENT	10.286	10.286	10.286	10.286	10.286	10.286	10.286	10.286	10.286
VANNLENSING	370	370	370	370	370	370	370	370	370
IKKE FJELLAV. KOSTN.	4.683	4.683	4.683	4.683	4.683	4.683	4.683	4.683	4.683
Enhetskostn.	65.462	48.449	34.492	26.982	22.792	21.137	19.932	19.652	19.572
+ Rigg påslag 15%)	9.819	7.267	5.174	4.047	3.418	3.170	2.989	2.948	2.936
total	75.281	55.716	39.666	31.029	26.210	24.307	22.921	22.600	22.508

Tabell 3.5 C - SAMMENDRAG

	Eksepsjonelt dårlig	Ekstremt dårlig	Svært dårlig	Dårlig	Middel	Godt	Svært godt	Ekstremt godt	Eksepsjonelt godt
Pris pr. løpemeter tunnel									
47 m2 - to-felt 80 o/oo	63.827	46.472	30.164	24.043	20.736	20.121	18.977	18.810	18.735
68 m2- tre-felt 100 o/oo	75.281	55.716	39.666	31.029	26.210	24.307	22.921	22.600	22.508
Pris pr. høydemeter (tunnelstrekning med høydedifferanse 1,0 m) (12,5 m lengde to-felt og 10 m lengde tre-felt)									
47 m2 - to-felt 80 o/oo	797.837	580.900	377.050	300.537	259.200	251.512	237.212	235.125	234.188
68 m2- tre-felt 100 o/oo	752.810	557.160	396.660	310.290	262.100	243.070	229.210	226.000	225.080

Som det fremgår av tabellen, er kostnadene pr. tunnallengde med høydedifferanse lik 1,0 m er tilnærmet lik for de to tilfellene. I middels til dårlig fjell er kostnadene pr. høydemeter lavest for to-felts tunnel og i ekstremt dårlig og godt fjell er kostnadene pr. høydemeter lavest for tre-felts tunnel. Differansen er imidlertid små og i noen grad kan en si differansene ligger innenfor kalkulasjonsusikkerheten.

Vesentlig kostnadsbesparelse kan, hvis andre forhold tillater det, oppnås ved

- å øke stigningen på tre-felts tunnel ytterligere
- redusere lengden på krabbefelt (lengden av tre-felts tunnel)

Kostnadstallene i Fig. 3.5A og 3.5B gjelder generelt for utvidelse fra to- til tre-felts tunnel.

Sandvika, 8. april 1986

A. Palmstrøm



S. Roald

VEDLEGG 1 - BERGSIKRINGS METODER

1-1 ARBEIDSSIKRING / PERMANENT SIKRING

Det finnes to typer sikring ved tunneldrift

- arbeidssikring
- permanent sikring

Arbeidssikring er den sikring som er nødvendig for å gi mannskap og utstyr tilfredsstillende sikkerhet i byggefasen. Permanent sikring er den sikring som er nødvendig for å oppnå tilfredsstillende sikkerhet under bruken av anlegget.

I vegtunneler er sikringsarbeidene tradisjonelt lagt opp slik at arbeidssikringen stort sett kan inngå som en del av den permanente sikringen. Ettersom kravet til sikkerhet i det permanente anlegg er større enn kravet til sikkerhet i anleggsfasen, vil den endelige permanente sikring være tilnærmet lik summen av arbeidssikring pluss den supplerende permanente sikringen.

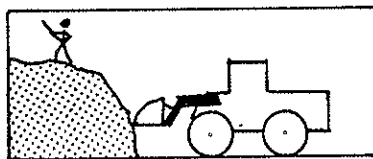
Ved sammenligning av sikringsmengdene for to-felts og tre-felts tunnel, vil den totale sikringen bli lagt til grunn.

1-2 SIKRINGSMETODER

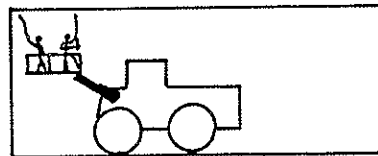
I det etterfølgende vil sikringsmetodene som er aktuelle for en vegtunnel bli gjennomgått. Metodene vil bli gjennomgått hver for seg, men svært ofte er en kombinasjon av metoder aktuelt.

Rensk utføres ved at løst fjell tas ned fra heng og vegger. Rensk kan utføres som spettersk, rensk med borryggen eller i sjeldne tilfeller med egen renskerigg. Den mest vanlige formen for rensk er spettersk. Den utføres ved at tunnelmannskapene systematisk går over heng og vegger med renskespett. En skiller gjerne mellom rensk fra røysa, der mannskapene benytter en nyskutt salve som arbeidsplattform eller rensk fra renskekorg der mannskapene står i en korg påmontert shovelskuffen. fig. 1-2.

FIG 1-2



RENSK FRA RØYSA



RENSK FRA KORG

I kontraktsammenheng skilles det mellom ordinær salverensk og ekstra rensk. Ved sammenligning av sikringskostnader for to- og trefelts tunnel vil det ikke bli skilt mellom salverensk og ekstra rensk etter som dette kun er en oppgjørsregel.

Bolter: I vegtunnelsammenheng er polyesterforankrede bolter den mest benyttede boltetypen. Boltene kan enten settes inn som arbeidssikring (på stuff) eller som permanent sikring (bak stuff). En skiller også mellom spredt og systematisk bolting (se fig. 1-3).

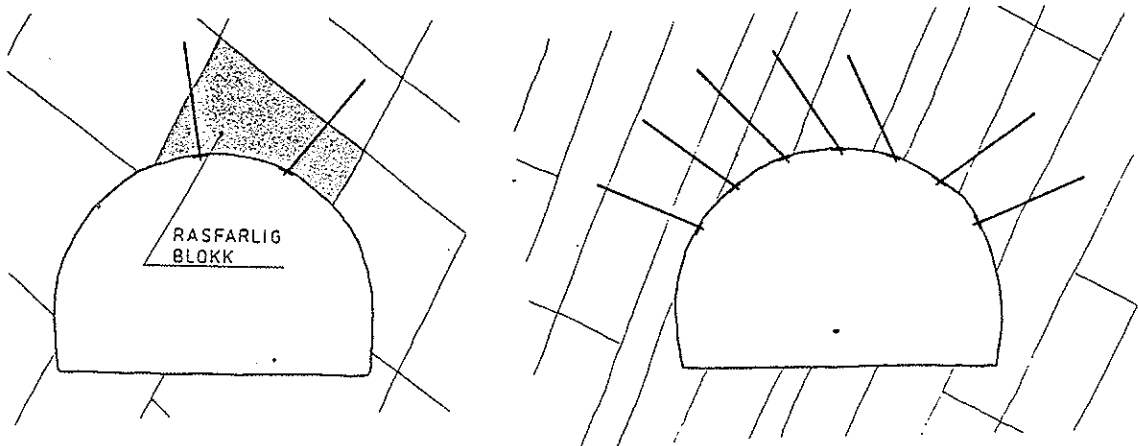


Fig. 1-3 Tilfeldig bolting

Systematisk bolting

Bolter benyttes enten for å henge opp enkeltstående løse blokker eller for å øke innspenningen til et større område (etablere buevirkning).

Generelt kan en si at boltelengden øker med økende spennvidde på tunnelen. I litteraturen er det gitt flere formler som angir sammenhengen mellom boltelengde og spennvidde. Eks.:

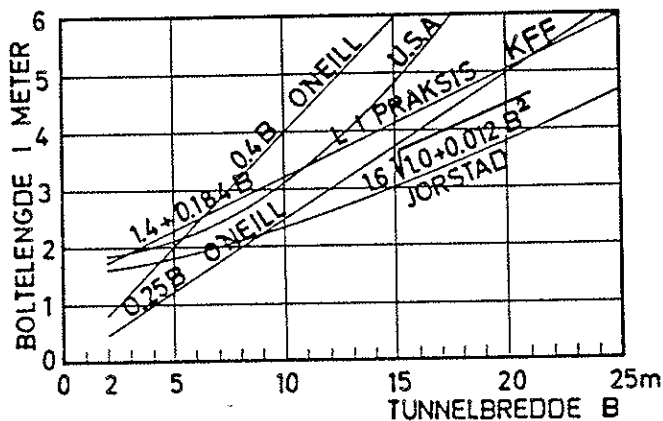


Fig. 1-5 Dimensjonering av bolter

I det etterfølgende (Kap. 4) vil det ved sammenligning mellom to- og tre-felts tunnel bli benyttet følgende formel

$$L = 1,40 + 0,184 \times B$$

Boltene som har vært omtalt til nå, er av permanent karakter. Dvs. at de har en funksjon i det permanente byggverk. Det finnes også en type bolting som kun har en funksjon som midlertidig driftsforsterkning. Dette er den såkalte forboltingen eller "spilingen". Til forbolting benyttes gjerne innstøpte bolter som settes tilnærmet horisontalt i hengen over salven før denne skytes, se fig. 1-4.

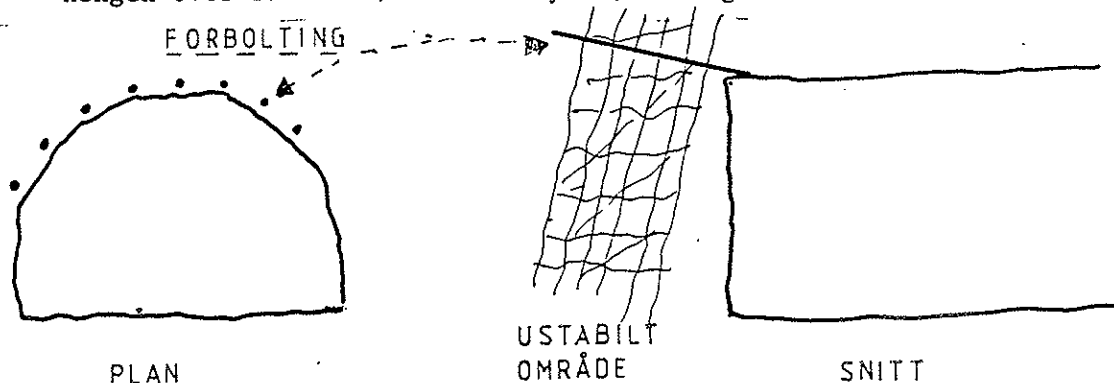


Fig. 1-4

Hensikten med forboltingen er å øke korttidsstabiliteten, (stand up time) slik at en får bedre tid til å utføre den mere permanente sikringen. I det etterfølgende (kap. 4) vil forbolting bli behandlet sammen med utstøping.

Bånd og nett har delvis den samme funksjon som tynne sprøytebetonglag i fjellsikringssammenheng, nemlig å ivareta detaljsikringen mellom innsatte bolter.

Ettersom prisen for bånd og nett ligger i samme størrelsesorden som prisen for tynne sprøytebetonglag (4 - 7 m), og at de funksjonsmessig er forholdsvis like, vil ikke bånd og nett bli behandlet spesielt i det etterfølgende (kap. 4).

Sprøytebetong: Det finnes flere typer sprøytebetong. En skiller mellom måten sprøytebetongen blir påført på

- tørrsprøyting
- våtsprøyting

I Norge i dag er våtsprøytingen så å si enerådende, og det er derfor kun våtsprøyting som vil bli omtalt her.

Våtsprøytingen kan deles opp i tre kategorier

- I - Uarmert
- II A - Nettarmert
- II B - Fiberarmert

Kategori II A blir utført ved at et armeringsnett blir lagt på fjellet eller evt. på et avjevningslag av sprøytebetong og deretter blir armeringsnettet sprøytet inn. (Tykkelsen blir vanligvis minst 15 cm). Armeringsnettet festes til fjellet med kortere eller lengre bolter.

Kategori II B blir utført ved at fiber (mest brukt i dag er EE fiber dosert med 75 kg fiber pr. m³ betong) blandes inn i betong før denne påføres fjellet.

Av disse kategoriene er I og II B mest aktuelle og vil derfor bli benyttet i det etterfølgende (kap. 4).

Betongutstøpning. Den mest benyttede betongutstøpning for fjellsikring (stabilisering av fjell) er uarmert kontaktstøp. Gjennomsnittlig tykkelse for betongstøpen avhenger av fjellkvaliteten (hvor mye som faller ut og hvor nøyaktig det bores). Det er vanlig å beskrive 30 cm gjennomsnittlig tykkelse for betongstøp. Regner en tykkelse ut fra medgåtte mengder, viser det seg imidlertid at gjennomsnittstykkelsen ligger mellom 0,5 - 1,0 m. Eksempel på betongutstøpning er vist på fig.

Der det er spesielt dårlig fjell, kan det være aktuelt å stabilisere fjellet midlertidig med bolter (spiling) eller med sprøytebetong. I det etterfølgende (kap. 4) vil denne midlertidige sikringen bli vurdert sammen med betongutstøpningen som utføres like etter.

I vannførende soner har det vært benyttet betongutstøpning med membran. Dette foregår ved at en først støper en avjevningsstøp (kontaktstøp). Deretter ligger en tettemembranen på denne avjevningsstøpen og foretar en etterstøp. I det etterfølgende vil ikke denne type støp bli vurdert, ettersom problemet med vannlekkasjer tenkes løst med skumplate injeksjon og med bortledning av vannet med PE skum/evt. hvelv. (Utstøpning med membran kan imidlertid være aktuelt hvis en frykter spesielt aggressivt miljø for betongen.)

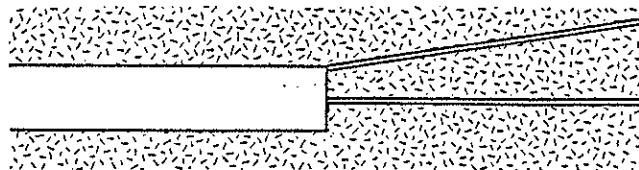
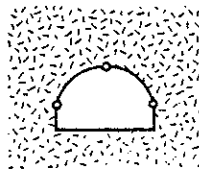
Injeksjon foretas for å tette fjellet. Det er flere typer injeksjonsmidler.

