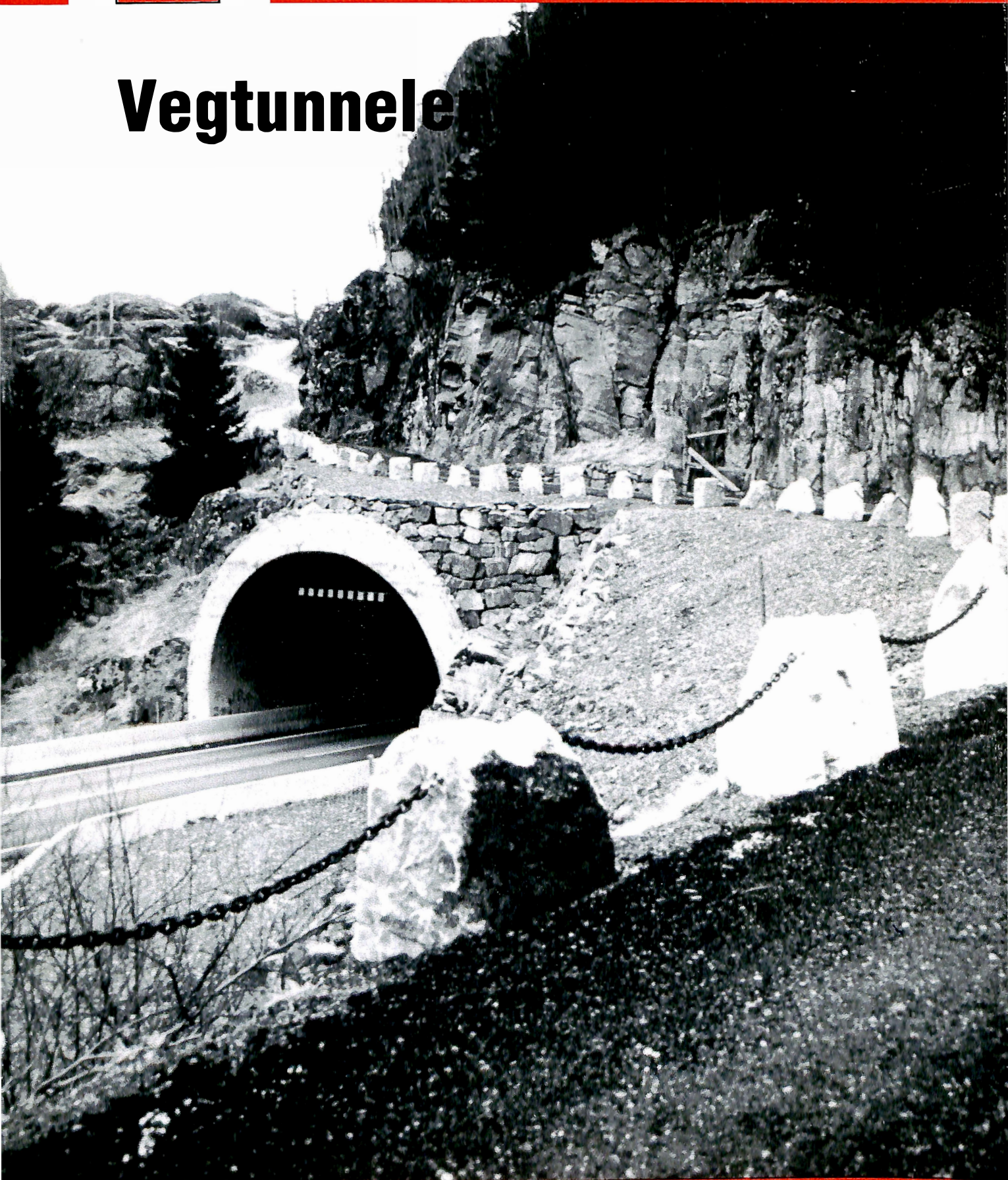




# Vegtunnele



*G. Cornejo - Gal.*



**Statens vegvesen**

## **Vegtunneler**

Normaler

# HÅNDBØKER I STATENS VEGVESEN

Dette er en håndbok i vegvesenets håndbokserie - en samling fortløpende nummerte publikasjoner som først og fremst er beregnet for bruk innen etaten.

Håndbøkene kan kjøpes av interesserte utenfor Statens vegvesen til de priser som er oppgitt i håndbokoversikten - håndbok 022.

Det er den enkelte fagavdeling innen Vegdirektoratet som har hovedansvaret for utarbeidelse og ajourføring av håndbøkene.

De daglige fellesfunksjoner som utgivelse av håndbøker fører med seg, blir ivaretatt av det sentrale håndboksekretariat.

Vegvesenets håndbøker utgis på 2 nivåer:

Nivå 1 - Rød farge på omslaget - omfatter Forskrifter, Normaler og Retningslinjer godkjent av overordnet myndighet eller av Vegdirektoratet etter full makt.

Nivå 2 - Blå farge på omslaget - omfatter veiledninger, Lærebøker og Vegdata godkjent av den enkelte fagavdeling i Vegdirektoratet.

## **Vegtunneler**

Nr. 021 i vegvesenets håndbokserie

1. opplag: 1000

2. opplag: 500

3. opplag: 600

Omslagsfoto: Olav Handeland

Trykk: GCS A/S, Oslo

ISBN 82-7207-316-1

# FORORD

Denne normalen gjelder alle typer vegtunneler. Den er identisk med "forslag til normaler om vegtunneler", datert mars 1991, og som ble gjort gjeldende - inntil videre - som normal 21.mai 1991.

Det er lagt vekt på å utarbeide en selvstendig og mest mulig komplett vegtunnelnormal. Kommentarerstoff er gjengitt i kursiv.

Håndboken omfatter alle faser ved gjennomføringen av et vegtunnelprosjekt. Både planlegging, bygging, vedlikehold og drift er behandlet.

Når det gjelder generelle krav knyttet til geometri og utforming som er felles for tunneler og veg i dagen, henvises det til Håndbok 017 Geometrisk utforming. For spesielle krav knyttet til utforming, sikkerhet og miljø foreligger identisk tekst i Håndbok 017.

Dimensjoneringskriterier knyttet til konstruksjon, samt forundersøkelser er hovedsaklig rettet mot fjelltunneler. Andre tunnelkonstruksjoner er behandlet summarisk.

Det tas sikte på å utgi en bearbeidet normal i løpet av 1993, og det vil da bli foretatt tilpasninger til normalen 018 Vegbygging. Bl.a. gjelder dette omtale av generelle forhold (bl.a. avviksbehandling), forberedende og generelle arbeider, skillet mellom normal- og kommentarstof mv.

Normalforslaget er utarbeidet av et utvalg bestående av:

|                               |                                      |
|-------------------------------|--------------------------------------|
| Eirik Øvstedal (formann)      | Vegdirektoratet                      |
| Jan Elvøy                     | Statens vegvesen,<br>Hordaland       |
| Erik Nordstrøm                | Vegdirektoratet                      |
| Gunnar Nærum                  | Statens vegvesen,<br>Rogaland        |
| Knut Borge Pedersen           | Vegdirektoratet                      |
| Bjarne Sanden                 | Vegdirektoratet                      |
| Jon Skårhaug                  | Statens vegvesen<br>Sogn og Fjordane |
| Fritjof Andreassen (sekretær) | Aas-Jakobsen A/S                     |

For kapitlene Belysning og Ventilasjon er utvalget supplert med Jan Eirik Henning, og for kapitlet Miljø med Ingerlise Amundsen, Vegdirektoratet.

*Statens vegvesens normaler er gitt med hjemmel i forskrifter etter veglovens §13 vedrørende anlegg av veg. Normaler er å anse som interne retningslinjer som skal følges så langt dette er mulig. Normaler er ikke forskrifter, og kan ikke påberopes av publikum. Eventuelle avvik fra interne retningslinjer vil bare være gjenstand for intern påpekning og forføylelse, og forholdet gir ikke publikum klagerett.*

Vegdirektoratet, august 1992  
Ansvarlig avdeling: Veglaboratoriet

# Innholdsfortegnelse

|  | <u>Side</u> |
|--|-------------|
| 1. KVALITETSSIKRING                          | 1           |
| 100 Generelt                                 | 1           |
| 101 Kvalitetsplan                            | 2           |
| 102 Endringer av tekniske planer             | 4           |
| 103 Rapportering                             | 5           |
| 2. FORUNDERSØKELSER                          | 6           |
| 200 Ingeniørgeologisk forundersøkelse        | 6           |
| 3. TUNNELUTFORMING                           | 9           |
| 300 Generelt                                 | 9           |
| 301 Tunnelklasser                            | 9           |
| 302 Dimensjoneringsår                        | 10          |
| 303 Tverrsnitt                               | 10          |
| 304 Tunnelprofiler                           | 10          |
| 305 Utforming under vegbanenivå              | 14          |
| 306 Rømning                                  | 16          |
| 307 Havarilommer og snunisjer                | 16          |
| 308 Møteplasser                              | 18          |
| 309 Gang- og sykkeltrafikk                   | 18          |
| 310 Linjeføring                              | 18          |
| 311 Vegkryss i og utenfor tunneler           | 21          |
| 312 Trafikkskilt og vegoppmerking            | 25          |
| 4. SIKKERHET                                 | 30          |
| 400 Generelt                                 | 30          |
| 401 Sikkerhetsutrustning og sikkerhetstiltak | 31          |
| 402 Brannsikring                             | 38          |
| 403 Beredskapsplan                           | 38          |
| 5. DRIVING                                   | 41          |
| 501 Lover og forskrifter                     | 41          |
| 502 Rystelser og setninger                   | 41          |
| 503 Forskjæring og påhugg                    | 45          |
| 504 Sprengning av tunnel                     | 47          |
| 6. SIKRINGSARBEIDER                          | 50          |
| 601 Generelt                                 | 50          |
| 602 Rensk                                    | 50          |
| 603 Bolting                                  | 52          |
| 604 Fjellbånd og nett                        | 55          |
| 605 Sprøytebetong                            | 55          |
| 606 Betongutstøping                          | 57          |

|            | <u>Side</u>  |            |
|------------|--|------------|
| 607        | Sonderboring og forinjeksjon                       | 58         |
| 608        | Vannsikring og frostsikring                        | 59         |
| 609        | Portaler   | 63         |
| <b>7.</b>  | <b>DRENERING</b>                                   | <b>65</b>  |
| 701        | Generelt   | 65         |
| 702        | Drenssystem  | 65         |
| 703        | System for oppsamling av spylevann                 | 66         |
| 704        | Isolering  | 66         |
| <b>8.</b>  | <b>VEGFUNDAMENT OG VEGDEKKE</b>                    | <b>68</b>  |
| 801        | Overbygning  | 68         |
| <b>9.</b>  | <b>BELYSNING</b>                                   | <b>69</b>  |
| 900        | Generelt   | 69         |
| 901        | Lysforhold utenfor tunnel- adaptasjonsluminansen   | 69         |
| 902        | Belysning i tunnel                                 | 70         |
| 903        | Armatravstand                                      | 72         |
| 904        | Armaturer  | 73         |
| <b>10.</b> | <b>VENTILASJON</b>                                 | <b>74</b>  |
| 1000       | Krav til atmosfæren i tunneler                     | 74         |
| 1001       | Ventilasjonssystemer                               | 76         |
| 1002       | Mekanisk ventilasjon                               | 77         |
| 1003       | Korrosjonsbeskyttelse av teknisk utrustning        | 77         |
| 1004       | Beregning av luftbehov                             | 78         |
| 1005       | Beregning av nødvendig skyvkraft ved langslufting  | 82         |
|            | <b>VEDLEGG TIL KAP. 10: BEREGNINGSEKSEMPEL</b>     | <b>85</b>  |
| <b>11.</b> | <b>MILJØ</b>                                       | <b>91</b>  |
| 1101       | Utforming av forskjæring og tunnelportal           | 91         |
| 1102       | Forurensning                                       | 98         |
| 1103       | Støyforhold nær tunnelåpninger                     | 103        |
| <b>12.</b> | <b>SPESIELLE FORHOLD VED UNDERSJØISKE TUNNELER</b> | <b>105</b> |
| 1201       | Forundersøkelser                                   | 105        |
| 1202       | Overdekning  | 106        |
| 1203       | Sonderboring og injeksjon                          | 106        |
| 1204       | Sikringsarbeider                                   | 107        |
| 1205       | Driving av undersjøiske tunneler                   | 107        |

|      | <u>Side</u>   |     |
|------|---|-----|
| 1206 | Drenasjesystem  | 108 |
| 1207 | Tekniske anlegg   | 109 |
| 13.  | <b>ANDRE TUNNELKONSTRUKSJONER</b>                           | 110 |
| 1301 | Betongtunneler i løsmasser                                  | 110 |
| 1302 | Spesielle forhold ved bygging av betongtunneler i løsmasser | 113 |
| 1303 | Tunneler av korrugerte stålrør                              | 116 |
| 1304 | Senketunneler   | 117 |
| 1305 | Neddykkede rørbruer   | 119 |
| 14.  | <b>DRIFT OG VEDLIKEHOLD</b>                                 | 121 |
| 1401 | Generelt  | 121 |
| 1402 | Overtakelse   | 121 |
| 1403 | Systematisk vedlikehold                                     | 122 |
| 1404 | Øvrig trafikkrettet vedlikehold                             | 127 |
| 1405 | Vintervedlikehold   | 128 |
| 1406 | Vedlikehold av grøntareal                                   | 128 |
| 1407 | Sikkerhet i forbindelse med vedlikeholdsarbeid              | 129 |

## Kapittel 1 Kvalitetssikring

### 100 Generelt

Det henvises til Håndbok -143 Kvalitetsikring for Vegproduksjon, Håndbok -148 Kvalitetssikring for vegtunnelbygging og Håndbok -085 Teknisk kvalitetskontroll.

Kvalitetssikring er en nødvendig del av et prosjekt både av hensyn til sikkerhet og økonomi. Kvalitetssikringen skal legges opp slik at hver utførende innen prosjektet er ansvarlig for å kontrollere og dokumentere at alle krav som gjelder for sitt arbeid er ivaretatt.

Alle kontrollaktiviteter skal i størst mulig grad gjøres innenfor hver enkelt utførende gruppe.

Kvalitetssikringssystemet skal ved regelmessig revisjon tilpasses endringer i rutiner for oppgaveløsning.

Kvalitetssikring skal tilpasses den enkelte oppgave, og være en medvirkende årsak til reduksjon av de totale kostnader ved at feil og mangler elimineres i tide.

#### Definisjoner:

- **Kvalitet:**  
Overensstemmelse med spesifiserte krav
  
- **Kvalitetssikring:**  
Systematiske tiltak for å sikre at forutsatt kvalitet blir oppnådd.
  
- **Kvalitetsplan:**  
Oversikt over alle systematiske tiltak for å sikre at kvalitet blir planlagt og oppnådd i et bestemt prosjekt.
  
- **Kvalitetskontroll:**  
Kontroll av om resultatet stemmer overens med spesifikasjonene.
  
- **Avvik:**  
Uoverensstemmelse mellom resultat og spesifiserte krav.
  
- **Kvalitetsrevisjon:**  
Planlagt og systematisk gransking av kvalitetssikringssystem for å fastslå om det følges opp og fungerer som spesifisert.



- Kvalitetssikringssystem:  
Organisert samvirke som skal ivareta kvalitetssikring, bl.a. basert på en kvalitetssikringshåndbok.
- Prosjektprotokoll:  
Et dokument som følger et prosjekt fra begynnelse til slutt. Prosjektprotokollen inneholder "nøkkeldata" for prosjektet, til hjelp i kvalitetssikringen av det endelige produkt.

| KVALITETSSIKRINGS-<br>OPPGAVE   | OPPGAVEN LØSES<br>GJENNOM  | TIDSPERSPEKTIV   |
|---|--|--|
| Gjennomføre kvalitetssikring i plan-<br><br>og<br>prosjekteringsfasen<br>- egenprosjektering<br>- konsulent | Prosjektprotokoll  | Start utredningsplan<br><br>Ferdig detaljplan<br><br>Grunnerverv |
| Utarbeide kvalitetsplan for anleggsfasen  | Kvalitetsplan  | I tilknytning til produksjons-<br>planleggingen                  |
| Gjennomføre kvalitetssikring i anleggsfasen<br>- egenregi<br>- entreprise                                   | Prosjektkontroll<br>Løpende kvalitets-<br>rapportering og<br>avviksanalyse | Løpende oppgaver   |
| Rapportere kvalitet for ferdig produkt  | Sluttrapport   | Sammen med økonomisk<br>sluttrapport                             |
| Utarbeide kvalitetsplan for drift og vedlikehold  | Kvalitetsplan  | Driftsfase   |

Figur 1.1 Kvalitetssikringsoppgaver på ulike prosjektnivåer

## 101 Kvalitetsplan

### 101.1 Generelt

Det skal utarbeides en kvalitetsplan for hvert tunnelanlegg. Planen skal omtale hvilke kvalitetskrav som gjelder og hvordan kvalitetssikringen skal utføres på dette spesielle anlegget. Spesiell vekt skal legges på rutiner for hvordan kvaliteten skal dokumenteres og rutiner for avviksbehandling.

Kvalitetsplanen skal minst inneholde følgende:

- Målsetting for tunnelanlegget
- Organisering av prosjektet. Klarlegging av ansvarsforhold
- Kvalitetskrav for det aktuelle anlegget. Rutiner for hvordan kvalitets-sikringen skal utføres i de forskjellige prosessene
- Avviksbehandling
- Planlegging og oppfølging av tunnelanlegget  
Fordeling av ansvarsområder. Oversikt over skjemaer og hjelpemidler som skal brukes for dokumentasjon
- Rutiner for dokumentasjon av kvalitet

Kvalitetsplanen skal utarbeides før anlegget startes og i samarbeid med medarbeiderne på anlegget. Selve planen skal korrigeres og ajourføres under anleggsarbeidet.