- Eks.: - sement
 - kjemiske injeksjonsmiddel
 - polyuretanskum

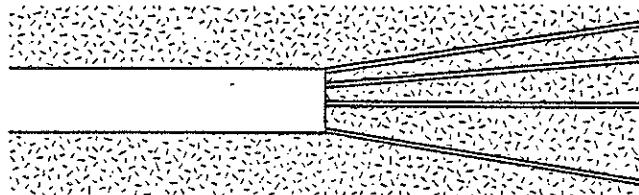
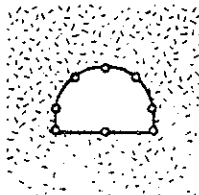
En skiller også mellom forinjeksjon og etterinjeksjon. Forinjeksjon vil si at fjellet blir injisert før en sprenger salven (foran stuff). Etterinjeksjon foretas ved at en injiserer området rund tunnelen etter at denne er sprengt. Den mest effektive formen for injeksjon er forinjeksjon.

Eksempel på forinjeksjon er vist på fig. 1-7.

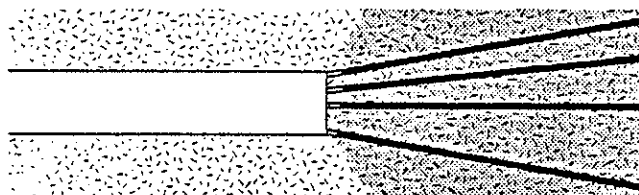
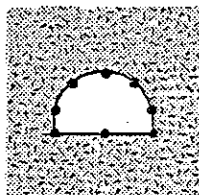
Fig. 3.1.6 Forinjeksjon



BORING AV
SONDERHULL

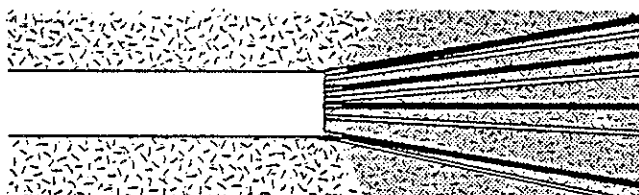
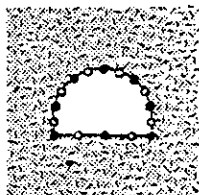


BORING AV
INJEKSJONS-
HULL

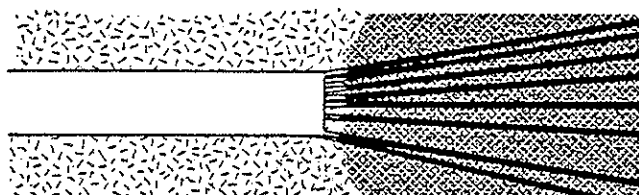
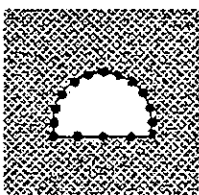


INJEKSJON AV
SONDER - OG
INJEKSJONS-
HULL

VED CEMENTINJEKSJON:
VENTETID FOR HERDING (1 SKIFT)



BORING AV
KONTROLLHULL



INJEKSJON AV
KONTROLLHULL

VED CEMENTINJEKSJON:
VENTETID FOR HERDING (1 SKIFT)

DRIVING AV
TUNNELEN

PRINSIPP FOR UTFØRELSE AV INJEKSJON

Vann og frostsikring. Det finnes flere typer vann og frostsikring

1. PE-skumplater
2. Dobbelt, isolert platehvelv i aluminium
3. Sandwich hvelv av glassfiberarmert plast
4. Enkle, usiolerte platehvelv

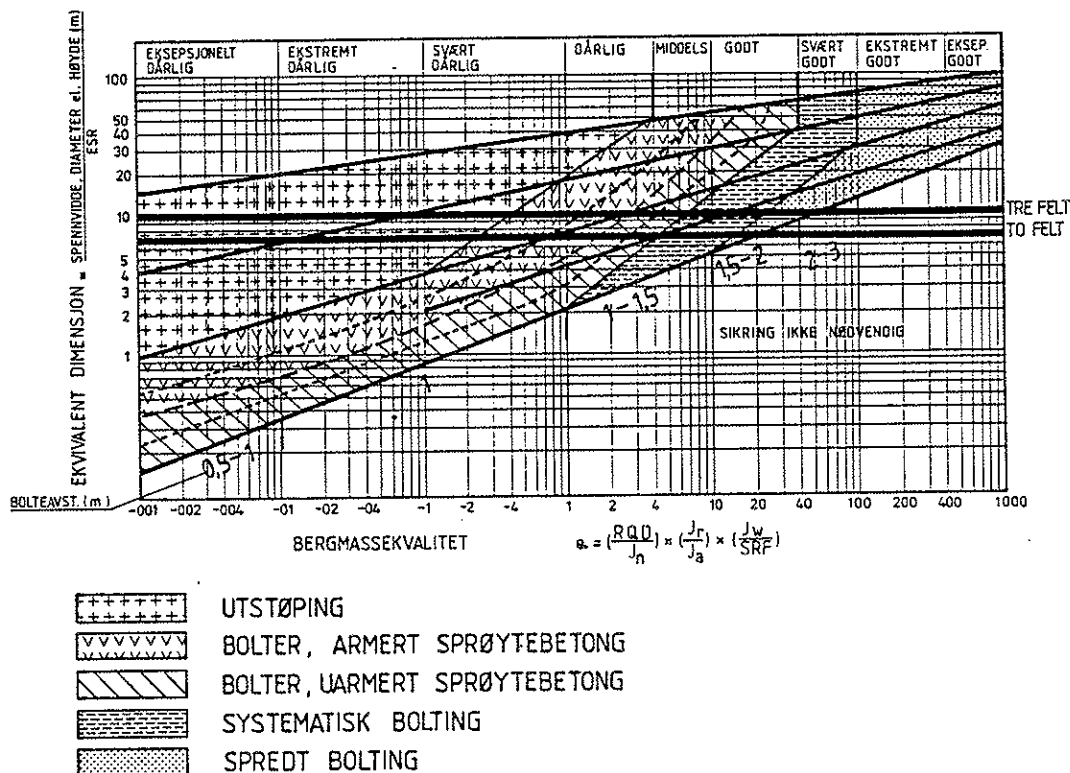
Type 2 og 3 er svært kostbare og anses for å være aktuelle kun ved høytrafikkerte vegtunneler der en har store frostmengder. Type 4 er uaktuell der det er fare for frost.

For undersjøiske tunneler ofte med relativt små frostmengder og liten trafikk synes derfor type 1 å være mest aktuell. I kostnadsregningen vil derfor type 1 bli behandlet.

VEDLEGG 2 - STABILITETSSIKRING - KOSTNADER

2-1 STABILITETSSIKRING - KOSTNADER

I det etterfølgende vil det bli beregnet sikringskostnader som funksjon av tverrsnitt og fjellkvalitet. Fjellkvalitet og sikringstype går frem av fig. 2.41



2-2 SIKRINGSKOSTNADER TO-FELTS TUNNEL 47 m²
(Kostnader kr pr. tunnelmeter)

For mengdeberegningen forutsettes at tunnelen har følgende mål:

- Areal heng^{x)} pr. salve à 4 m = 32 m²
- Areal vegger^{x)} pr. salve à 4 m = 25 m²
- Areal stuff = 47 m²

x) Det regnes med hengens planprojeksjon.

Det antas at rensketiden pr. salve fordeler seg slik:

Heng	60%
Vegger	10%
Stuff	30%

2-2.1 Q = 400 - 1000, Eksepsjonelt godt berg

Sikring: Forutsetter normal rensketid 10 min. pr. salve, ellers ingen sikring.

$$\text{Sikringskostnad: } \frac{500 \text{ kr/tv} \times 3 \text{ mann}}{4 \text{ m}} \times \frac{10 \text{ min.}}{60 \text{ min.}} = \underline{60 \text{ kr/m}}$$

2-2.2 Q = 100 - 400, Ekstremt godt

Sikring: Forutsetter normal rensketid 20 min., ellers ingen sikring.

$$\text{Sikringskostnad: } \frac{500 \text{ kr/tv} \times 3 \text{ mann}}{4 \text{ m}} \times \frac{20 \text{ min.}}{60 \text{ min.}} = \underline{125 \text{ kr/m}}$$

2-2.3 Q = 20 - 100, Godt, svært godt berg

Sikring: Forutsetter normal rensketid 30 min. samt spredt bolting, bolteavstand 5 m, boltelengde 2,4 m

$$\text{Renskekostnad: } \frac{500 \text{ kr/tv} \times 3 \text{ mann}}{4 \text{ m}} \times \frac{30 \text{ min.}}{60 \text{ min.}} = 190 \text{ kr/m}$$

$$\text{Boltekostnad: } \frac{32 \text{ m}^2 \times 250 \text{ kr/bolt}}{(5 \times 5) \text{ m}^2 \times 4 \text{ m}} = \underline{80 \text{ kr/m}}$$

$$\text{Sikringskostnad} \quad \underline{270 \text{ kr/m}}$$

2-2.4 Q = 15 - 20, godt berg

Sikring: Forutsetter normal rensketid 60 min.
Bolter, spredt, l = 2,4 m, 14 bolter/salvelengde
(Formelen for boltelengde er ikke benyttet for spredt bolting)

$$\text{Renskekostnad: } \frac{500 \text{ kr/tv} \times 3 \text{ mann}}{4 \text{ m}} \times \frac{60 \text{ min.}}{60 \text{ min.}} = 375 \text{ kr/m}$$

$$\text{Boltekostnad: } \frac{32 \text{ m}^2 \times 250 \text{ kr/bolt}}{14 \text{ m}^2 \times 4 \text{ m}} = \underline{890 \text{ kr/m}}$$

$$\text{Sikringskostnad} \quad \underline{1.265 \text{ kr/m}}$$

2-2.5 Q = 4 - 15, Middels, godt berg

Sikring: Forutsetter normal rensketid 90 min.
 Bolter, syst. bolteavstand 1,40 m
 Boltelengde: $L = 1,40 + 0,184 \times B = 2,97$, settes til 3,0 m

$$\text{Renskekostnad: } \frac{500 \text{ kr/tv} \times 3 \text{ mann}}{4 \text{ m}} \times \frac{90 \text{ min.}}{60 \text{ min.}} = 560 \text{ kr/m}$$

$$\text{Boltekostnad: } \frac{32 \text{ m}^2 \times 295 \text{ kr/bolt}}{(1,4)^2 \text{ m}^2 \times 4 \text{ m}} = 1.200 \text{ kr/m}$$

$$\text{Sikringskostnad} = 1.760 \text{ kr/m}$$

2-2.6 Q = 2,7 - 4. Dårlig berg

Sikring: Forutsetter normal rensketid 45 min.
 (Rensketiden er halvert pga. bruk av sprøytebetong.

- Bolter, syst, l = 3,0 m, 19 bolter/salvelengde
- Sprøytebetong, uarmert, tykkelse 0,05 m
 sprutes fra vederlag til vederlag

$$\text{Renskekostnad: } \frac{500 \text{ kr/tv} \times 3 \text{ mann}}{4 \text{ m}} \times \frac{45 \text{ min.}}{60 \text{ min.}} = 280 \text{ kr/m}$$

$$\text{Boltekostnad: } \frac{32 \text{ m}^2 \times 295 \text{ kr/bolt}}{19 \text{ m}^2 \times 4 \text{ m}} = 1.400 \text{ kr/m}$$

$$\text{Sprøytebetong: } 1900 \text{ kr/m}^3 \times 0,05 \times 10 \text{ m}^2/\text{m} = 950 \text{ kr/m}$$

$$\text{Sikringskostnad} = 2.630 \text{ kr/m}$$

2-2.7 Q = 1,7 - 2,7, Dårlig berg

Sikring: Forutsetter normal rensketid 60 min.
 Bolter, syst., l=3,0 m, bolteavst. 1,20 m
 Sprøytebetong, uarmert, tykkelse 0,10 m
 sprutes fra heng til midt på vegg.

$$\text{Renskekostnad: } \frac{500 \text{ kr/tv} \times 3 \text{ mann}}{4 \text{ m}} \times \frac{60 \text{ min.}}{60 \text{ min.}} = 375 \text{ kr/m}$$

$$\text{Boltekostnad: } \frac{32 \text{ m}^2 \times 295 \text{ kr/bolt}}{(1,2)^2 \text{ m}^2 \times 4 \text{ m}} = 1.640 \text{ kr/m}$$

$$\text{Sprøytebetong : } 1900 \text{ kr/m}^3 \times 0,10 \text{ m}^3/\text{m}^2 \times 14 \text{ m} = 2.660 \text{ kr/m}$$

$$\text{Sikringskostnad} = 4.675 \text{ kr/m}$$

2-2.8 Q = 0,8 - 1,7, Svært dårlig, dårlig berg

Sikring: Forutsetter normal rensketid 80 min.
 Bolter, syst., l = 3,0 m, bolteavst. 1,0 m
 Sprøytebetong, fiberarmert, tykkelse 0,10 m
 hengen sprutes til midt på vegg.

$$\text{Renskekostnad: } \frac{500 \text{ kr/tv} \times 3 \text{ mann}}{4 \text{ m}} \times \frac{80 \text{ min.}}{60 \text{ min.}} = 500 \text{ kr/m}$$

$$\text{Boltecostnad: } \frac{32 \text{ m}^2 \times 295 \text{ kr/bolt}}{(1,0)^2 \text{ m}^2 \times 4 \text{ m}} = 2.140 \text{ kr/m}$$

$$\text{Sprøytecostnad : } 2800 \text{ kr/m}^3 \times 0,10 \text{ m}^3/\text{m}^2 \times 14 \text{ m} = 3.920 \text{ kr/m}$$

$$\text{Sikringscostnad} = 6.560 \text{ kr/m}$$

2-2.9 Q = 0,25 - 0,8, Svært dårlig berg

Sikring: Forutsetter normal rensketid 90 min.
 Rensken begrenses av sprøytebetong liten økning i forhold til 2-2.8 (Q = 0,8 - 1,7)
 Bolter, syst., l=3,0 m, bolteavst. 1,0 m
 Sprøytebetong, fiberarmert, tykkelse 0,15 m
 heng og vegger sprøytes.