### 101.2 Kvalitetsplan for i egenregionlegg

Kvalitetsplanen skal utarbeides samtidig med produksjonsplanen og av de personer som får ansvaret for produksjonen. Planen skal være i henhold til de kvalitetssikringshåndbøker som til enhver tid gjelder.

I tillegg til det innhold som kreves i henhold til punkt 101.1 Generelt, bør en kvalitetsplan for egenregionlegg omfatte følgende:

- Rutiner for oppdatering av byggeplan
- Dokumentasjon av at kvalitet i henhold til byggeplan er oppnådd
- Overlevering til vedlikehold og drift
- Instruksjoner for vedlikehold og drift
- Garantibestemmelser for enkeltprodukter
- Erfaringsoverføring
- Prosjektgjennomgang med oppdatering av eventuell databank og sluttrapport

### 101.3 Kvalitetsplan for entreprisanlegg

Ved entreprisanlegg skal det utarbeides en kvalitetsplan som bygger på entreprenørens kvalitetssikringssystem, men som er konkret tilpasset det aktuelle tunnelprosjektet.

Planen skal normalt leveres byggherren 4 uker etter at avtale er inngått. Hvis det inngår arbeider med spesiell vanskelighetsgrad skal det i tillegg forlanges at en orienterende kvalitetsplan leveres inn sammen med anbudet.

I tillegg til det innhold som kreves i henhold til punkt 101.1 Generelt, bør en kvalitetsplan for entreprisedrift inneholde følgende:

- Stillingsbeskrivelse for entreprenørens anleggs- og arbeidsledelse
- Prosedyrer for viktige arbeidsoperasjoner rettet mot dem som skal utføre arbeidet
- Kvalitetssikringsrutiner for under-entreprenører
- Kvalitetsrutiner for innkjøp

Spesielt gjelder dette der det er opp til entreprenøren å velge produkt

- Overlevering
- Dokumentasjon av at kvalitet i henhold til kontrakt er oppnådd. Instruksjoner som er nødvendige for byggherrens videre drift og vedlikehold. Garantibestemmelser for enkeltprodukter. Plan for eventuelle arbeider i garantiperioden. Dette gjelder i særlig grad hvis grøntarealer inngår i entreprenørens arbeider

### 102 Endringer av tekniske planer

Før eventuelle tekniske planer, spesifikasjoner m.v. bli endret, skal anleggslederen/byggelederen forelegge endringsforslaget for sin overordnede, såfremt ikke endringen er uvesentlig og ikke kan tenkes å ha innflytelse på andre forhold.

Sammen med endringsforslaget skal det foreligge en vurdering av de tidsmessige og økonomiske konsekvensene av endringen.

Vesentlige endringer ved konstruksjoner skal godkjennes av den som har godkjent byggeplanen/ anbudsgrunnlaget.

Generelt bør det vektige grunner til for å endre forutsatt utførelsesmåte.

Alle forandringer av planer, beskrivelser og tegninger skal dokumenteres.

### **103 Rapportering**

#### **103.1 Rapportering i anleggsfasen**

Anleggslederen/byggelederen skal skrive rapport fra anlegget etter fastsatte rutiner. Rapporten bør minst inneholde en kort oversikt over:

- Oversikt utførte arbeider
- Hvilke ressurser som er benyttet
- Utvikling i forhold til opprinnelig produksjonsplan
- Oversikt over tilleggsarbeider, påbegynte eller utførte
- Forandringer av opprinnelige planer
- Oversikt anleggets økonomiske status
- Forventet anleggskostnad i forhold til overslag
- Spesielle kontrollresultater
- Temperaturforhold, nedbør o.l. (eventuelt)

Rapporten må tilpasses anleggets størrelse og vanskelighetsgrad.

#### **103.2 Sluttrapport**

Når anlegget er satt under trafikk, skal det utarbeides tekniske og økonomiske sluttrapper. Eventuelle gjestående kostnader eller måleresultater antas. Det skal i forbindelse med sluttrapporten foretas en prosjektvurdering med evaluering av prosjektet.

## Kapittel 2 Forundersøkelser

### 200 Ingeniørgeologisk forundersøkelse

#### 200.1 Generelt

Ved tunnelprosjektering er det nødvendig å utføre ingeniørgeologiske forundersøkelser.

Det stilles ulike krav til forundersøkelser for de forskjellige planstadier. Før forundersøkelser settes igang skal planansvarlig ta stilling til omfanget slik at det er tilpasset det aktuelle plannivået. I denne forbindelse skal det gjøres en nytte/kostnadsvurdering av undersøkelses-omfanget.

#### 200.2 Utredningsplan

Forundersøkelsen skal som et minimum omfatte:

- Innsamling og vurdering av eksisterende informasjon

Dette vil kunne omfatte geologiske og topografiske kart, publikasjoner (NGU, NGI etc.) og eventuelle rapporter fra tidligere utførte undersøkelser.

- Studie av flyfotos (M = 1 : 15 000 - 1: 30 000)
- Befaring i marken
- Rapport

Det skal utarbeides rapport som inneholder en grov oversikt over geologiske forhold som gir grunnlag for å vurdere gjennomførbarhet og størrelsesorden for kostnader.

#### 200.3 Hovedplan

Forundersøkelsene skal gi grunnlag for et hovedplanoverslag (nøyaktighet  $\pm 25\%$ ).

På basis av utredningsrapporten fastlegges behovet for videre forundersøkelser.

- Flyfotostudier basert på stereoskopiske foto (M=1:6000-15 000) sammenholdt med topografiske kart (M=1:5000)

På basis av disse klarlegges løsmasser/fjell i dagen, knusningssoner og strukturetninger i fjellet.

- Kartlegging i marken.

Denne skal normalt omfatte registrering av følgende:

- \* Løsmasser, typer og mektighet
- \* Bergarter
- \* Lagdeling/foliasjon
- \* Oppsprekking
- \* Knusningssoner
- \* Påhuggsmuligheter. Overdekning
- \* Grunnforhold som berører miljøet

- Geofysiske undersøkelser, fjellkontrollboringer.

I spesielle tilfeller vil det være nødvendig og å supplere kartleggingen med geofysiske undersøkelser og/eller enkle fjellkontrollboringer.

Etter at forundersøkelsene er utført skal det settes opp en sluttrapport. Rapporten skal gi grunnlag for valg av alternativ og utarbeidelse av kostnadsoverslag med nøyaktighet  $\pm 25\%$ . Normalt skal rapporten inneholde:

- Generell beskrivelse av de geologiske forholdene
- Kartter og profiler som viser bergartgrenser og svakhetssoner
- En analyse av sprekke tettheten og sprekke orienteringen
- En oversikt over forventede stabilitetsforhold og vannlekkasjer i tunnelen
- En vurdering av metode for og omfang av sikringsarbeidene
- Grunnforhold og omgivelser. Vurdering av tiltak
- En vurdering av påhuggsområdene med hensyn på stabilitet, rasfare og vannlekkasje
- Vurdering av aktuelle tunneltraséer, som grunnlag for valg

I de fleste tilfeller er det nødvendig å gå videre med undersøkelsene. Rapporten skal derfor inneholde en plan for videre detaljundersøkelser.

#### 200.4 Detaljplan

I detaljplanfasen vil det, avhengig av de stedlige forholdene, ofte være nødvendig å supplere de utførte undersøkelsene med tiltak som geofysiske undersøkelser, fjellkontrollboringer og kjerneboringer.

Forslag til tiltak for å sikre at det ikke oppstår uønskede skadevirkninger for naboeiendommer og omgivelser skal foreligge.

Et kostnadsoverslag på detaljplannivå skal ha en nøyaktighet på  $\pm 10 \%$ .

Det utarbeides rapport som for hovedplan.

Når det gjelder supplerende undersøkelser for undersjøiske tunneler, henvises det til kapittel 12 Spesielle forhold ved undersjøiske tunneler.

#### 200.5 Anbud

For anbud skal det utarbeides en egen geologisk rapport. Denne rapporten utarbeides på grunnlag av hovedplan/-detaljplanundersøkelser og utformes spesielt for anbud.

Dette skyldes at arbeidsbeskrivelser knyttet til driving, sikring, komplettering etc. behandles andre steder i anbudsgrunnlaget.

Rapporten skal gi entreprenørene et grunnlag for egne vurderinger og tolkninger av geologiske forhold. Rapporten skal derfor inneholde:

- Beskrivelse av geologiske forhold
- Gjengivelse av eventuelle måleresultater fra de utførte detaljundersøkelsene
- Kart og profiler som viser antatt forløp av bergartsgrenser og svakhetssoner
- Analyse av sprekketetthet og sprekkeorientering

## Kapittel 3 Tunnelutforming

### 300 Generelt

Tunnelene skiller seg fra veg i dagen blant annet gjennom forhold som:

- Ingen sideaktivitet
- Andre forhold vinterstid
- Jevne lysforhold over døgnet og året, bortsett fra i inngangssonen.
- Vanskelig å bedømme stigning og fall
- Andre forhold for sikkerhet, redningstjeneste m.v.

Dette er forhold som gjør at flere utformings-elementer må være annerledes enn for veg i dagen.

Krav til standard øker med økende trafikkmengde og tunnellengde. Tunnelene er derfor delt inn i klasser som blir bestemmende for geometrisk kvalitet og utrustning.

### 301 Tunnelklasser

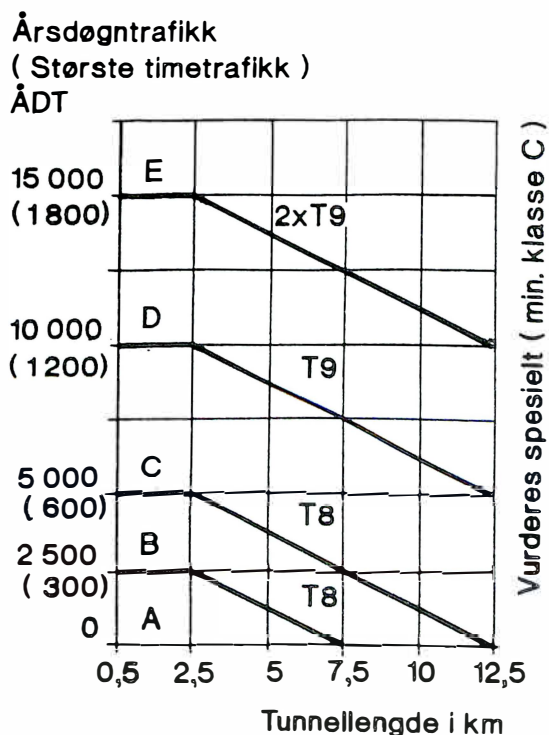
Med utgangspunkt i ÅDT (eller største timetraffikk ved ujevn trafikkfordeling over døgn/år) og tunnellengde deles tunnelene inn i fem klasser. Se figur 3.1. Valg av klasse skjer etter en vurdering av trafikkmengde og tunnellengde. Tunnelklassene er utgangspunktet for å bestemme antall tunnellop, avstand mellom og utforming av snunisjer, behov for havarilommer, og sikkerhetsutrustning. Figuren angir også det tunnelprofil som normalt skal benyttes i de ulike klasser.

Dersom rømning lettvis kan skje via kjørbart tverrslag ut av tunnelen, settes tunnellengde i figur 3.1 som største avstand mellom tverrslag og tunnelåpning.

I bratte tunneler kan det bli nødvendig å velge et annet tunnelprofil enn angitt i figur 3.1. Se avsnitt 310.5, Forbikjøringsfelt.

På stamveger benyttes ikke mindre tverrsnitt enn T8,5 som angitt i figur 3.6.

Når det gjelder sikkerhetsutrustning, henvises til kapittel 4.



Figur 3.1 Tunnelklasser



### 302 Dimensjoneringsår

For linjeføring og andre standardelementer som ikke kan utbedres over tid, benyttes den ÅDT som forventes 20 år etter åpningen av tunnelen.

Ved vurdering av sikkerhetsutstyr og teknisk utstyr forøvrig benyttes den ÅDT som forventes 10 år etter åpningen, fordi det er relativt enkelt å forbedre tunnelen senere når behovet for tilleggsutrustning melder seg.

### 303 Tverrsnitt

Tunneltverrsnittet skal gi tilstrekkelig plass til at typekjøretøy kan passere hverandre med tilstrekkelig klaring, samt til nødvendig vegutstyr og teknisk utstyr. Tverrsnittet velges i utgangspunktet i henhold til vegbredden for veg i dagen. Tunneler klassifiseres som "kostbart terreng". Skulderbredden kan derfor reduseres gjennom tunnelen. Ved korte tunneler (under 500 m) vil dette virke unaturlig. Vegbredden kan da føres uendret gjennom tunnelen.

### 304 Tunnelprofiler

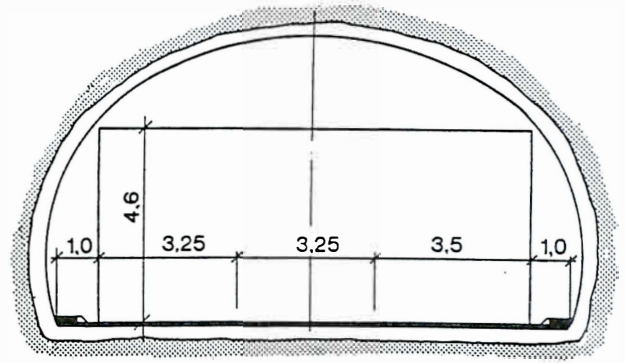
Tunnelprofil T8-T12 utformes sirkulært over kjørebanelivå. Tunnelprofil T4 og T5 utformes med rette vegger som vist.

Fri høyde i tunneler skal normalt være 4,6 m. Fri høyde kan reduseres til 4,1 m på sekundære veger.

Tunnelene betegnes etter bredde i kjørebanelivå. En tunnel med kjørebanebredde = 6 m og skuldre = 2 x 1 meter blir totalt 8 m. Tunnelen betegnes da T8.

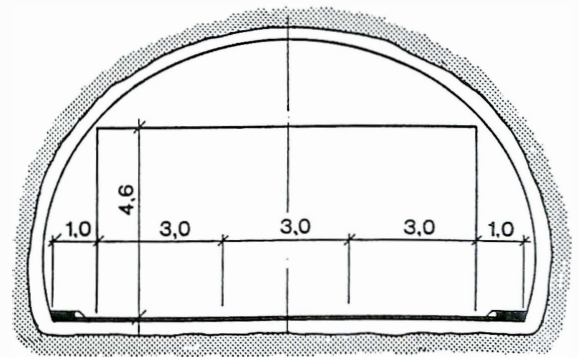
Følgende tunnelprofil benyttes:

TUNNELPROFIL T12 brukes i de tilfeller det er behov for tre felt på veger i tunnelklasse E eller D.



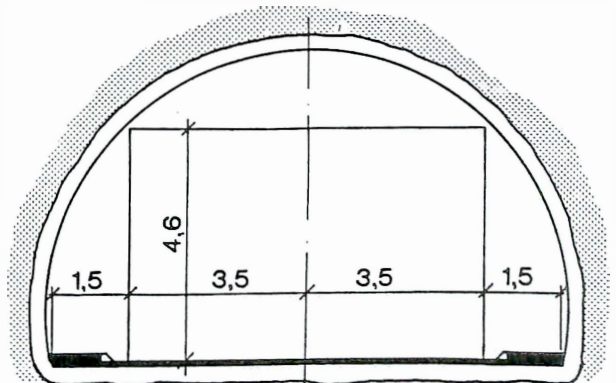
Figur 3.2 Tunnelprofil T12

TUNNELPROFIL T11 brukes når det er behov for tre kjørefelt i de øvrige tunnelklassene. Profilet gir også rom for to kjørefelt og en gang- og sykkelbane. Se figur 3.18.



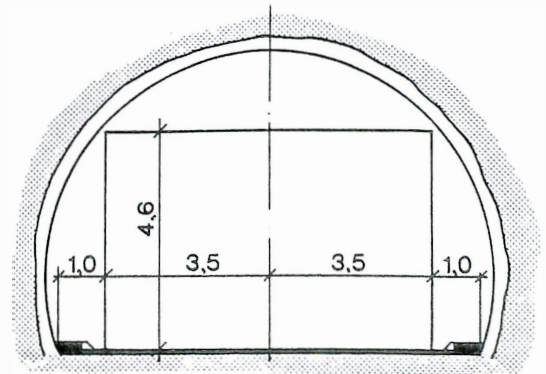
Figur 3.3 Tunnelprofil T11

TUNNELPROFIL T10 kan brukes for korte tunneler (<500 m) og med bruksområde forøvrigt som T9.



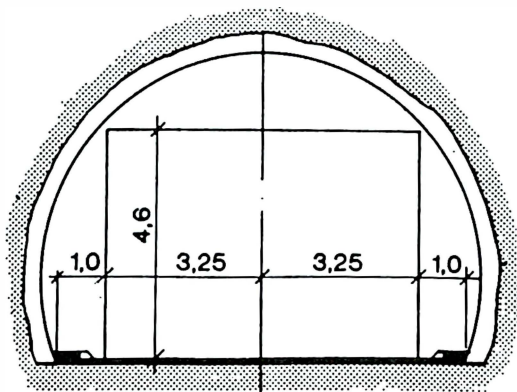
Figur 3.4 Tunnelprofil T10

TUNNELPROFIL T9 brukes for tunneler med tovegstrafikk i tunnelklasse D, og for hvert løp for tunneler i tunnelklasse E.