$$\text{Renskecostnad: } \frac{500 \text{ kr/tv} \times 3 \text{ mann}}{4 \text{ m}} \times \frac{90 \text{ min.}}{60 \text{ min.}} = 560 \text{ kr/m}$$

$$\text{Boltecostnad: } \frac{32 \text{ m}^2 \times 295 \text{ kr/bolt}}{1 \text{ m}^2 \times 4 \text{ m}} = 2.360 \text{ kr/m}$$

$$\text{Sprøytecostnad : } 2800 \text{ kr/m}^3 \times 0,15 \text{ m}^3/\text{m}^2 \times 16 \text{ m} = 6.720 \text{ kr/m}$$

$$\text{Sikringscostnad} = 9.640 \text{ kr/m}$$

2-2.11 Q = 0,1 - 0,25, Svært dårlig berg

Sikring: Forutsetter normal rensketid 60 min.
 Ingen bolting.
 Utstøping, tykkelse 50 cm (gj.sn))
 4 m seksjon

$$\text{Renskecostnad: } \frac{500 \text{ kr/tv} \times 3 \text{ mann}}{4 \text{ m}} \times \frac{60 \text{ min.}}{60 \text{ min.}} = 375 \text{ kr/m}$$

$$\text{Støpecostnad: } 15000 \text{ kr/m} + 700 \text{ kr} \times 0,2 \text{ m}^3/\text{m}^2 \times 17 \text{ m} = 17.380 \text{ kr/m}$$

$$\text{Sikringscostnad} = 17.755 \text{ kr/m}$$

2-2.11 Q = 0,01 - 0,1, Ekstremt dårlig berg

Sikring: Forutsetter rensketid 80 min. (4 m)

Bolting, forbolting, lengde 6 m avstand
c-c = 1,5 m i heng

Utstøping, seksjon 3 m

$$\text{Renskekostnad: } \frac{500 \text{ kr/tv} \times 3 \text{ mann}}{4 \text{ m}} \times \frac{80 \text{ min.}}{60 \text{ min.}} = 500 \text{ kr/m}$$

$$\text{Forbolting: } \frac{8 \text{ m}}{1,5 \text{ m}} \times 800 \text{ kr/bolt/3 m} = 1.420 \text{ kr/m}$$

$$\text{Støpekostnad: } 15000 \text{ kr/m} + 700 \text{ kr} \times 0,3 \text{ m}^3/\text{m}^2 \times 17 \text{ m} + 2000 \text{ kr/m (red. lengde)} = 20.570 \text{ kr/m}$$

$$\text{Tillegg spr. for red. salvelengde: } 47 \text{ m}^3 \times 30 \text{ kr/m}^3 = 1.410 \text{ kr/m}$$

$$\text{Bore- og lade- vansker: } \frac{500 \text{ kr/tv} \times 3 \text{ mann}}{4 \text{ m}} \times \frac{45 \text{ min.}}{60 \text{ min.}} = 280 \text{ kr/m}$$

$$\text{Sikringskostnad} = 24.180 \text{ kr/m}$$

2-2.12 Q = 0,001 - 0,01, Eksepsjonelt dårlig berg

Sikring: Forutsetter rensketid 120 min. (4 m)

Bolting, forbolting lengde 6 m c-c 1,0 m

Forforsterkning 10 cm sprøytebetong heng og halve stuff
(fiberarmert)

Utstøping, seksjon 2 m

$$\text{Renskekostnad: } \frac{500 \text{ kr/tv} \times 3 \text{ mann}}{4 \text{ m}} \times \frac{120 \text{ min.}}{60 \text{ min.}} = 750 \text{ kr/m}$$

$$\text{Boltekostnad: } 8 \times 800 \text{ kr/bolt/2 m} = 3.200 \text{ kr/m}$$

$$\text{Sprøytekostnad: } \frac{2800 \text{ kr/m} \times 17 \times 0,1 \text{ m}^3/\text{m}^2 + 47 \text{ m}^2 \times 0,5 \times 0,1 \times 2800 \text{ kr/m}^2}{2 \text{ m}} = 8.050 \text{ kr/m}$$

$$\text{Utstøping: } 15000 \text{ kr/m} + 700 \text{ kr/m}^3 \times 0,4 \text{ m}^3/\text{m}^2 \times 17 \text{ m} + 3000 \text{ kr/m (red. lengde)} = 22.760 \text{ kr/m}$$

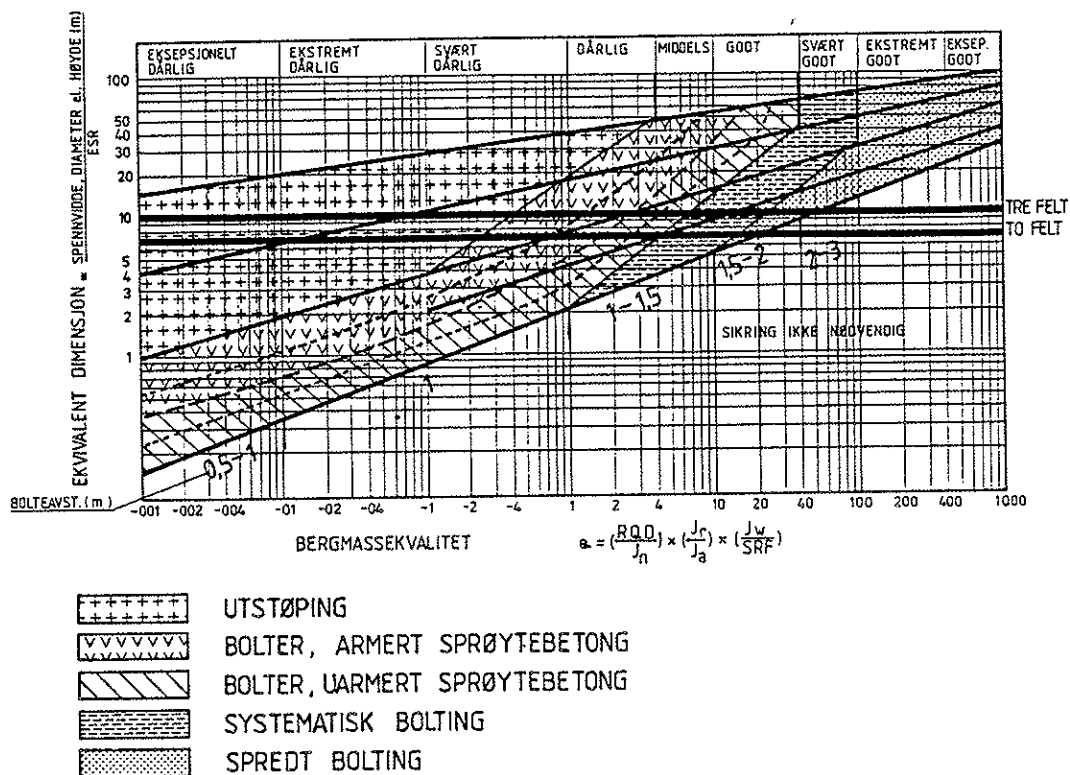
$$\text{Tillegg spr. for red. salvelengde: } 47 \text{ m}^2 \times 50 \text{ kr/m}^3 = 2.350 \text{ kr/m}$$

$$\text{Støp av såle: } 8 \text{ m}^2/\text{m} \times 0,3 \text{ m}^3/\text{m}^2 \times 900 \text{ m}^2 = 2.160 \text{ kr/m}$$

$$\text{Bore- og lade- vansker: } \frac{500 \text{ kr/tv} \times 3 \text{ mann}}{4 \text{ m}} \times \frac{60 \text{ min.}}{60 \text{ min.}} = 375 \text{ kr/m}$$

$$\text{Sikringskostnad} = 39.654 \text{ kr/m}$$

2-3

SIKRINGSKOSTNADER TRE-FELTS TUNNEL 68 m²

For mengdeberegningen forutsettes at tunnelen har følgende mål:

xx) Areal heng pr. salve à 4 m	=	45,6 m ²
Areal vegger pr. salve à 4 m	=	25 m ²
Areal stuff ^{x)}	=	68 m ²

x) Areal over kjørebanelnivå

xx) Planprojeksjon

Det antas at rensketiden pr. salve fordeler seg slik:

- Heng	60%
- Vegger	10%
- Stuff	30%

2-3.1 Q = 400 - 1000, Eksepsjonelt godt berg

$$\begin{array}{lcl}
 \text{Sikring: Rensk: Heng : } & \frac{45,6 \text{ m}^2}{32 \text{ m}^2} \times (10 \text{ min} \times 0,6) = & 9 \text{ min.} \\
 & \text{Vegger:} & 1 \text{ min.} \\
 & \text{Stuff :} & \underline{3 \text{ min.}} \\
 & & \underline{13 \text{ min.}}
 \end{array}$$

Ellers ingen sikring

$$\text{Sikringskostnad} \quad \frac{500 \text{ kr/tv} \times 3 \text{ mann}}{4 \text{ m}} \times \frac{13 \text{ min}}{60 \text{ min}} = \underline{80 \text{ kr/m}}$$

2-3.2 Q = 100 - 400, Ekstremt godt berg

$$\begin{array}{lcl}
 \text{Sikring: Rensketid Heng : } & \frac{45,6 \text{ m}^2}{32 \text{ m}^2} \times (20 \text{ min} \times 0,6) = & 17 \text{ min.} \\
 & \text{Vegger:} & 2 \text{ min.} \\
 & \text{Stuff :} & \underline{6 \text{ min.}} \\
 & & \underline{25 \text{ min.}}
 \end{array}$$

Ellers ingen sikring

$$\text{Sikringskostnad} \quad \frac{500 \text{ kr/tv} \times 3 \text{ mann}}{4 \text{ m}} \times \frac{25 \text{ min}}{60 \text{ min}} = \underline{160 \text{ kr/m}}$$

2-3.3 Q = 60 - 100, Svært godt berg

$$\begin{array}{lcl}
 \text{Sikring: Rensk: Heng : } & \frac{45,6 \text{ m}^2}{32 \text{ m}^2} \times (30 \text{ min} \times 0,6) = & 26 \text{ min.} \\
 & \text{Vegger:} & 3 \text{ min.} \\
 & \text{Stuff :} & \underline{8 \text{ min.}} \\
 & & \underline{37 \text{ min.}}
 \end{array}$$

Spredt bolting, 3 bolter/salvelengde, boltelengde 2,4 m

$$\text{Renskekostnad:} \quad \frac{500 \text{ kr/tv} \times 3 \text{ mann}}{4 \text{ m}} \times \frac{37 \text{ min}}{60 \text{ min}} = 230 \text{ kr/m}$$

$$\text{Bolte kostnad:} \quad \frac{45,6 \text{ m}^2 \times 250 \text{ kr/bolt}}{3 \text{ m}^2 \quad 4 \text{ m}} = \underline{180 \text{ kr/m}}$$

$$\text{Sikringskostnad} = \underline{410 \text{ kr/m}}$$

2-3.4 Q = 25 - 60, Godt, Svært godt berg

$$\begin{aligned} \text{Sikring: Rensk: Heng: } \frac{45,6 \text{ m}^2}{32 \text{ m}^2} \times \left(\frac{30 + 60}{2} \right) \text{ min.} \times 0,6 &= 38 \text{ min.} \\ &4 \text{ min.} \\ &\underline{12 \text{ min.}} \\ &\underline{54 \text{ min.}} \end{aligned}$$

Bolting, spredt 10 bolter/salvelengde,
boltelengde 2,4 m

$$\begin{aligned} \text{Renskekostnad: } \frac{500 \text{ kr/tv} \times 3 \text{ mann}}{4 \text{ m}} \times \frac{54 \text{ min}}{60 \text{ min}} &= 340 \text{ kr/m} \\ \text{Boltekostnad: } \frac{45,6 \text{ m}^2 \times 250 \text{ kr/bolt}}{10 \text{ m}^2 \quad 4 \text{ m}} &= \underline{650 \text{ kr/m}} \\ \underline{\text{Sikringskostnad}} &= \underline{990 \text{ kr/m}} \end{aligned}$$

2-3.5 Q = 6 - 25, Middels, godt

$$\begin{aligned} \text{Sikring: Rensk: Heng: } \frac{45,6 \text{ m}^2}{32 \text{ m}^2} \times \left(\frac{60 + 90}{2} \right) \text{ min} \times 0,6 &= 65 \text{ min.} \\ \text{Vegger:} &7 \text{ min.} \\ \text{Stuff:} &\underline{20 \text{ min.}} \\ &\underline{92 \text{ min.}} \end{aligned}$$

Bolting, syst., boltelengde L = 1,40 x 0,184 x B
= 3,5 m, bolteavstand 1,5 m

$$\begin{aligned} \text{Renskekostnad: } \frac{500 \text{ kr/tv} \times 3 \text{ mann}}{4 \text{ m}} \times \frac{92 \text{ min}}{60 \text{ min}} &= 575 \text{ kr/m} \\ \text{Boltekostnad: } \frac{45,6 \text{ m}^2 \times 340 \text{ kr/bolt}}{1,5^2 \text{ m}^2 \quad 4 \text{ m}} &= \underline{1.722 \text{ kr/m}} \\ \underline{\text{Sikringskostnad}} &= \underline{2.300 \text{ kr/m}} \end{aligned}$$

2-3.6 Q = 4 - 6, Middels

$$\begin{aligned}
 \text{Sikring: Rensk: Heng: } \frac{45,6 \text{ m}^2}{32 \text{ m}^2} \times 45 \times 0,6 &= 39 \text{ min.} \\
 \text{Vegger} &= 4 \text{ min.} \\
 \text{Stuff} &= 12 \text{ min.} \\
 &\underline{55 \text{ min.}} \times 0,4 = 45
 \end{aligned}$$

Bolter: Boltelengde 3,5 m, avstand 1,4 m

Sprøytebetong, uarmert, tykkelse 0,05 m, sprutes fra
fra vederlag til vederlag (14 m)

$$\begin{aligned}
 \text{Renskekostnad: } \frac{500 \text{ kr/tv} \times 3 \text{ mann}}{4 \text{ m}} \times \frac{45 \text{ min}}{60 \text{ min}} &= 280 \text{ kr/m} \\
 \text{Boltecostnad: } \frac{45,6 \text{ m}^2 \times 340 \text{ kr/bolt}}{1,4^2 \text{ m}^2 \times 4 \text{ m}} &= 1.980 \text{ kr/m} \\
 \text{Sprøytecostnad: } 1900 \text{ kr/m}^3 \times 0,05 \text{ m}^3/\text{m}^2 \times 14 \text{ m} &= 1.330 \text{ kr/m} \\
 \text{Sikringskostnad} &\underline{3.590 \text{ kr/m}}
 \end{aligned}$$

2-3.7 Q = 2,7 - 4, Dårlig

Sikring: Rensk: 55 min.

Bolter, systematisk lengde 3,5 m
bolteavstand 1,25 mSprøytebetong, uarmert, tykkelse 0,10 m
sprutes i heng til midt på vegg

$$\begin{aligned}
 \text{Renskecostnad: } \frac{500 \text{ kr/tv} \times 3 \text{ mann}}{4 \text{ m}} \times \frac{55 \text{ min}}{60 \text{ min}} &= 350 \text{ kr/m} \\
 \text{Boltecostnad: } \frac{45,6 \text{ m}^2 \times 340 \text{ kr/bolt}}{1,25^2 \text{ m}^2 \times 4 \text{ m}} &= 2.530 \text{ kr/m} \\
 \text{Sprøytecostnad: } 1900 \text{ kr/m}^3 \times 18 \text{ m} \times 0,1 \text{ m}^3/\text{m} &= 3.420 \text{ kr/m} \\
 \text{Sikringskostnad} &\underline{6.300 \text{ kr/m}}
 \end{aligned}$$

2-3.8 Q = 1,2 - 2,7, Dårlig

$$\begin{aligned}
 \text{Sikring: Rensk: Heng: } \frac{45,6 \text{ m}^2}{32 \text{ m}^2} \times 60 \text{ min} \times 0,6 &= 51 \text{ min.} \\
 \text{Vegger} &= 5 \text{ min.} \\
 \text{Stuff} &= \underline{15 \text{ min.}} \\
 &\underline{71 \text{ min.}}
 \end{aligned}$$

Bolter: Systematisk, boltelengde 3,5 m
Bolteavstand 1,1 m.

Sprøytebetong, fiberarmert, tykkelse 10 cm, sprutes i
heng til midt på vegg.

$$\begin{aligned}
 \text{Renskekostnad: } \frac{500 \text{ kr/tv} \times 3 \text{ mann}}{4 \text{ m}} \times \frac{71 \text{ min}}{60 \text{ min}} &= 440 \text{ kr/m} \\
 \text{Boltekostnad: } \frac{45,6 \text{ m}^2 \times 340 \text{ kr/bolt}}{1,1^2 \text{ m}^2 \times 4 \text{ m}} &= 3.200 \text{ kr/m} \\
 \text{Sprøytekostnad: } 2800 \text{ kr/m}^3 \times 0,1 \text{ m}^3/\text{m}^2 \times 18 \text{ m} &= \underline{5.040 \text{ kr/m}} \\
 \text{Sikringskostnad} &\underline{8.680 \text{ kr/m}}
 \end{aligned}$$

2-3.9 Q = 0,4 - 1,2, Svært dårlig (Dårlig)

Sikring: Rensk: 90 min.

Bolter, systematisk lengde 3,5 m
bolteavstand 1,0 m

Sprøytebetong, fiberarmert, tykkelse 0,15 m
sprutes i heng og på vegger

$$\begin{aligned}
 \text{Renskekostnad: } \frac{500 \text{ kr/tv} \times 3 \text{ mann}}{4 \text{ m}} \times \frac{90 \text{ min}}{60 \text{ min}} &= 650 \text{ kr/m} \\
 \text{Boltekostnad: } \frac{45,6 \text{ m}^2 \times 340 \text{ kr/bolt}}{1,2^2 \text{ m}^2 \times 4 \text{ m}} &= 3.880 \text{ kr/m} \\
 \text{Sprøytekostnad: } 2800 \text{ kr/m}^3 \times 20 \text{ m} \times 0,15 \text{ m}^3/\text{m}^2 &= \underline{4.800 \text{ kr/m}} \\
 \text{Sikringskostnad} &\underline{12.800 \text{ kr/m}}
 \end{aligned}$$

2-3.10 Q = 0,1 - 0,4, Svært dårlig

$$\begin{aligned}
 \text{Sikring: Rensk: Heng: } \frac{45,6 \text{ m}^2}{32 \text{ m}^2} \times 90 \text{ min} \times 0,6 &= 77 \text{ min.} \\
 \text{Vegger} &= 8 \text{ min.} \\
 \text{Stuff} &= 23 \text{ min.} \\
 &= \underline{108 \text{ min.}}
 \end{aligned}$$

Ingen bolting

Betongutstøpning 4 m seksjon

$$\begin{aligned}
 \text{Renskekostnad: } \frac{500 \text{ kr/tv} \times 3 \text{ mann}}{4 \text{ m}} \times \frac{108 \text{ min}}{60 \text{ min}} &= 675 \text{ kr/m} \\
 \text{Sprøytekostnad: } 17500 \text{ kr/m}^3 \times 700 \text{ kr/m}^3 \times 0,2 \times 2 &= 20.440 \text{ kr/m} \\
 \text{Sikringskostnad} &= \underline{21.115 \text{ kr/m}}
 \end{aligned}$$

2-3.11 Q = 0,01 - 0,1, Ekstremt dårlig

$$\begin{aligned}
 \text{Sikring: Rensk: Heng: } \frac{45,6 \text{ m}^2}{32 \text{ m}^2} \times 80 \text{ min} \times 0,6 &= 68 \text{ min. (4 m)} \\
 \text{Vegger} &= 7 \text{ min.} \\
 \text{Stuff} &= 21 \text{ min.} \\
 &= \underline{96 \text{ min.}}
 \end{aligned}$$

Bolting, forbolting lengde 6 m avstand
c-c i heng 1,5 m

Utstøpning seksjon 3 m

$$\begin{aligned}
 \text{Renskekostnad: } \frac{500 \text{ kr/tv} \times 3 \text{ mann}}{4 \text{ m}} \times \frac{96 \text{ min}}{60 \text{ min}} &= 600 \text{ kr/m} \\
 \text{Forbolting Renskekostnad: } \frac{11,4 \times 800 \text{ kr/bolt}}{1,5 \times 3 \text{ m}} &= 2.030 \text{ kr/m} \\
 \text{Utstøpning : } 17500 \text{ kr/m}^3 \times 700 \text{ kr/m}^3 \times 0,3 \text{ m}^3/\text{mx}20\text{m} &= 24.200 \text{ kr/m} \\
 \quad + 2500 \text{ kr (red. lengde)} & \\
 \text{Tillegg for red. salve } 68 \text{ m}^2 \times 25 \text{ kr/m}^3 &= 1.700 \text{ kr/m} \\
 \text{Bore- og lade- } \frac{500 \text{ kr/tv} \times 3 \text{ mann}}{4 \text{ m}} \times \frac{60 \text{ min}}{60 \text{ min}} &= 375 \text{ kr/m} \\
 \text{vansker} & \\
 \text{Sikringskostnad} &= \underline{28.905 \text{ kr/m}}
 \end{aligned}$$

2-3.12 Q = 0,001 - 0,01, Eksepsjonelt dårlig

$$\begin{aligned}
 \text{Sikring: Rensk: Heng: } \frac{45,6 \text{ m}^2}{32 \text{ m}^2} \times 120 \text{ min} \times 0,6 &= 103 \text{ min.} \\
 \text{Vegger} &= 10 \text{ min.} \\
 \text{Stuff} &= 30 \text{ min.} \\
 &= \underline{143 \text{ min.}}
 \end{aligned}$$

Bolting, forbolting lengde 6 m c-c 1,0 m

Forforsterkning sprøytebetong, 10 cm,
fiberbetong heng og halve stuff

Utstøpning, seksjon 2 m

$$\text{Renskekostnad: } \frac{500 \text{ kr/tv} \times 3 \text{ mann}}{4 \text{ m}} \times \frac{143 \text{ min}}{60 \text{ min}} = 900 \text{ kr/m}$$

$$\text{Boltecostnad: } \frac{11,4 \times 800 \text{ kr/bolt}}{3 \text{ m}} = 3.040 \text{ kr/m}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Sprøytecostnad} & \frac{2800 \text{ kr/m}^3 \times 21 \text{ m} \times 0,1 \text{ m}^3/\text{m}}{2} \\
 + & \frac{68 \text{ m}^2 \times 0,5 \times 0,1 \text{ m}^3/\text{m} \times 2800 \text{ kr/m}^3}{2} = 8.260 \text{ kr/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Utstøpning : } 17500 \text{ kr/m} + 700 \text{ kr/m}^3 \times 0,4 \times 21 \\
 + 3500 \text{ kr/m (red. lengde)} &= 26.880 \text{ kr/m}
 \end{aligned}$$

$$\text{Tillegg for red. salve } 68 \text{ m}^2 \times 45 \text{ kr/m}^3 = 3.060 \text{ kr/m}$$

$$\text{Støp av såle } 11,4 \text{ m} \times 0,3 \text{ m}^3/\text{m}^2 \times 900 \text{ kr/m}^3 = 3.080 \text{ kr/m}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Bore- og lade-} & \frac{500 \text{ kr/tv} \times 3 \text{ mann}}{4 \text{ m}} \times \frac{120 \text{ min}}{60 \text{ min}} \\
 \text{vansker} &= 750 \text{ kr/m}
 \end{aligned}$$

$$\underline{\text{Sikringskostnad}} = \underline{45.970 \text{ kr/m}}$$

VEDLEGG 3 ANDRE BERGAVHENGIGE KOSTNADER

3 - 1 GENERELT

I det etterfølgende vil det bli beregnet kostnader for fjellavhengige arbeider som ikke lar seg entydig knytte til klassifiseringen i Q-metoden.

3 - 2 SONDERBORING

Sonderboring er en del av de geologiske undersøkelser under tunneldriften. Av sonderboringer finnes det to typer

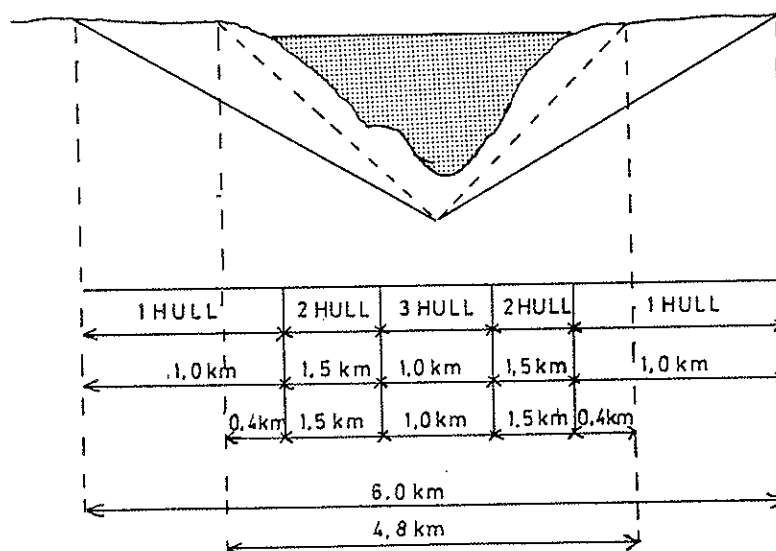
- slagsonderboring
- kjerneboring

Slagsonderboring blir utført med borriggen fra stuff. Borhullenes lengde varierer. De lengste hullene er vanligvis ca. 30 m. Det benyttes vanligvis en overlapp to to salvelengder.

Kjerneboring blir utført med eget kjerneboringsutstyr. Kjerneboringen utføres gjerne i helger eller ved annen stopp i tunneldriften, eller den kan gå parallelt med tunneldriften fra egen kjerneboringsnisje i tunnelveggen.

Ved sammenligning av to- og tre-felts tunnel forutsettes at behovet for sonderboring ikke vil øke ved en såvidt liten tverrsnittsøkning.

Beregningseksempel: (Rimeligst tenkelig utførelse)



Pga. overlapp (2 selvelengder) blir sonderlengdene pr. m tunnel

1 hull =	1,25 m sonderhull/m tunnel	(30 m hull)
2 hull =	2,7 m sonderhull/m tunnel	(24 m hull)
3 hull =	4,2 m sonderhull/m tunnel	(20 m hull)

Kortere lengde og flere hull i "dårlig fjell".

Kostnader pr. m 80 o/oo, to-felts tunnel

1 hull	$\frac{2000 \text{ m} \times 1,25 \text{ hull/m} \times 80 \text{ kr/m}}{6000}$	=	33 kr/m
2 hull	$\frac{3000 \text{ m} \times 2,7 \text{ hull/m} \times 75 \text{ kr/m}}{6000}$	=	101 kr/m
3 hull	$\frac{1000 \text{ m} \times 24,2 \text{ hull/m} \times 70 \text{ kr/m}}{6000}$	=	49 kr/m

Kostnader for sonderboring pr. m 183 kr/m

Kostnader pr. m 100 o/oo, tre-felts tunnel

1 hull	$\frac{0,8 \text{ km} \times 1,25 \text{ hull/m} \times 80 \text{ kr/m}}{4,8 \text{ km}}$	=	17 kr/m
2 hull	$\frac{3,0 \text{ km} \times 1,25 \text{ sonderhull/m} \times 75 \text{ kr/m}}{4,8 \text{ km}}$	=	126 kr/m
3 hull	$\frac{1 \text{ km} \times 2,2 \text{ sonderhull/m} \times 70 \text{ kr/m}}{4,8 \text{ km}}$	=	61 kr/m

Kostnader for sonderboring pr. m tunnel 204 kr/m

Som det fremgår av regneeksemplet er det små kostnader og kostnadsforskjeller ved sonderboring. I regneeksemplet er det regnet forholdsvis små mengder sonderboring. En realistisk modell kan også være å benytte 3 hull gjennom hele tunnelen for begge alternativene.