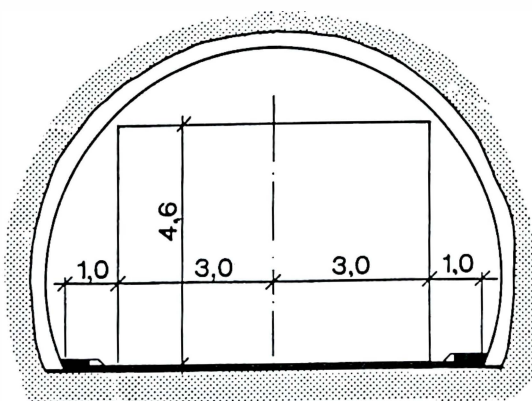
Figur 3.5 Tunnelprofil T9

TUNNELPROFIL T8,5 brukes for tunneler med tovegstrafikk på stamveger istedet for T8.



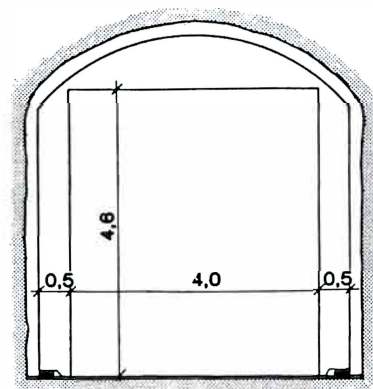
Figur 3.6 Tunnelprofil T8,5

TUNNELPROFIL T8 brukes for tunneler med tovegstrafikk i tunnelklasse C, B og A. Profilet kan også benyttes i tunnelklasse D dersom det bygges to løp.



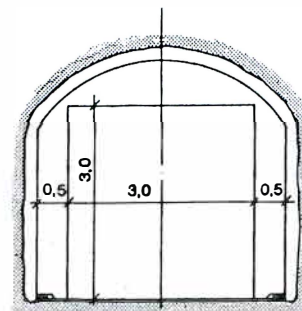
Figur 3.7 Tunnelprofil T8

TUNNELPROFIL T5 brukes på enfeltsveg i tunnelklasse A ved ÅDT < 300. I T5 benyttes ikke kantstein som kjørebaneavgrensning.

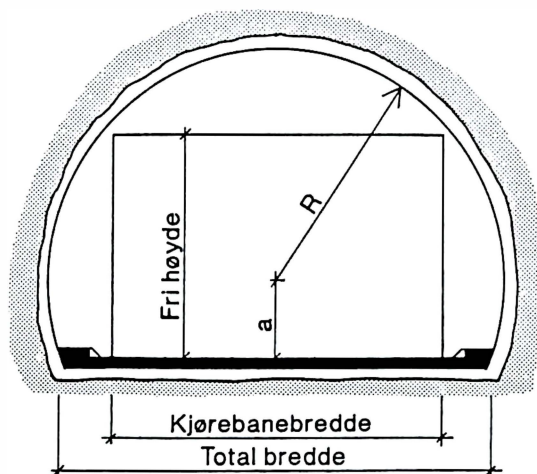


Figur 3.8 Tunnelprofil T5

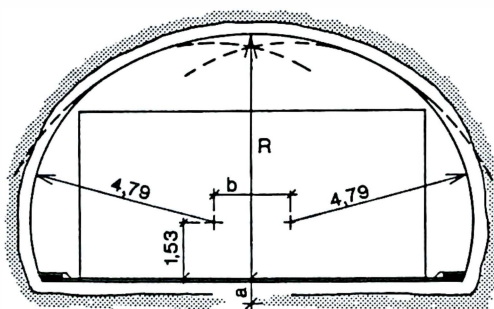
TUNNELPROFIL T4 brukes for gang- og sykkelveger. Fri høyde er normalt 3 m.



Figur 3.9 Tunnelprofil T4



| PROFIL | TOTAL BREDDE<br>m | KJØREBANE BREDDE<br>m | FRI HØYDE<br>m | SENTER-HØYDE a<br>m | RADIUS R<br>m | AREAL F<br>m <sup>2</sup> |
|--------|-------------------|-----------------------|----------------|---------------------|---------------|---------------------------|
| T10    | 10,0              | 7,0                   | 4,6            | 1,05                | 5,13          | 52,03                     |
| T9     | 9,0               | 7,0                   | 4,6            | 1,53                | 4,79          | 50,45                     |
| T8,5   | 8,5               | 6,5                   | 4,6            | 1,62                | 4,55          | 46,90                     |
| T8     | 8,0               | 6,0                   | 4,6            | 1,64                | 4,36          | 43,78                     |
| T5     | 5,0               | 4,0                   | 4,6            | 2,16                | 3,31          | 25,62                     |
| T4     | 4,0               | 3,0                   | 3,0            | 1,33                | 2,40          | 13,63                     |



| PROFIL | SENTER HØYDE<br>a<br>m | SENTER AVSTAND<br>b<br>m | RADIUS R<br>m | AREAL F<br>m <sup>2</sup> |
|--------|------------------------|--------------------------|---------------|---------------------------|
| T11    | 0,44                   | 2,0                      | 7,0           | 63,78                     |
| T12    | 1,31                   | 3,0                      | 8,0           | 70,73                     |

Figur 3.10 Dimensjoner for tunneprofiler ved ensidig tverrfall. Oppgitt areal gjelder over kjørebane.

I beregningen er det lagt til 0,2 m i høyde utover 4,6 m. Dette for å gi ekstra klaring for senere justering av vegdekke (0,1 m) og for å ivareta normale toleransene for vegoverbygning og platehvelv/utstøping (0,1 m). Hvis de aktuelle toleransene avviker fra dette, skal senterhøyden korrigeres. Se figur 3.10.

Ved ensidig tverrfall dreies profilet om senter vegbane. Figur 3.10 gjelder derfor uavhengig av tverrfallets størrelse.

Takfall benyttes normalt ikke i tunnel.

Fri høyde måles i kjørebane kant, midt på kantlinjen og vinkelrett på vegbanen. Sidearealet utføres normalt med asfalt eller betongdekke og med helning 5% mot kjørebane. Det benyttes lav ikke-avvisende kantstein plassert 0,25 m fra kjørebane kant. Se figur 3.11.

Eksempel på kantstein utforming er vist i figur 3.12.

For profiler uten kantstein asfalteres normalt til 0,25 m utenfor kjørebane kant. Se figur 3.11.

Tunnelprofil vil normalt gi rom for tekniske installasjoner som veglys og ventilasjonsvifter. Klaring mot trafikkrommet skal være min. 0,1 m for all teknisk utrustning inklusive skilt.

Trafikkskilt på tunnelvegg eller i tak kan gi behov for lokale utvidelser av profilet.

Betongtunnel kan ha et rektangulært profil. For å redusere høyden av betongtunneler kan teknisk utrustning, f.eks. lys, ventilasjonsutstyr og skilt plasseres over fortau/skulder. Det kan da bli nødvendig å øke skulderbredden.

I figur 3.13 er det vist sammenheng mellom normalprofil og teoretisk sprengningsprofil.

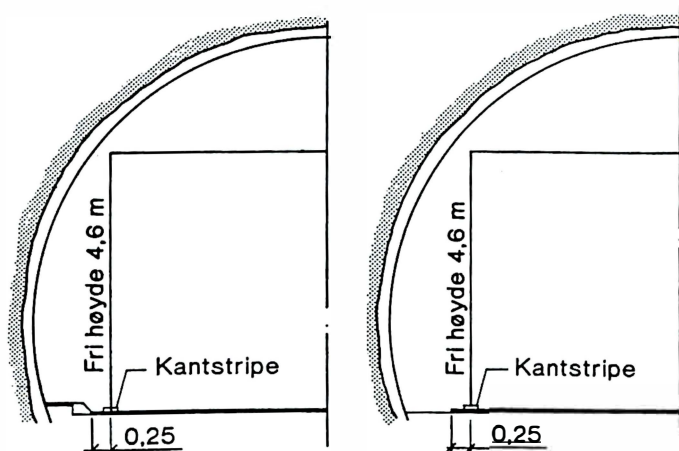
### 305 Utforming under vegbanenivå

Teoretisk sprengningsprofil i tunnelsålen bestemmes av overbygningstykkelse og tverrfall.

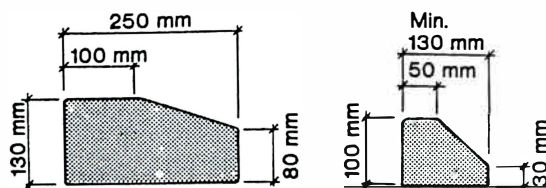
Den råsprenge sålen skal ha tverrfall på minst 5% mot hovedgrøft.

Forøvrig henvises til kapittel 8 Vegfundament og vegdekke.