Kostnadene vil i så fall være:

Stigning 1:12,5 to-felts tunnel

Kostnad :	4,2 m sonderhull pr/m x 70 kr/m	=	294 kr/m
	Kjerneboring 600 kr/m x 10% av tunnel=		<u>60 kr/m</u>
			<u>354 kr/m</u>

Stigning 1:10 tre-felts tunnel

Kostnad :	4,2 m sonderhull pr/m x 70 kr/m	=	294 kr/m
	Kjerneboring 600 kr/m x 10% av tunnel=		<u>60 kr/m</u>
			<u>354 kr/m</u>

3 - 3 INJEKSJON

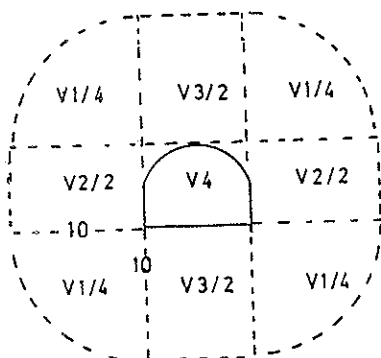
Det antas at hovedmengden av injeksjon vil bli utført som forinjeksjon.

Det gjøres følgende forutsetninger ved sammenligning av to- og trefelts tunnel.

- Injisert volum ligger 10 m utenfor tunnelkonturen rundt hele tverrsnittet. Dette kriterium benyttes til å bestemme injeksjonsmengden.
- Herdetiden er lik for to- og trefelts tunnel.
- Antall borhull er proporsjonalt med injisert fjellvolum

To-felts tunnel:

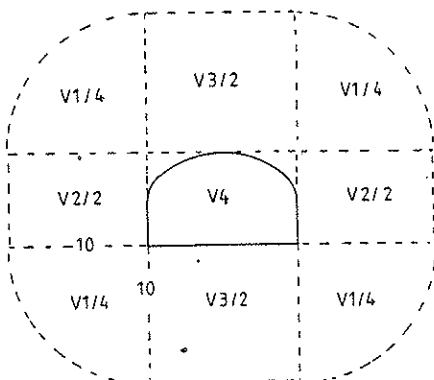
Injeksjonstverrsnitt



Volum:

$$\begin{aligned}
 V_1 &= 10^2 \times 3,14 = 315 \text{ m}^2 \\
 V_1 &= 10 \times 6 \times 2 = 120 \text{ m}^2 \\
 V_2 &= 10 \times 8 \times 2 = 160 \text{ m}^2 \\
 V_3 &= 8 \times 6 = 50 \text{ m}^2 \\
 V_4 &= 8 \times 6 = 50 \text{ m}^2 \\
 V_{inj} &= 650 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

Tre-felts tunnel:



Volum:

$$\begin{aligned}
 V_1 &= 10^2 \times 3,14 = 315 \text{ m}^2 \\
 V_1 &= 10 \times 7 \times 2 = 140 \text{ m}^2 \\
 V_2 &= 10 \times 11,5 \times 2 = 230 \text{ m}^2 \\
 V_3 &= 11,5 \times 7 = 80 \text{ m}^2 \\
 V_4 &= 11,5 \times 7 = 80 \text{ m}^2 \\
 V_{inj} &= 765 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

Det forutsettes at det bores injeksjonshull med lengde 20 m med 2 salver overlapp.

Det bores injeksjonshull rundt hele konturen med avstand c-c = 3,0 m, helning 1:4

$$\text{Antall hull } 47 \text{ m}^2 : \text{Omkrets}/3 = 25/2 = \underline{13 \text{ hull}}$$

$$\text{Antall hull } 68 \text{ m}^2 : \text{Omkrets}/3 = 31/2 = \underline{16 \text{ hull}}$$

Beregningseksempel 20 m injeksjon lengde, To-felts tunnel

I = Injeksjonshull

K = Kontrollhull

I 20 m x 13 hull x 50 kr/m
 Kostnader boring: K 20 m x 5 hull x 50 kr/m = 18.000 kr/omg

Pakningsplassering: 300 kr/stk x 18 stk = 5.400 kr/omg

Medgått masse : Cemsil : 2000 kg x 8 kr/kg = 18.000 kr/omg
 Rapid : 8000 kg x 4/kr/kg = 32.000 kr/omg

Hefttid - injeksjon 5000/1000 kg/time = 5 timer
 - herdetid 1 time

6 timer

Heftkostnad 6 timer x 1900 kr/time = 11.400 kr/omg

84.800 kr/omg

Kostnad kr/m $\frac{84.800 \text{ kr/omg}}{20 \text{ m/omg}}$ = 4.240 kr/meter/omg
 =====

Ved systematisk forinjeksjon multipliseres kr 4.240 med faktor 2,5 pga. overlapp mellom injeksjonsskjermene.

Kostnader injeksjon : 4240 kr/m/omg x 2,5 = 10.000 kr/m

Beregningseksempel 20 m injeksjonslengde, Tre-felts tunnel 68 m²

Kostnader boring: 20 m x 10 hull x 50 kr/m = 22.000 kr/omg

20 m x 6 hull x 50 kr/m
 Pakningsplassering 300 kr/stk. x 22 stk. = 6.600 kr/omg

Medgått masse : Cemsil: 2000 kg x 7 kr/kg x $\frac{765 \text{ m}^2}{650 \text{ m}^2}$ = 18.830 kr/omg

Rapid: 8000 kg x 4 kr/kg x $\frac{765 \text{ m}^2}{650 \text{ m}^2}$ = 37.660 kr/omg

Hefttid ved

injeksjon: 1000 kg/time x 5000 x 765/650t = 6 timer
 + herdetid = 1 time

Injeksjonstid 7 timer

Heftkostnad: 1900 kr/time x 7 timer/omg = 13.300 kr/omg

98.390 kr/omg

Kostnad kr/m/omg $\frac{98.390 \text{ kr/omg}}{20 \text{ m/omg}}$ = 4.920 kr/m

Ved systematisk forinjeksjon multipliseres
 dette tallet med 2,5 pga. overlapp mellom
 injeksjonsskjermene: 4.920 x 2,5

Kostnad : 4920 kr/m/omg x 2,5 = 12.300 kr/m
 =====

Kommentar: Regneeksemplene viser en økning av injeksjonskostnadene med knapt 20% ved utvidelse av tverrsnittet fra 47 m² til 68 m². Forskjellen antas å avta med økende permeabilitet av bergmassene.

I regneeksemplet er det tatt utgangspunkt i injeksjon med akselerert herdning. Herdetiden er derfor kort. Ved denne type injeksjon er målsetting å redusere lekkasjene, ikke å stoppe dem helt.

I kostnadssammenligningen vil en bruke injisert tunnellengde = 10% for både to- og tre-felts tunnel.

3 - 4 VANN OG FROSTSIKRING

Det forutsettes at en kan benytte PE skum til vann og frostsikring overalt der slik sikring er påkrevd.

Kostnad pr. tofelts tunnel 47 m²

$$= 230 \text{ kr/m}^2 \times 182 = 4.140 \text{ kr/m}$$

Kostnad pr. m trefelts tunnel 68 m²

$$= 230 \text{ kr/m}^2 \times 21 \text{ m}^2 = 4.830 \text{ kr/m}$$

Gj.sn. pr. meter tunnel	10%	20%	50%	100%
To-felts	414	828	2.070	4.140
Tre-felts	483	966	2.415	4.830

I kostnadssammenligningen vil 50% dekning med vann- og frostsikring bli lagt til grunn.

3 - 5 SPRENGNING - UTLASTING - TRANSPORT

I sprengningsprisen blir medregnet

- sprengning
- utlasting, transport
- ventilasjon under tunneldriften
- driftsrensk 0,5 timer i gjennomsnitt pr. salve
- vannlensing inntil 500 l/min/stuff

Det forutsettes:

- bergmassene har middels sprengbarhet
- Vannlekkasjene (både før og etter injeksjon er 15 %¹⁾ større for trefelts enn for tofelts tunnel.

- 1) $(\text{Omkrets tre-felt} / \text{Omkrets to-felt} = 31/25 = 1,24$
 redusert skjønnsmessig med fakt. 0,6 = > 1,15)

Kostnadene som blir benyttet, er basert på priser i anbud og på opplysninger fra entreprenører.

Kostnader sprengning, to-felts tunnel, 47 m², 80 o/oo
(tunnellengde 6,0 km)

- Spr., driftsrensk, ventilasjon		
47 m ³ /m x 105 kr/m ³	=	4.935 kr/m
- Lasting, transport 47 m ³ /m x 60 kr/m ³	=	2.820 kr/m
- Kontursprengning	=	300 kr/m
- Grøft	=	<u>600 kr/m</u>
<u>Spregningskostnad</u>		<u>8.655 kr/m</u>

Kostnader sprengning, tre-felts tunnel 68 m², 100 o/oo
(tunnellengde 5.000 m)

- Spr., driftsrensk, ventilasjon		
68 m ³ /m x 77 kr/m ³	=	5.236 kr/m
- Lasting, transport 68 m ³ /m x 60 ^{*)} kr/m ³	=	4.080 kr/m
*) (Samme pris pga samme løftehøyde)		
- Kontursprengning	=	370 kr/m
- Grøft	=	<u>600 kr/m</u>
<u>Spregningskostnad</u>		<u>10.286 kr/m</u>

Kommentar: God sprengbarhet vil gi et fradrag i den benyttede sprengningsprisen på 5 - 10%, dårlig sprengbarhet vil gi 5-10% tillegg.

3 - 6 VANNLENSING, KOSTNADER

Ved sammenligning av lensekostnader gjøres følgende forutsetninger:

- Der en har vannlekkasjer, er disse 15% større for tre-felts tunnel enn for to-felts tunnel pga. tverrsnittet.
- To-felts tunnel har $12,5/10 = 25\%$ lengre tunnel. Tre-felts tunnel (1:10) har generelt mindre overdekning.

Samlet vurdering av disse to forutsetningene antas her å gi en reduksjon av den totale lekkasjemengden for tre-felts tunnel i forhold til to-felts tunnel med 5%.

Forskjellen i total vannmengde som lekker inn i tunnelen blir da $1,15/1,05 = 1,10 = 10\%$ større vannmengde i tre-felts tunnel enn to-felts (1:10).

Kostnader vannlensing, to-felts tunnel 1:12,5

- Forutsetninger:
- installert kapasitet 2.000 l/s
 - løftehøyde 250 m
 - lengde synk: 3.000
 - energikostnad: 1.000 l/s,
 - løftehøyde 170 m
 - gj.sn. indrift pr. uke 35 m*

*) Benytter gjennomsnittstall for å slippe å regne lensing inn i sikringskostnad

Etableringskostnad pumpestasjon	:	300.000 kr
Rørledning 40 kr/m x 3000 m	:	<u>120.000 kr</u>
		<u>420.000 kr</u>

Energi	170 N x 170 m x 0,3 kr/kWh	
pr. uke	0,65 (virkn.grad) x 1000 (K)	13 kr/time

Vedlikehold/rep.	$\frac{6 \text{ timer/uke} \times 2 \text{ mann} \times 200 \text{ kr/t}}{24 \times 7}$	14 kr/time
+ deler		<u>5 kr/time</u>

Driftskostnader		<u>32 kr/time</u>
-----------------	--	-------------------

Kostnader pr. m:

Etabl.:	$\frac{420.000}{3.000}$	=	140 kr/m
---------	-------------------------	---	----------

Drift :	$\frac{32 \text{ kr/time} \times 24 \times 7}{35 \text{ m}}$	=	<u>153 kr/m</u>
---------	--	---	-----------------

<u>Lensekostnader pr. m tunnel</u>		<u>293 kr/m</u>
------------------------------------	--	-----------------

Kostnader vannlensing, tre-felts tunnel 1:10

Forutsetninger: Installert kapasitet 2.200 l/s,
 lengde synk: 2.400 m
 - energikostnad beregnes ut fra løftehøyde
 170 m, gj.sn. kapasitet 1.100 l/s
 - gj.sn. inndrift : 30 m/uke

Etableringskostnad pumpestasjon : 320.000 kr
 Rørledning 40 kr/m x 240 : 96.000 kr

416.000 kr

Energikostnad: $\frac{184 \text{ N} \times 170 \text{ m} \times 0,3 \text{ kr/kWh}}{0,65 \times 1000} = 14,5 \text{ kr/time}$

Vedlikehold rep.: 14 x 1,1 = 15,5 kr/time
 + deler = 6 kr/time

Driftskostnader 36,0 kr/time

Kostnader pr. m

Etabl. : $\frac{416.000}{2.400} = 170 \text{ kr/m}$

Drift : $\frac{26 \text{ kr/time} \times 24 \text{ timer} \times 7 \text{ dager}}{30 \text{ m/uke}} = \underline{200 \text{ kr/m}}$

Lensekostnader pr. m tunnel 370 kr/m

VEDLEGG 4 IKKE-BERGAVHENGIGE KOSTNADER

4 - 1 GENERELT

I dette vedlegget vil ikke-bergavhengige kostnader bli drøftet for to og tre-felts tunnel.

Som ikke-bergavhengige kostnader regnes

- belysning
- ventilasjon
- vegbane og portaler
- dreng- og lense-system

4 - 2 BELYSNING/VENTILASJON

Ved utvidelse fra to- til tre-felts tunnel forutsettes at det tredje feltet er et rent krabbefelt. Under denne forutsetning vil lysanlegget både i en to-felts og en tre-felts tunnel bestå av en lysrekke plassert over hovedkjørebanen.

Grovt sett kan en da forutsette at lysanlegget i to- og tre-felts tunnel koster det samme minus lamper og kabler for lengdedifferansen.

Det forutsettes også at ventilasjonsanlegget vil bli likt for to- og tre-felts tunnel ved samme trafikkmengde.

Kostnader belysning, ventilasjon	
pluss andel fellesanlegg	:
	to-felts 6 mill.kr
	tre-felts 5,8 mill.kr

Kostnader to-felts tunnel

$$6 \text{ mill.kr}/6000 \text{ m} = \underline{1.000 \text{ kr/m}}$$

Kostnader tre-felts tunnel

$$5,8 \text{ mill.kr}/4.800 \text{ m} = \underline{1.208 \text{ kr/m}}$$

4 - 3 VEGBANE

Det forutsettes samme pris pr. kvadratmeter vegbane for to- og tre-felts tunnel.

Kvadratmeterprisen anslås til kr 200 kr/m².

Kostnader to-felts tunnel

$$200 \text{ kr/m}^2 \times 6 \text{ m} = \underline{1.200 \text{ kr/m}}$$

Kostnader tre-felts tunnel

$$200 \text{ kr/m}^2 \times 9 \text{ m} = \underline{1.800 \text{ kr/m}}$$

4 - 4 DRENSSYSTEM

Det forutsettes samme pris pr. lm for drenssystemet for to- og tre-felts tunnel. Forutsetter tosidig grøft.

Sprengning tatt med under kap. 6.5

- Rør inkl. legging 2 x 150 kr/m	300 kr/m
- Kummer (1 kum pr/100 m) $\frac{6000 \text{ kr/stk.} \times 2}{100}$	<u>120 kr/m</u>
Drenskostnad eks. sprengning:	<u>420 kr/m</u>

4 - 5 LENSESYSTEM

Forutsetter samme pumpestasjon

Kostnad pumpestasjon:	Spr.	:	350'
	Betong	:	300'
	Pumper	:	500'
	Utstyr	:	400'
	Styringskabler	:	<u>150'</u>
			<u>1.700' kr</u>

To-felts tunnel, lengde 6,0 km, 47 m²

Kostnad pumpestasjon : $\frac{1.700.000 \text{ kr}}{6000}$ = 280 kr/m
(inkl. andel fellesanl. elektro)

Kostnad pumperør $\frac{2 \times 3000 \text{ m} \times 800 \text{ kr/m}}{6000}$ = 800 kr/m

Kostnad legging $\frac{100 \text{ kr/m} \times 6000 \text{ kr}}{6000}$ = 100 kr/m

Sum kostnader 1.180 kr/m

Tre-felts tunnel, lengde 4.800 m, 68 m²

Kostnad pumpestasjon $\frac{1.700.000.000 \text{ kr}}{4.800}$ = 355 kr/m
(inkl. andel fellesanl. elektro)

Kostnad rør : Matr. = 800 kr/m
Legging = 100 kr/m

1.255 kr/m

VEDLEGG 5 EKSEMPEL PÅ FREMDRIFTSPLAN

Tidforbruket ved tunnelbygging vil avhenge av mange faktorer. De viktigste er tunnellengde, tverrsnitt og bergkvalitet, men faktorer som utstyrvalg, entreprenør, bemanning, priser osv. kan også ha stor betydning for fremdriften.

Nedenfor er vist et eksempel på fremdriftsplan. De viktigste forutsetningene som er gjort er:

1. Inndrift eks. sikring i 47 m² tunnel ligger 15% høyere enn for 68 m².
Inndrift 47 m²: 60 m pr. uke
Inndrift 68 m²: 51 m pr. uke
2. Ved 47 m² (to-felt) kan 10% av sikringsarbeidene gjøres bak stuff, dvs. at de ikke hemmer inndriften. Ved 68 m² (tre-felt) kan 15% av sikringsarbeidene gjøres bak stuff.
3. Bergkvaliteten er satt opp som en prosent av tunnellengden for alle bergkvaliteter bortsett fra de to dårligste, (eksepsjonelt dårlig, ekstremt dårlig). For disse kategoriene er det satt opp en fast lengde i meter. Det er forutsatt at det er like stort omfang av de ulike kvaliteter på hver tunnelstreng drevet fra hver sin side av fjorden.

To-felts tunnel, 80 o/oo, 47 m²

- Tunnellengde eks.: 6,0 km

		Totalt
Bergartsfordeling:	Eksepsjonelt dårlig:	100 m
	Ekstremt dårlig	300 m
	Svært dårlig $\frac{10\% \times (6000-400)}{100\%}$	560 m
	Dårlig $\frac{20\% \times (6000-400)}{100\%}$	1.120 m
	Middels $\frac{30\% \times (6000-400)}{100\%}$	1.680 m
	Godt $\frac{20\% \times (6000-400)}{100\%}$	1.120 m
	Svært godt $\frac{10\% \times (6000-400)}{100\%}$	560 m
	Ekstremt godt $\frac{10\% \times (600-400)}{100\%}$	560 m
	Totalt	<u>6.000 m</u>

Fremdriftshemmende arbeider: Se kapasitetstabell 5-1.

Fremdriftshemmende sikring pr. stuff

$$= 50 \times 1,201 + 150 \times 0,691 + 280 \times 0,35 + 560 \times 0,19 + 840 \times 0,125 \\ + 560 \times 0,085 + 280 \times 0,02 = \underline{529,3 \text{ skift}} \times 0,9 = 476 \text{ skift}$$

Tre-felts tunnel, 100 o/oo, 68 m²

- Tunnellengde eks.: 4,8 km

		Totalt
Bergartsfordeling:	Eksepsjonelt dårlig:	100 m
	Ekstremt dårlig	300 m
	Svært dårlig $\frac{10\% \times (4800-400)}{100\%}$	440 m
	Dårlig $\frac{20\% \times (4800-400)}{100\%}$	880 m
	Middels $\frac{30\% \times (4800-400)}{100\%}$	1.320 m
	Godt $\frac{20\% \times (4800-400)}{100\%}$	880 m
	Svært godt $\frac{10\% \times (4800-400)}{100\%}$	440 m
	Ekstremt godt $\frac{10\% \times (4800-400)}{100\%}$	<u>440 m</u>
	Totalt	<u><u>4.800 m</u></u>

Fremdriftshemmende arbeider: Se kapasitetstabell 5-1.

$$= 50 \times 1,406 + 150 \times 0,776 + 220 \times 0,43 + 440 \times 0,26 + 660 \times 0,17 \\ + 440 \times 0,12 + 220 \times 0,04 = 567,7 \times 0,85 = 482 \text{ skift.}$$

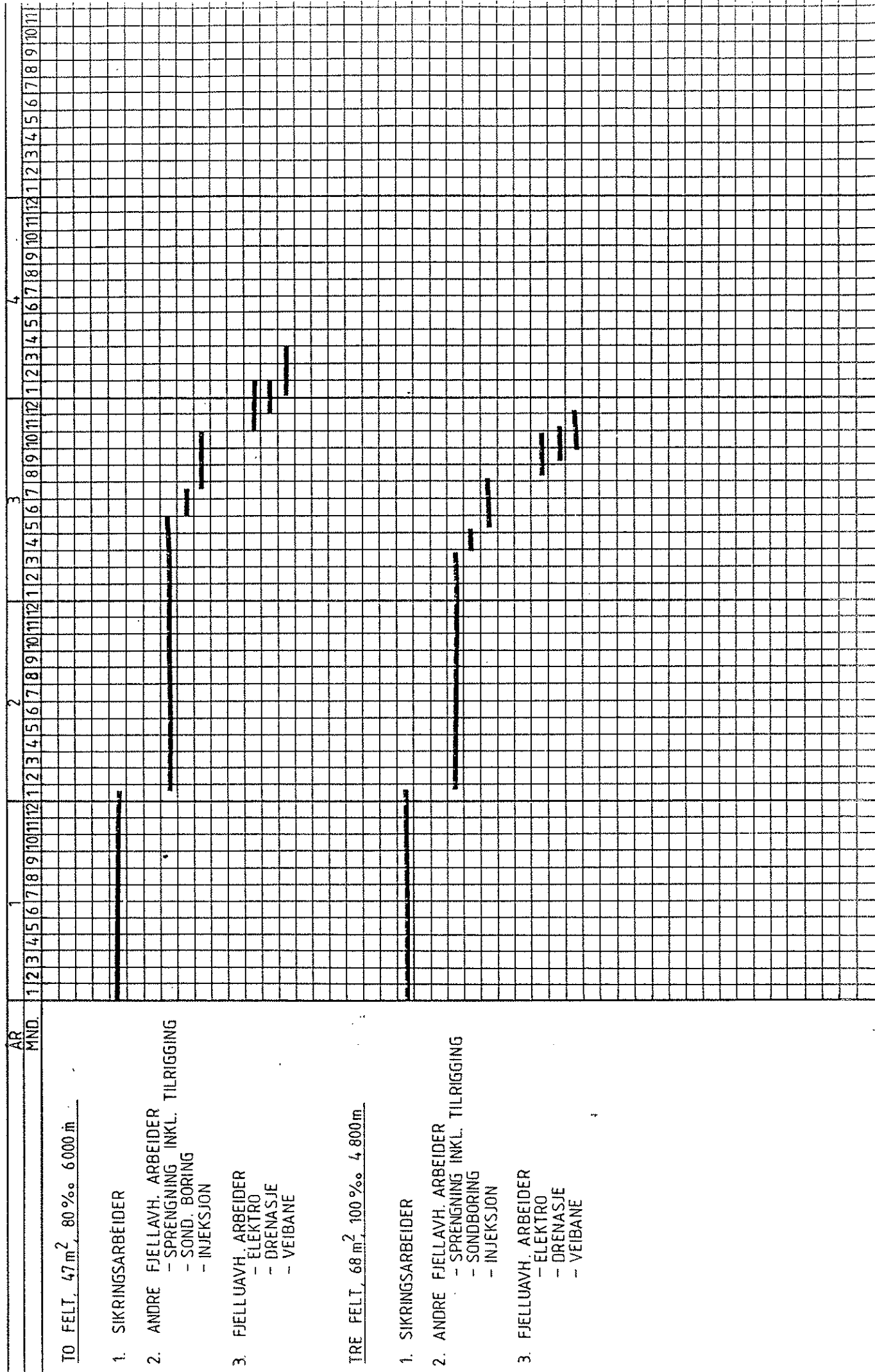
5 - 1 Kapasiteter SIKRING

Tverrsnitt	Bergkvalitet								
	Eksepsjonelt dårlig	Ekstremt dårlig	Svært dårlig	Dårlig	Middels	Godt	Svært godt	Ekstremt godt	Eksepsjonelt godt
47 m2	1.261	0,691	0,35	0,19	0,125	0,085	0,02	0	0
Antatt andel utført på stuff 90%	1.261	0,691	0,32	0,17	0,11	0,077	0,018	0	0
68 m2	1.406	0,76	0,43	0,26	0,170	0,120	0,04	0	0
Antatt andel utført på stuff 85%	1.406 ^x	0,76 ^x	0,37	0,27	0,144	0,10	0,034		

Skift à 7,5 timer pr. meter tunnel

0 = ingen fremdriftshemmende effekt

Medgått tid i skift.



AR
MND.

TO FELT, 47m², 80% 6 000 m

- 1. SIKRINGSARBEIDER
- 2. ANDRE FJELLAVH. ARBEIDER
 - SPRENGNING INKL. TILRIGGING
 - SOND. BORING
 - INJEKSJON
- 3. FJELLUAVH. ARBEIDER
 - ELEKTRO
 - DRENASJE
 - VEIBANE

TRE FELT, 68 m², 100% 4 800 m

- 1. SIKRINGSARBEIDER
- 2. ANDRE FJELLAVH. ARBEIDER
 - SPRENGNING INKL. TILRIGGING
 - SONDBORING
 - INJEKSJON
- 3. FJELLUAVH. ARBEIDER
 - ELEKTRO
 - DRENASJE
 - VEIBANE

VEDLEGG 6

BEREGNING AV Q-FAKTORER SOM ET HJELPEMIDDEL VED VURDERING AV BERGMASSENS KVALITET MED HENSYN PÅ SIKRINGSTILTAK I TUNNELER

I. Teori

Beregningene som er basert på tidligere publiserte avhandlinger av Barton, Lien og Lunde, gir et tallmessig uttrykk (Q-faktoren) for kvaliteten av en bergmasse med hensyn på stabilitetsforholdene i tunneler og bergrom. Q-faktoren blir beregnet ut fra følgende materialtekniske parametre: (tabell 1-6)

1. Bermassens blokkstørrelse eller oppsprekningsgrad (RQD/Jn), hvor
 - RQD (Rock Quality Designation) er oppsprekningsgraden målt på borkjerner. (Ved å bruke overgnagsformler kan også sprekeobservasjoner utført på overflaten benyttes)
 - Jn er antall sprekesett som opptrer
2. Bergmassens minimale skjærfasthet (Jr/Ja), hvor
 - Jw er et mål for vannlekkasjer inn i anlegget. Parameteren tar også hensyn til vanntrykket
 - SRF er en bergspenningsfaktor som tar hensyn til spenningsforhold og bergartstype

Ut fra disse parametrene, beregnes Q-faktoren etter følgende formel:

$$Q = \left(\frac{RQD}{J_n}\right) \times \left(\frac{J_r}{J_a}\right) \times \left(\frac{J_s}{SRF}\right)$$

For å kunne nytte de beregnede Q-faktorene som et hjelpemiddel ved vurdering av nødvendige sikringstiltak i en tunnel, må det tas hensyn til tunnelens spennvidde og dens bruksområde. Disse faktorene er innarbeidet i tunnelens ekvivalente dimensjon, D_e , som finnes ved hjelp av tabell 7.

Nødvendig sikring bestemmes ut fra fig. 1-6 og tabell 8-11.

TABELLER MED ANGIVELSE AV TALLVERDIER FOR PARAMETRE TIL BESTEMMELSE AV
Q-VERDIEN.

Tabell 1 RQD

Beskrivelse av bergmassens oppsprekningsgrad ved hjelp av RQD (Rock Quality Designation).

	RQD	Antall sprekker pr. m ¹
A. Meget sterkt oppsprukket.	0- 25	>27
B. Sterkt oppsprukket.....	25- 50	20-27
C. Moderat oppsprukket.....	50- 75	13-19
D. Lite oppsprukket.....	75- 90	8-12
E. Meget lite oppsprukket...	90-100	0- 7

Merknad: For RQD-verdier 0-10 brukes alltid 10 i formelen for Q.
Ved bestemmelse av RQD-verdi er intervall på 5 nøyaktig nok (100, 95, 90, 85 osv.)

Tabell 2 J_n

Beskrivelse av antall sprekkesett med angivelse av tallverdier for J_n.