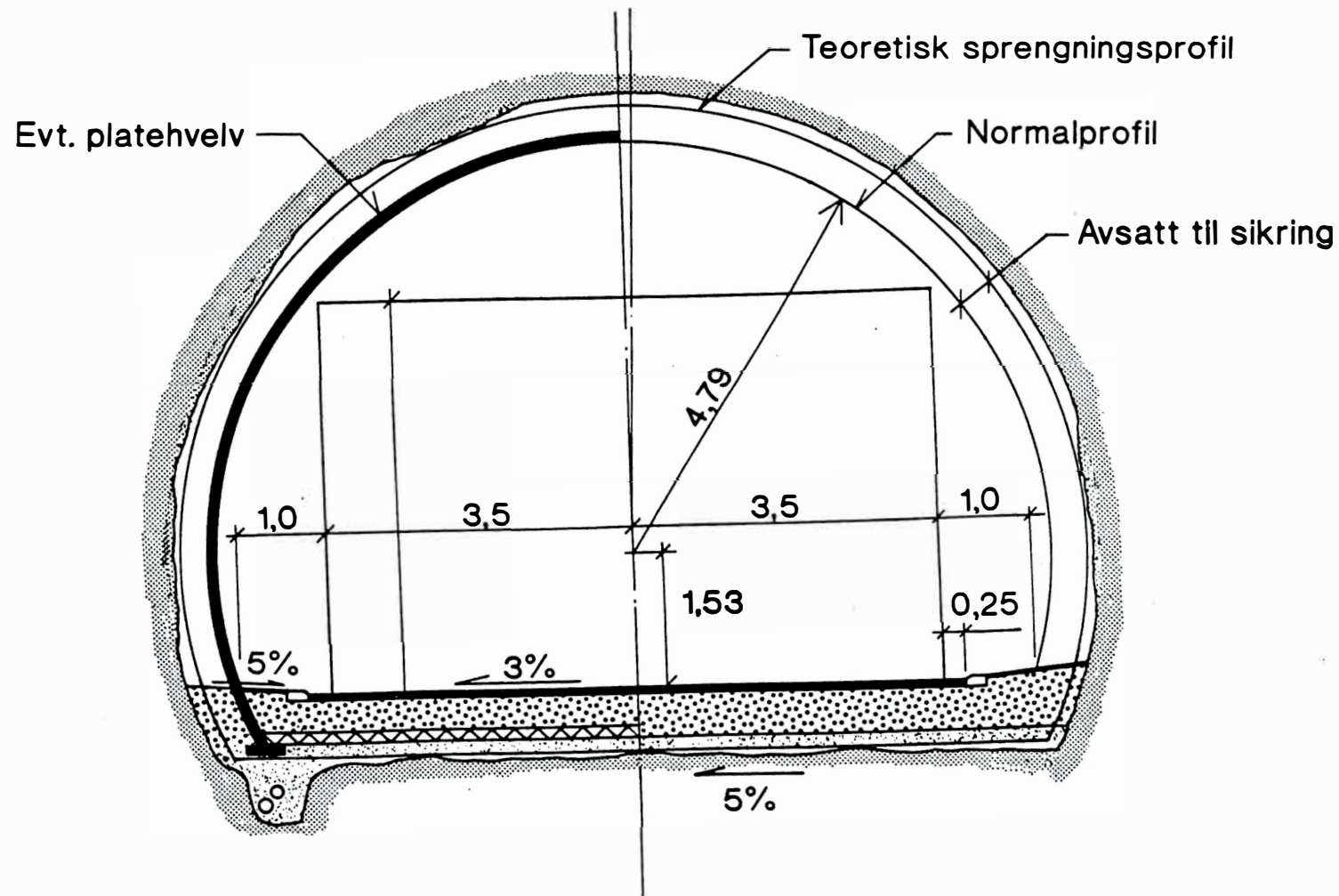
Grøftene skal utformes i henhold til vann- og frostmengdene på stedet, se kapittel 7, Drenering.



Figur 3.11 Måling av fri høyde



Figur 3.12 Kantstein



Figur 3.13 Sammenheng mellom normalprofil og teoretisk sprengningsprofil. Eksempel tunnelprofil T9.

### 306 Rømning

Mulighet for å rømme tunnelen skal vurderes i de ulike tunnelklasser.

Rømningsmulighet kan ivaretas på to måter:

- I tunneler med tovegstrafikk varsles trafikantene, de snur i tunnelen og kjører ut igjen. Det anlegges tydelige merkede snunisjer. Kfr. avsnitt 307.
- I tunneler med to parallelle tunnelløp ivaretas rømning ved tverrforbindelser mellom tunnelløpene.

I tunneler med to løp forutsettes det at rømning av tunnelen skjer via tverrforbindelser mellom løpene. Disse plasseres for hver 250 m.

Behov for kjørbare tverrforbindelser vurderes spesielt. I de fleste tilfeller vil en avstand på 1–2 km være tilstrekkelig.

Gangbare tverrforbindelser bygges som T4 og kjørbare tverrforbindelser som T5.

### 307 Havarilommer og snunisjer

Havarilommer skal muliggjøre parkering utenfor kjørebanelen ved nødstop. Lommene kan også brukes for å gi plass til teknisk utstyr. Havarilommer utformes som vist på figur 3.14.

Havarilommer/snunisjer skal belyses særskilt slik at de visuelt skiller seg ut fra tunnelen for øvrig.

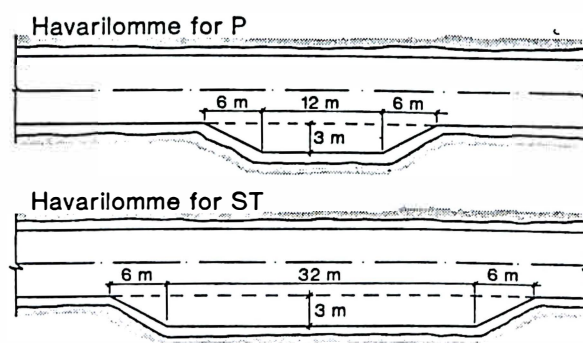
I tovegstunneler anlegges det snunisjer. Havarilommer vil fungere som snunisjer for personbiler. Snunisjer for ST utformes som vist på figur 3.15.

I trefeltstunneler kan en personbil snu i kjørebanelen. Snunisjer for større kjøretøy anlegges som angitt.

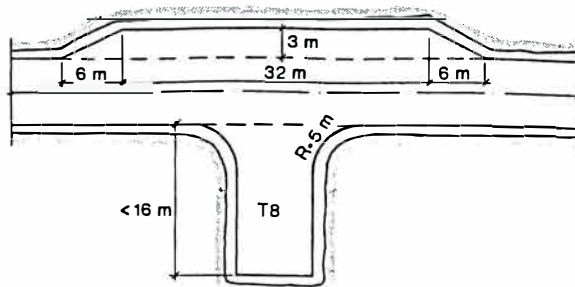
Normalavstand for havarilommer og snunisjer fremgår av figur 3.16.

Plassering skal tilpasses lokale forhold (eks. fjellforhold, mulighet for kombinasjonsløsninger etc.).

Havarilommer eller snunisjer skal ikke plasseres i eller i forlengelsen av en ytterkurve eller i inngangssonen.



Figur 3.14 Havarilommer



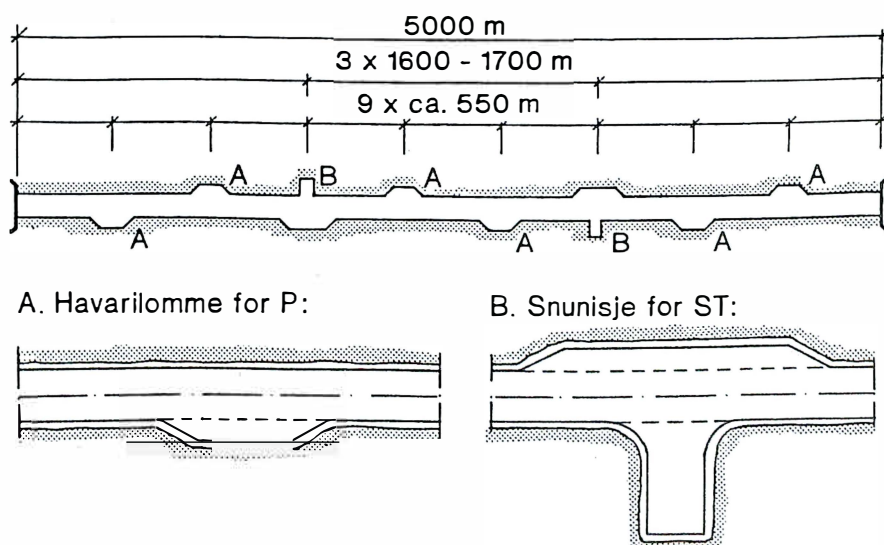
Figur 3.15 Snunisje for ST

De gitte avstandene for havarilommer gjelder for tunnelen under ett. I tunneler med tovegs trafikk skal havarilommene normalt plasseres vekselvis på høyre og venstre side.