	J _n
A. Få eller bare sporadiske sprekker.....	0,5-1
B. Ett sprekkesett.....	2
C. Ett sprekkesett + sporadiske sprekker.....	3
D. To sprekkesett.....	4
E. To sprekkesett + sporadiske sprekker.....	6
F. Tre sprekkesett.....	9
G. Tre sprekkesett + sporadiske sprekker.....	12
H. Fire eller flere sprekkesett, sterkt oppsprukket berg, sukkerbitberg osv.....	15
J. Oppknust berg, nærmest som jordmateriale.....	20

Merknad: For tunnelkryss brukes 3·J_n.
For portaler, påhugg o.l. brukes 2·J_n.

Tabell 3 J_r

Beskrivelse av sprekkers ruhet med tallangivelse for parameter J_r.

	J _r
a) Bergkontakt	
b) Bergkontakt for 10 cm skjævedeformasjon	
A. Diskontinuerlige sprekker.....	4
B. Ru eller irregulære, bølgete.....	3
C. Glatte, bølgete.....	2
D. Glidespeil, bølgete.....	1,5
E. Ru eller irregulære, plane.....	1,5
F. Glatte, plane.....	1,0
G. Glidespeil, plane.....	0,5

Merknad: Første del av beskrivelsen refererer til små strukturer (mm, cm), mens andre del refererer til middels store strukturer (dm, m).

Tabell 3, forts.

c) Ingen bergkontakt ved skjævedeformasjon	J _r
H. Soner med stort nok leirinnhold til å hindre bergkontakt.....	1,0
J. Gruslignende knust materiale tykt nok til å hindre bergkontakt.....	1,0

Merknad: 1,0 adderes når midlere sprekkeavstand er større enn 3 m.

J_r = 0,5 kan brukes for plane glidespeil med lineasjon, når lineasjonen er orientert langs min. styrke.

Tabell 4 J_a

Beskrivelse av sprekke materialets styrke med tallangivelse for parametret J_a og tilnærmete verdier for friksjonsvinkel ϕ_p .

	J _a	ϕ_p^0 (tilnærmet)
a) Bergkontakt		
A. Sammenvekste sprekker med hard uoppbløtelig impermeabel fylling, f.eks. kvarts, feltspat.....	0,75	
B. Omvandlete sprekkeflater, bare overflateoksydasjon.....	1,0	(25-31)
C. Svakt omvandlete sprekkeflater. Uoppbløtelig mineralbelegg. Sandige partikler, leirfritt, oppknust sprekke materiale.....	2,0	(25-30)
D. Siltig eller sandig sprekke materiale, litt leire (ikke svelleleire).....	3,0	(20-25)
E. Oppbløtelig leire eller leirbelegg med lav friksjon, f.eks. kaolinit eller glimmer. Også kloritt, talk, gips, grafitt osv. og små mengder svelleleire.....	4,0	(8-16)
b) Bergkontakt for 10 cm skjævedeformasjon		
F. Sandige partikler, leirfritt, oppknust sprekke materiale.....	4,0	(25-30)
G. Sterkt overkonsolidert uoppbløtelig leirfylling. (Kontinuerlige, men <5 mm tykkelse).....	6,0	(16-24)
H. Middels eller lav overkonsolidering, oppbløtelig sprekkefylling av leir materiale. (Kontinuerlige men <5 mm tykkelse).....	8,0	(12-16)
J. Sprekkefylling av svelleleire, dvs. smektitt (montmorillonitt). (Kontinuerlige men <5 mm tykkelse). J _a -verdien avhenger av prosentvis innhold av leirpartikler og tilgang på vann osv.....	8-12	(6-12)
c) Ingen bergkontakt		
K. Soner eller bånd av desintegrert eller knust bergartsmasse (se G, H, eller J for beskrivelse av leirforholdene)	6, 3 eller 8-12	(n-24)
N. Soner eller bånd av siltig eller sandig leire, liten leirfraksjon (uoppbløtelig).....	5,0	(-)
O. Tykke, kontinuerlige soner eller bånd av leire (se G, H, J for beskrivelse av leirforholdene).....	10, 13 eller 17-20	(6-24)

Tabell 5 J_w Beskrivelse av vannforhold med tallangivelse for parameter J_w .

	J_w	Ca. vanntrykk i kg/cm ²
A. Tørre bergrom eller minimal innlekkasje, dvs. < 5 l/min. lokalt. 1,0		<1
B. Middels innlekkasje eller trykk. Stedvis utvasking av sprekke-materiale..... 0,66	0,66	
C. Stor innlekkasje eller høyt trykk i massivt berg med sprekker uten fylling..... 0,5	0,5	2,5-10
D. Stor innlekkasje eller høyt trykk. Utvasking av sprekke-materiale..... 0,33	0,33	2,5-10
E. Meget stor innlekkasje eller vanntrykk ved utsprenkning, avtagende med tiden..... 0,2-0,1	0,2-0,1	>10
F. Meget stor innlekkasje eller vanntrykk. Ikke avtagende..... 0,1-0,05	0,1-0,05	>10

Merknad: Verdiene for C til F er antatte. J_w økes når dreneringstiltak blir gjort.
Spesielle stabilitetsproblemer ved isdannelse er ikke vurdert.

Tabell 6 SRF

Beskrivelse av spenningsforhold og tallangivelse for parameter SRF.

a) Svakhetssoner som kan medføre nedfall når bergrommet er sprengt.	SRF
A. Hyppig opptreden av svakhetssoner som inneholder leire eller kjemisk omvandlet bergmasse, svake bergarter (alle dybder).....	10
B. Enkle svakhetssoner som inneholder leire eller kjemisk omvandlet bergmasse (anleggets dybde $\leq$ 50 m).....	5
C. Enkle svakhetssoner som inneholder leire eller kjemisk omvandlet bergmasse (anleggets dybde > 50 m).....	2,5
D. Hyppig opptreden av markerte sprekker (skjærsprekker, slepper) i harde udeformerbare bergarter (uten leire) (alle dybder)...	7,5
E. Enkle, markerte svakhetssoner (skjærsoner, sprekkesoner) i harde udeformerbare bergarter (uten leire) (anleggets dybde $\leq$ 50 m).	5,0
F. Enkle markerte svakhetssoner (skjærsoner, sprekkesoner) i harde udeformerbare bergarter (uten leire) (anleggets dybde > 50 m).	2,5
G. Ukonsoliderte, åpne sprekker, sterkt oppsprukket eller sukkerbitberg osv. (alle dybder).....	5,0

Merknad: SRF-verdiene reduseres med 25-50% når svakhetssonene bare innvirker på stabiliteten, men ikke skjærer anlegget.

b) *Hard, lite deformerbare bergmasser (kompetente). Bergtrykkproblemer.*

	σ_c/σ_1	σ_t/σ_1	SRF
H. Lave spenninger nær overflaten.....	>200	>13	2,5
J. Middels høye bergspenninger. 200-10	13-0,66		1,0
K. Høyt bergtrykk "tette" bergarter (vanligvis gunstig for stabilitet, kan være ugunstig for veggstabilitet).....	10-5	0,66-0,33	0,5-2
L. Noe bergslag (massivt berg). 5-2,5	0,33-0,16		5-10
M. Intens bergslag (massivt berg).....	<2,5	<0,16	10-20

Merknad: For sterkt anisotrope spenningstilstander: Når $5 \leq \sigma_1/\sigma_3 \leq 10$ reduseres σ_c og σ_t til $0,8 \sigma_c$ og $0,8 \sigma_t$. Når $\sigma_1/\sigma_3 > 10$ reduseres σ_c og σ_t til $0,6 \sigma_c$ og $0,6 \sigma_t$ hvor σ_c = aksial trykkstyrke og σ_t = strekkstyrke (punktlaststyrke) og σ_1 og σ_3 er henholdsvis største og minste hovedspenning.

Få beskrevne tilfeller hvor overdekningen er mindre enn spennvidden. Det antas da at SRF økes fra 2,5 til 5 (se pkt. H).

c) *Tyteberg (akvifærberg). Plautisk flyting av bløte deformerbare (inkompetente) bergarter under innflytning av høye bergtrykk.*

	SRF
N. Moderat tyteberg.....	5-10
O. Intens tyteberg.....	10-20

d) *Svømmende berg. Kjemisk svellingsskade som følge av tilgang av fuktighet på vann.*

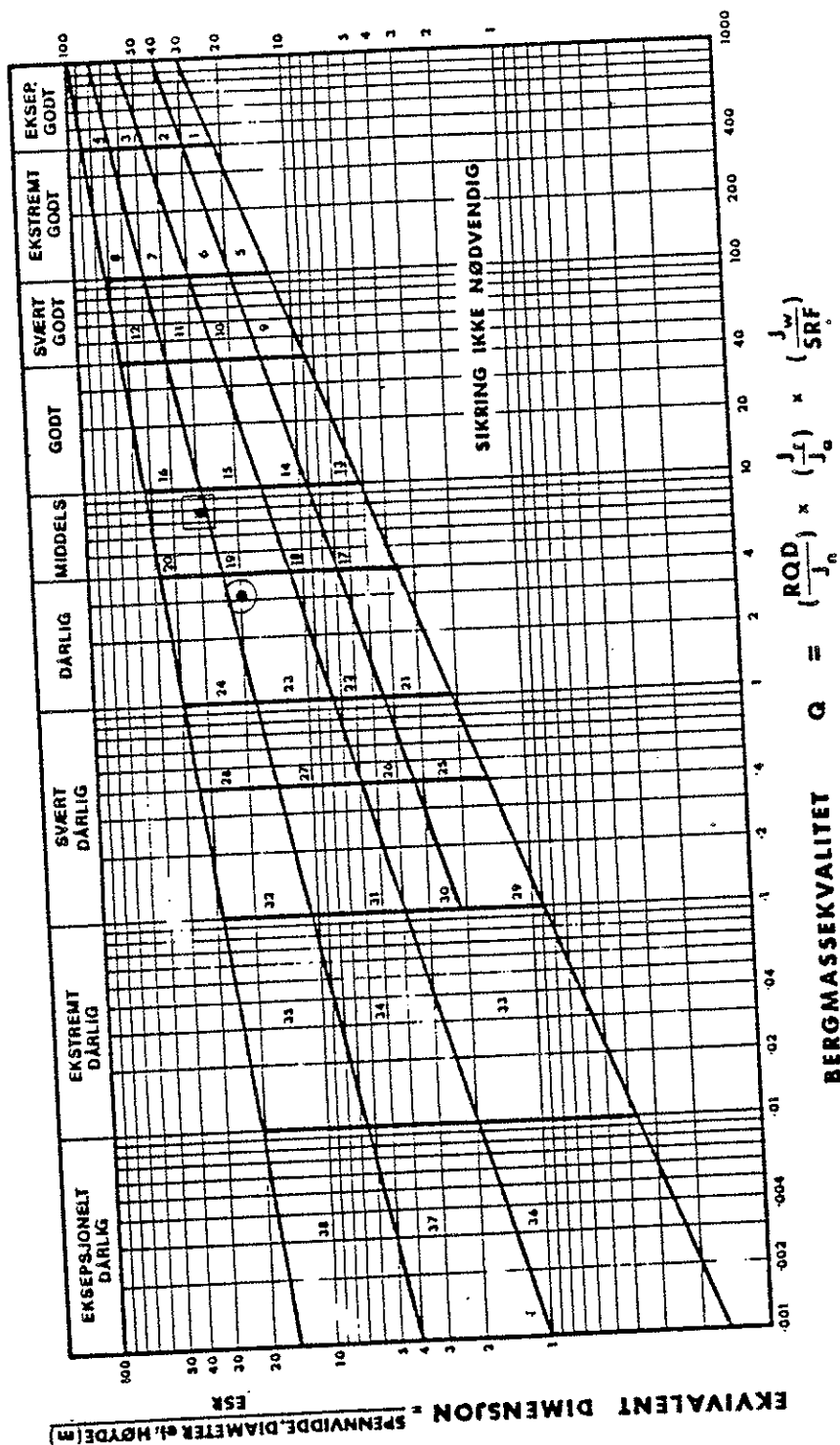
	SRF
P. Moderat svellende berg.....	5-10
R. Intens svellende berg.....	10-15

TABELL 7

Forholdstall for bergromsikring (ESR):

<u>Klasse</u>	<u>Beskrivelse</u>	<u>ESR</u>
A	Midlertidige gruverom etc.	ca. 3-5?
B	Vertikale sjakter	
	a) Sirkulære	ca. 2,5?
	b) Rektangulære	ca. 2,0?
C	Permanente gruverom, vanntunneler (ikke trykksjakter), tverrslag, pilottunneler etc.	1,6
D	Lagerhaller, renseanlegg, lite trafikkerte veg- og jernbanetunneler, svingekammer, adkomsttunneler etc.	1,3
E	Stasjonshaller, sterkt trafikkert veg- og jernbanetunneler, tilfluktsrom, portaler etc.	1,0
F	Haller for kjernekraftverk, jernbanestasjoner, sportshaller, fabrikkhaller etc.	ca. 0,8?

FIG 1-6 SIKRINGSDIAGRAM



TABELLER OVER SIKRINGSKATEGORIER

Tegnforklaring til tabeller 8 - 11:

- sb = tilfeldig bolting
 B = systematisk bolting
 (utg) = innstøpte bolter (ikke forspente)
 (tg) = forspente bolter (ekspansjonsbolter i harde bergarter, innstøpte etterspente bolter i bergmasser med dårlig fasthet). Se Anm. XI
 S = sprøytebetong
 (mr) = nettarmoring
 (clm) = bånd og nett
 CCA = hvelvstøp
 (sr) = armering

Bolteavstander er angitt i m. For sprøytebetong og hvelvstøp angis tykkelsen i cm. Alle bolter har diameter ϕ 20 mm.

Tabell 8

Sikringsomfang for bergmasser i kategoriene "Eksepsjonelt god", "Ekstremt godt", "Svært godt" og "God". (Q= 1000 -10)

Sikrings-kategori	Parametre			Sikringstype	Merknad
	RQD $\frac{J_r}{J_n}$	$\frac{J_r}{J_a}$	Spennvidde ESR		
1*	-	-	-	sb(utg)	-
2*	-	-	-	sb(utg)	-
3*	-	-	-	sb(utg)	-
4*	-	-	-	sb(utg)	-
5*	-	-	-	sb(utg)	-
6*	-	-	-	sb(utg)	-
7*	-	-	-	sb(utg)	-
8*	-	-	-	sb(utg)	-
9	≥ 20	-	-	sb(utg)	-
	< 20	-	-	B(utg) 2,5-3 m	-
10	≥ 30	-	-	B(utg) 2-3 m	-
	< 30	-	-	B(utg) 1,5-2 m +clm	-
11*	≥ 30	-	-	B(tg) 2-3 m	-
	< 30	-	-	B(tg) 1,5-2 m +clm	-
12*	≥ 30	-	-	B(tg) 2-3 m	-
	< 30	-	-	B(tg) 1,5-2 m +clm	-
13	≥ 10	$\geq 1,5$	-	sb(utg)	I
	≥ 10	$< 1,5$	-	B(utg) 1,5-2 m	I
	< 10	$\geq 1,5$	-	B(utg) 1,5-2 m	I
	< 10	$< 1,5$	-	B(utg) 1,5-2 m +S 2-3 cm	I
14	≥ 10	-	≥ 15	B(tg) 1,5-2 m +clm	I, II
	< 10	-	≥ 15	B(tg) 1,5-2 m +S(mr) 5-10 cm	I, II
	-	-	< 15	B(utg) 1,5-2 m +clm	I, III
15	> 10	-	-	B(tg) 1,5-2 m +clm	I, II, IV
	≥ 10	-	-	B(tg) 1,5-2 m +S(mr) 5-10 cm	I, II, IV
16*	> 15	-	-	B(tg) 1,5-2 m +clm	I, V, VI
	≤ 15	-	-	B(tg) 1,5-2 m +S(mr) 10-15 cm	I, V, VI

*Antatt sikringsomfang av forfatteren. Det er her ikke tilstrekkelige eksempler til å gi et pålitelig anslag av sikringsbehovet.

Merknad: Anvendt sikringstype i kategoriene 1 - 8 vil avhenge av sprengningsteknikken. Nøyaktig sprengning og grundig rensk kan fjerne behovet for sikring. Grov sprengning kan medføre behov for en del sprøytebetong, særlig der utsprenngnings høyde er over 25 m. Fremtidige eksempler kan gjøre kategoriene 1 til 8 mer differensiert.

Tabell 9

Sikringsomfang for bergmasser i kategoriene "Middels" og "Dårlig". (Q= 10 - 1)

Sikrings-kategori	Parametre			Sikringstype	Merknad
	RQD $\frac{J_r}{J_n}$	$\frac{J_r}{J_a}$	Spennvidde ESR		
17	> 30	-	-	sb(utg)	I
	≥ 10 (< 30)	-	-	B(utg) 1-1,5 m	I
	< 10	-	≥ 6 m	B(utg) 1-1,5 m +S 2-3 cm	I
	< 10	-	< 6 m	S 2-3 cm	I
18	> 5	-	≥ 10 m	B(tg) 1-1,5 m +clm	I, III
	> 5	-	< 10 m	B(utg) 1-1,5 m +clm	I
	< 5	-	≥ 10 m	B(tg) 1-1,5 m +S 2-3 cm	I, III
	< 5	-	< 10 m	B(utg) 1-1,5 m +S 2-3 cm	I
19	-	-	≥ 20 m	B(tg) 1-2 m +S(mr) 10-15 cm	I, II, IV
	-	-	< 20 m	B(tg) 1-1,5 m +S(mr) 5-10 cm	I, II
20*	-	-	≥ 35 m	B(tg) 1-2 m +S(mr) 20-25 cm	I, V, VI
	Se merknad XII	-	< 35 m	B(tg) 1-2 m +S(mr) 10-20 cm	I, II, IV
21	$> 12,5$	$< 0,75$	-	B(utg) 1 m +S 2-3 cm	I
	$< 12,5$	$< 0,75$	-	S 2,5-5 cm	I
	-	$< 0,75$	-	B(utg) 1 m	I
22	> 10 (< 30)	$> 1,0$	-	B(utg) 1 m +clm	I
	< 10	$> 1,0$	-	S 2,5-7,5 cm	I
	< 30	$< 1,0$	-	B(utg) 1 m +S(mr) 2,5-5 cm	I
	> 30	-	-	B(utg) 1 m	I
23	-	-	≥ 15 m	B(tg) 1-1,5 m +S(mr) 10-15 cm	I, II, IV, VII
	-	-	< 15 m	B(utg) 1-1,5 m +S(mr) 5-10 cm	I
24*	-	-	≥ 30 m	B(tg) 1-1,5 m +S(mr) 15-30 cm	I, V, VI
	Se merknad XII	-	< 30 m	B(tg) 1-1,5 m +S(mr) 10-15 cm	I, II, IV

*Antatt sikringsomfang av forfatteren. Det er her ikke tilstrekkelige eksempler til å gi et pålitelig anslag av sikringsbehovet.

Tabell 10

Sikringsomfang for bergmasser i kategorien "Meget dårlig".
($Q=1,0 - 0,1$).

Sikrings- kategori	Parametre			Sikringstype	Merknad
	$\frac{RQD}{J_n}$	$\frac{J_n}{J_a}$	Spennvidde ESR		
25	>10	$>0,5$	-	B(utg) 1 m +mr eller c1m	I
	≤ 10	$>0,5$	-	B(utg) 1 m +S(mr) 5 cm	I
	-	$\leq 0,5$	-	B(tg) 1 m +S(mr) 5 cm	I
26	-	-	-	B(tg) 1 m +S(mr) 5-7,5 cm	VIII, X
	-	-	-	B(utg) 1 m +S 2,5-5 cm	I, IX
27	-	-	≥ 12 m	B(tg) 1 m +S(mr) 7,5-10 cm	I, IX
	-	-	< 12 m	B(utg) 1 m +S(mr) 5-7,5 cm	I, IX
	-	-	> 12 m	CCA 20-40 cm +B(tg) 1 m	VIII, X, XI
	-	-	< 12 m	S(mr) 10-20 cm +B(tg) 1 m	VIII, X, XI
	-	-	-	-	-
28* Se merkna d XII	-	-	≥ 30 m	B(tg) 1 m +S(mr) 30-40 cm	I, IV, V, IX
	-	-	> 20 (< 30 m)	B(tg) 1 m +S(mr) 20-30 cm	I, II, IV, IX
	-	-	< 20 m	B(tg) 1 m +S(mr) 15-20 cm	I, II, IX
	-	-	-	CCA(sr) 30-100 cm +B(tg) 1 m	IV, VIII, X, XI
29*	>5	$>0,25$	-	B(utg) 1 m +S 2-3 cm	-
	≤ 5	$>0,25$	-	B(utg) 1 m +S(mr) 5 cm	-
	-	$\leq 0,25$	-	B(tg) 1 m +S(mr) 5 cm	-
30	≥ 5	-	-	B(tg) 1 m +S 2,5-5 cm	IX
	< 5	-	-	S(mr) 5-7,5 cm B(tg) 1 m +S(mr) 5-7,5 cm	IX VIII, X, XI
31	>4	-	-	B(tg) 1 m +S(mr) 5-12,5 cm	IX
	$\leq 4, \geq 1,5$	-	-	S(mr) 7,5-25 cm	IX
	$< 1,5$	-	-	CCA 20-40 cm +B(tg) 1 m CCA(sr) 30-50 cm	IX VII, X, XI
32 Se merkna d XII	-	-	≥ 20 m	B(tg) 1 m +S(mr) 40-60 cm	II, IV, IX
	-	-	< 20 m	B(tg) 1 m +S(mr) 20-40 cm	III, IV, IX
	-	-	-	CCA(sr) 40-120 cm +B(tg) 1 m	IV, VIII, X, XI
	-	-	-	-	-

*Antatt sikringsomfang av forfatteren. Det er her ikke tilstrekkelige eksempler til å gi et pålitelig anslag av sikringsbehovet.

Tabell 11

Sikringsomfang for bergmasser i kategoriene "Ekstremt dårlig" og "Eksepsjonelt dårlig". ($Q=0,1 - 0,001$)

Sikrings- kategori	Parametre			Sikringstype	Merknad
	$\frac{RQD}{J_n}$	$\frac{J_n}{J_a}$	Spennvidde ESR		
33*	>2	-	-	B(tg) 1 m +S(mr) 2,5-5 cm	IX
	< 2	-	-	S(mr) 5-10 cm	IX
	-	-	-	S(mr) 7,5-15 cm	VIII, X
34	>2	$>0,25$	-	B(tg) 1 m +S(mr) 5-7,5	IX
	< 2	$>0,25$	-	S(mr) 7,5-15 cm	IX
	-	$>0,25$	-	S(mr) 15-25 cm CCA(sr) 20-60 cm +B(tg) 1 m	IX VIII, X, XI
35 Se merkna d XII	-	-	> 15 m	B(tg) 1 m +S(mr) 30-100 cm	II, IX
	-	-	> 15 m	CCA(sr) 60-200 cm	VIII, X, XI, XII
	-	-	< 15 m	B(tg) 1 m +S(mr) 20-75 cm	IX, XII
	-	-	< 15 m	CCA(sr) 40-150 cm +B(tg) 1 m	VIII, X, XI, XII
	-	-	-	-	-
36	-	-	-	S(mr) 10-20 cm	IX
	-	-	-	S(mr) 10-20 cm +B(tg) 0,5-1,0 m	VIII, X, XI
37	-	-	-	S(mr) 20-60 cm	IX
	-	-	-	S(mr) 20-60 cm +B(tg) 0,5-1,0 m	VIII, X, XI
38 Se merkna d XII	-	-	> 10 m	CCA(sr) 100-300 cm	IX
	-	-	> 10 m	CCA(sr) 100-300 cm +B(tg) 1 m	VIII, X, XI
	-	-	< 10 m	S(mr) 70-200 cm	IX
	-	-	< 10 m	S(mr) 70-200 cm +B(tg) 1 m	VIII, X, XI

*Antatt sikringsomfang av forfatteren. Det er her ikke tilstrekkelige eksempler til å gi et pålitelig anslag av sikringsbehovet.

Bergmasser i kategoriene "Ekstremt dårlig" og "Eksepsjonelt dårlig" ($Q = 0,1 - 0,001$)

- I. Ved sterkt bergslag eller språk brukes ofte tensjonsbolter med forsterrede bæreplater med avstand ca. 1 m (av og til ned 0,3 m). Permanent sikring når sprakaktiviteten har stanset. (Selmer-Olsen, 1970)
- II. Flere boltelengder er ofte brukt i samme anlegg, 3, 5 og 7 m.
- III. Flere boltelengder er ofte brukt i samme anlegg, 2, 3 og 4 m.
- IV. Tensjonsankere er ofte brukt til å supplere boltesikringen. Vanlig avstand 2 - 4 m.
- V. Flere boltelengder er ofte brukt i samme anlegg, 6, 8 og 10 m.
- VI. Tensjonsankeret er ofte brukt til å supplere boltesikringen. Vanlig avstand 4 - 6 m.
- VII. Flere av de eldre kraftstasjonshallene i denne kategorien har systematisk eller tilfeldig bolting og områder med hard og tett og et stopt beløghveiv (25 - 40 cm) som permanent sikring.

VIII. Tilfeller med svelling, f.eks. montmorillonitt-leire (med tilgang på vann). I tilfeller med sterk svelling er det laget rom til svelling mellom berg og sikringskonstruksjonen. Se Selmer-Olsen (1970). Drenasjetiltak er brukt der det er mulig.

IX. Tilfeller uten svelleleire eller tyteberg.

X. Tilfeller med tyteberg. Kraftig, stiv sikring er vanligvis brukt som permanent sikring.

XI. I tilfeller med tyting eller svelling vil det etter forfatterens erfaringer kreves bolting (ekspansjonsbolter) som en foreløpig sikring før en utstøpning (eller sprøytebetong) etableres. I tilfeller med tilstrekkelig høyt RQD/J_n (1.5) må muligens denne boltingen kombineres med sprøytebetong. Hvis bergmassene er sterkt oppsprukket eller oppknust ($RQD/J_n < 1.5$ f.eks. "sukkerbit" skjærsoner i kvartstitt) kan det være nødvendig å bruke flere lag med sprøytebetong som en foreløpig sikring. Systematisk bolting (tensjonsbolter) kan brukes i tillegg etter at utstøpningen er foretatt. Denne boltingen kan bli lite effektiv i tilfeller med leire eller $RQD/J_n < 1.5$, og i slike tilfeller bør boltene støpes inn. En tilstrekkelig lengde av forankrede bolter kan også oppnås ved innstøping av polyesterbolter med rask herdning. Alvorlige tilfeller av svelling, og/eller tyteberg kan nødvendiggjøre en utstøpning på stoff, eller det kan brukes et skjold som foreløpig sikring. Foreløpig sikring av selve stoffene kan være nødvendig i slike tilfeller.

XII. For å oppnå tilstrekkelig sikkerhet vil palldrift ofte være nødvendig ved utsprengning og sikring av hvelv. Kategoriene 16, 20, 24, 28, 32, 35. (Bare ved $SPENNVIDDE/ESR > 15$ m).

XIII. Palldrift er vanligvis nødvendig ved utsprengning og sikring av hvelv, vegger og sale i tilfeller med sterk tyting. Kategori 38. (Bare ved $SPENNVIDDE/ESR > 10$ m).

VEDLEGG 7

Referanseliste

1. Exploration for rock engineering
Z. T. Bieniaw, Vol. 1 og 2
2. Underground Excavation in Rock
E. Hock & E. T. Brown
3. Rock bolting, A Practical Handbook
Schach, Garshol, Heltzan
4. Rock Bolting, Procceding of the internation symposium on rock bolting,
Abisko -83
5. Tunnel design by rock mass classification
Z. T. Bieniaw, 1979
6. Interne kilder A. B. Berdal, ikke publiserte
7. Barton, N. Recent experience with the Q-system of tunnel support
design