Et eksempel på plassering av havarilommer og snunisjer er vist i figur 3.17.

| Tunnel-klasse | Normalavstand havarilomme | Normalavstand snunisje for ST | Kommentar   |
|---------------|---------------------------|-------------------------------|---|
| E             | 500 - 1000 m              | 1000 - 2000                   | Tunneler med to løp. Snunisje erstattes av kjørbare gjennomgang |
| D             | 250 m                     | 1000 - 2000 m                 | Annenhver havarinisje dimensjoneres for ST                      |
| C             | 500 m                     | 1000 - 2000 m                 | Annenhver havarinisje dimensjoneres for ST                      |
| B             | 500 m                     | 1000 - 2000 m                 | Ikke krav om havarinisje for ST                                 |
| A             | -                         | -                             | Ikke krav om havarinisje eller snunisje                         |

Figur 3.16 Havarilomme og snunisjer. Oversikt



Figur 3.17 Eksempel på plassering av havarilommer og snunisjer for tunnel i tunnelklasse B. Det er behov for 6 havarilommer for P med avstand ca. 500 m og to snunisjer for ST



### 308 Møteplasser

I enfeltstunneler med tovegstrafikk skal det anlegges møteplasser. Avstanden mellom møteplassene skal være slik at bilføreren kan se fra en møteplass til den neste, men ikke lenger enn 200–300 m.

Møteplasser utformes som havarilomme for ST, se figur 3.14.

### 309 Gang- og sykkeltrafikk

Det kan bli nødvendig å tillate gang- og sykkeltrafikk i tunneler når det ikke finnes gode alternative ruter. Tunnelen bør i så fall ikke være lengre enn 4 km. Det stilles spesielle krav til belysning og ventilasjon. Kfr. kapittel 9 og 10.

Fri høyde over gang- og sykkelareal skal være min. 3,0 m.

Tunnelprofil T11 er utformet slik at en gang- og sykkelbane, adskilt fra biltrafikk med betongrekkverk, får plass sammen med en tofelts kjøreveg.

Ved liten fotgjengertrafikk i korte tunneler, kan smalere fortau brukes, f.eks. med høy kantstein. Fartsgrensen forutsettes å være lav.

Der separat gang- og sykkelveg føres i egen tunnel, brukes profil T4.

### 310 Linjeføring

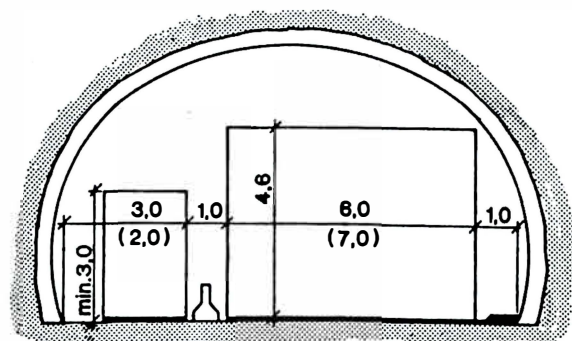
#### 310.1 Generelt

Kravene til linjeføring i tunneler avviker fra veg i dagen på grunn av spesielle kjøreforhold.

#### 310.2 Dimensjonerende fart

I tunneler blir minste horisontalkurve bestemt av siktforholdene. Kjøredynamisk kan derfor kurvene trafikeres med større fart enn den dimensjonerende. Dersom tunnelen er lang (> 2,5 km), bør dimensjonerende fart settes til minst 80 km/t.

Dersom tunnelen også er brattere enn 6% i en lengde av minst 1 km, skal dimensjonerende fart settes til minst 80 km/t, hvis det ikke settes i verk spesielle tiltak for å kontrollere fartsnivået.



Figur 3.18 Gang- og sykkelveg i tofelts tunnel

For kortere tunneler og for tunneler i byområder kan det velges en dimensjonerende fart som er tilpasset den vegstrekningen tunnelen blir en del av.

Sikkerhetsmessige konsekvenser av eventuelle fartsovertredelser i tunnelen skal vurderes.

### 310.3 Horisontalkurvatur

Siktforholdene vil bestemme minste horisontalkurve.

Horisontalkurveradius finnes av formelen:

$$R = LS^2 / 8B$$

LS = siktlinjens lengde i m (stoppsikt)

B = avstand fra bilførerens øye til tunnelveggen

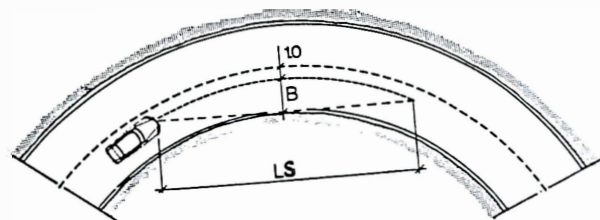
Se figur 3.19 og 3.20.

I tovegs tunneler regnes øyepunktet å ligge 1,1 m over kjørebanelen og i en avstanden 1 m fra vegens midtlinje.

I venstrekurve i envegstunneler legges øyepunktet 1 m fra kantlinjen.

Krav til breddeøkning er som for veg i dagen.

Breddeøkning tas ensidig uten endring av radius for tunnelveggen.



Figur 3.19 Siktlinje i tunnel

| Dim. fart i km/t | ÅDT 0 - 1500<br>Stigningsgrad s |          |         | ÅDT 1500 - 5000<br>Stigningsgrad s |          |         | ÅDT > 5000<br>Stigningsgrad s |           |         |
|------------------|---------------------------------|----------|---------|------------------------------------|----------|---------|-------------------------------|-----------|---------|
|                  | -8 - +10%                       | +7 - +7% | 8 - 10% | +8 - +10                           | +7 - +7% | 8 - 10% | +8 - +10%                     | +7 - +10% | 8 - 10% |
| 50               | 55                              | 49       | 41      | 59                                 | 57       | 47      | 64                            | 54        | 49      |
| 60               | 72                              | 64       | 58      | 79                                 | 68       | 61      | 88                            | 73        | 64      |
| 70               | 94                              | 82       | 74      | 103                                | 87       | 77      | 116                           | 94        | 82      |
| 80               | 119                             | 102      | 91      | 131                                | 103      | 96      | 149                           | 119       | 102     |
| 90               | 146                             | 124      | 110     | 164                                | 134      | 116     | 189                           | 147       | 124     |
| 100              | 178                             | 149      | 131     | 201                                | 162      | 139     | 234                           | 178       | 149     |
| 110              | 215                             | 177      | 154     | 244                                | 193      | 165     | 288                           | 215       | 177     |
| 120              | 255                             | 208      | 180     | 293                                | 229      | 193     | 350                           | 255       | 208     |

Figur 3.20 Krav til stoppsikt LS i m for ulike stigningsgrad, ÅDT og dimensjonerende fart

## 310.4 Vertikalkurvatur

Største stigning for tunneler er i utgangspunktet den samme som for veg i dagen. Dersom stigningens lengde blir større enn 1 km, gjelder verdiene i figur 3.21.

Dersom det anlegges forbikjøringsfelt, kan verdiene i tabellen økes med 1%.

Tunneler av lokal karakter og med små trafikkmengder kan bygges med stigning opp til 10%. Dette skal avklares med Vegdirektoratet i hvert enkelt tilfelle.

Dersom tunnelen bygges med 2 x 2 felt, blir største stigning som vist i figur 3.22.

ÅDT-verdiene i figuren gjelder begge tunnellop samlet. Verdiene i parentes benyttes dersom stigningens lengde blir større enn 1 km.

ÅDT-verdiene i figur 3.21 og 3.22 gjelder vegstrekninger med en normal trafikkfordeling over året og med en tungtrafikkandel i området på 10 - 15%.

I bynære områder med typiske morgen- og ettermiddagsrush, hvor tungtrafikkandelen i maks. - timen er <7%, kan ÅDT-verdiene i tabellene økes med 25%.

## 310.5 Forbikjøringsfelt

Behovet for forbikjøringsfelt skal i utgangspunktet vurderes som for veg i dagen.

I stigninger som er lengre enn 1 km og brattere enn 6%, skal et eget forbikjøringsfelt anlegges når ÅDT blir større enn 3000.

Feltet begynner der fartsdifferansen mellom tungt og lett kjøretøy blir 15 km/t eller større.

I lange tunneler (stigning lengre enn 1 km) skal 2 x 2 felt anlegges når ÅDT blir større enn 5000 og tunnelen er brattere enn 6%.

I bynære områder med typiske morgen- og ettermiddagsrush, hvor tungtrafikkandelen i maks. - timen er <7%, gjelder kravet om 2 x 2 felt først i tunnelklasse D for lange og bratte tunneler.

Tovegs tunneler:

|             |          |       |
|-------------|----------|-------|
| ÅDT         | 0 - 1500 | >1500 |
| MAKS STIGN. | 8%       | 7%    |

**Figur 3.21** Tillatt stigningsgrad for tunneler med tovegs trafikk

|        |         |             |         |
|--------|---------|-------------|---------|
| ÅDT    | <15 000 | 15 - 25 000 | >25 000 |
| STIGN. | 8% (7%) | 7% (6%)     | 6%      |

**Figur 3.22** Tillatt stigningsgrad for tunneler med ensrettet trafikk

### 310.6 Vertikalkurveradius

For tunneler vil normalt radius i lavbrekk være av største interesse.

Anbefalt vertikalkurveradius i forhold til dimensjonerende fart er vist i figur 3.23.

I slake lavbrekkskurver vil bilførere ha vansker med å oppfatte overgang mellom fall og stigning. Dette kan bety ufrivillig fartsreduksjon som gir redusert trafikkavvikling og fare for ulykker ved påkjøring bakfra.

Radius i høybrekk dimensjoneres som for veg i dagen i henhold til Håndbok -017.

Overgang fra fall til stigning kan markeres med fareskilt nr. 104 Bratt bakke, eller med horisontal merking på tunnelveggen.

## 311 Vegkryss i og utenfor tunneler

### 311.1 Generelt

Vegkryss i tunnel bør helst unngås. Det kan likevel være bedre med et godt utformet kryss inne i fjellet enn et dårlig kryss umiddelbart utenfor tunnelåpningen.

### 311.2 Kryss utenfor tunnelåpningen

Når vegen gjennom tunnelen er forkjørsvog, skal plankryss (X-kryss og T-kryss regulert med vikeplikt) ikke anlegges nærmere tunnelåpningen enn 2 x stoppsikt (LS).

Når trafikken fra tunnelen er vikeplikts- eller signalregulert, skal avstanden fra tunnelåpning til vikepliktlinje, stopplinje eller gangfelt ikke være mindre enn stoppsikt, beregnet utfra tunnelens fartsnivå. Ved tunneler i bystrøk med fartsnivå 50 km/t eller lavere kan denne avstanden reduseres dersom det sørges for tilfredsstillende sikt til trafikkøyer, skilt, lyssignaler og andre trafikanter. Det skal da legges spesiell vekt på å unngå blendingsproblemer ved utkjøring fra tunnelen.

| Dimensjoner<br>fart km/t<br>Standard<br>klasse | 30  | 40  | 50  | 60  | 70   | 80   | 90   | 100  |
|--|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|
| H1, S1   | 240 | 420 | 650 | 930 | 1270 | 1650 | 2090 | 2580 |
| H2, S2   | 140 | 250 | 390 | 560 | 760  | 990  | 1250 | 1550 |
| H3, S3, A1                                     | 100 | 180 | 280 | 400 | 550  | 710  | 900  | 1110 |

Figur 3.23 Minste tillatte radius i lavbrekk

I toplankryss ved tunnelmunning skal ingen feltlengder være kortere enn angitt i krysskapitlet i Håndbok -017. Påkjøringsramper skal være avsluttet før tunnelåpning.

Direkteført avkjøringsrampe må ikke starte nærmere etter tunnelåpning enn stoppsikt. Parallellført fartsreduksjonsfelt kan starte med overgangsstrekning ved tunnelåpning, men kan også i sin helhet legges inn i tunnelen. I så fall må det legges inn en ekstra lengde på 50 m utenfor tunnelen. Ved slikt fartsendringsfelt inn i tunnelen skal det benyttes vegvisningsskilt over kjørebanelen. Se figur 3.24.

### 311.3 Kryss i tunnel, generelt

Krav gitt i Håndbok -017 til kryssplassering og kryssutforming gjelder hvis ikke annet er angitt.

Kryss i tunnel gir ofte store fjellrom. Det skal derfor alltid gjennomføres bergmekaniske vurderinger for å klarlegge om nødvendige breddeutvidelser er mulige.

Av lystekniske årsaker skal ingen del av vegkryss i tunnel (breddeutvidelse eller ramper) plasseres nærmere tunnelåpning enn en lengde tilsvarende belysningskravenes Inngangssone + Overgangssone I + 50% av Overgangssone II (unntatt fartsreduksjonsfelt, se figur 3.25). I kryssområdet og på strekninger med mye kjørefeltskifte i forbindelse med kryss, skal det være et midlere luminansnivå på minimum 3 cd/m<sup>2</sup>.

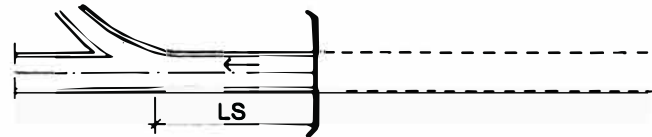
Ventilasjonsforholdene i tunnelen kompliseres av kryss. Det er derfor viktig å undersøke strømnings tekniske forhold og ventilasjonsopplegg allerede i en tidlig planfase

Av sikkerhetsmessige og ventilasjonsmessige grunner skal kryss i tunnel dimensjoneres for lavere trafikkmengder enn tilsvarende kryss i dagen. Forholdet dimensjonerende trafikk/beregnet kapasitet (v/k) skal ikke overstige 0,75 i maksimalt belastet time. Det skal også unngås at kapasitetsproblemer i kryss utenfor tunnelen medfører hyppige kødannelse i tunnelen.

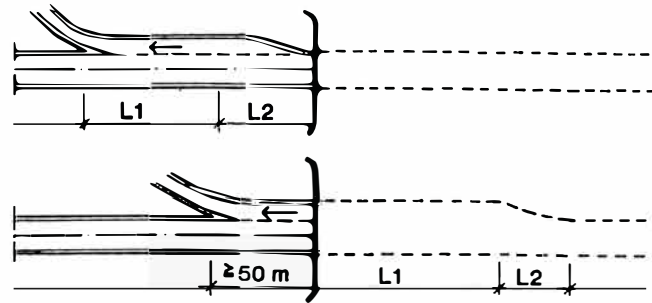
X-kryss eller signalregulerte kryss skal ikke benyttes i tunnel.

Kryss i fjell skal alltid godkjennes av Vegdirektoratet.

Direkteført.

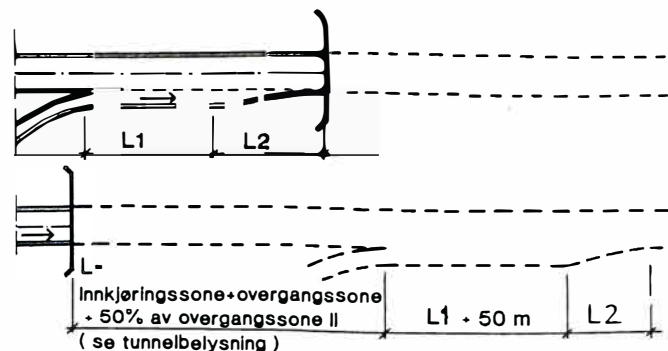


Parallellført



| DIM.FART<br>km/t | 70-80 | 90-100 |
|------------------|-------|--------|
| L1               | 70    | 90     |
| L2               | 30    | 50     |

Figur 3.24 Krav til retardasjonsfelt i m ved tunnel munning. Verdier for LS er gitt i figur 3.20



| DIM.<br>FART<br>km/t | 60 | 70  | 80  | 90-100 |
|----------------------|----|-----|-----|--------|
| L1                   | 80 | 110 | 140 | 175    |
| L2                   | 30 | 50  | 50  | 50     |

Figur 3.25 Krav til akselerasjonsfelt i m ved tunnelmunning og i tunnel

Behov for støtpute, f.eks. energiabsorberende rekkverk, skal vurderes ved kryss i tunnel og ved avramper.

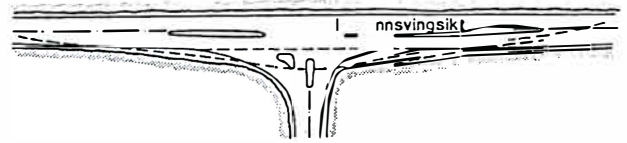
#### 311.4 T-kryss

T-kryss kan benyttes når ÅDT på gjennomgående veg er lavere enn 1500, og ÅDT på sideveg er lavere enn 300.

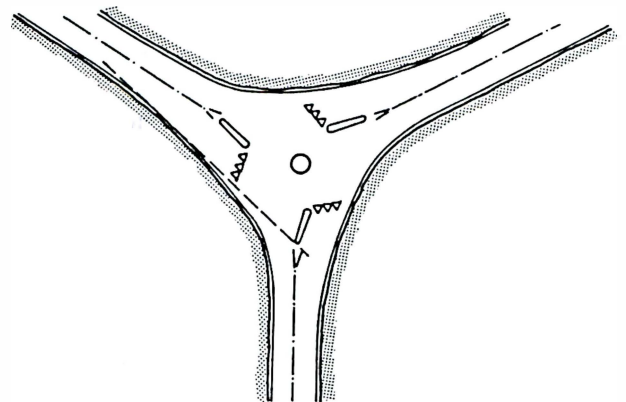
Sideveg pålegges vikeplikt med full stopp (skilt 204). Det må foretas en utvidelse av tunnelen slik at krav til fri sikt ved full stopp er tilfredsstilt (4 m inn fra kjørebane kant i sideveg, innsvingsikt langs gjennomgående veg).

Ved så lave trafikkmengder vil det vanligvis ikke være behov for venstresvingfelt ifølge vegnormalene. I tunneler med fartsnivå 80 km/t eller høyere bør likevel ekstra breddeutvidelse i form av kanalisert kryss e.l. vurderes av sikkerhetsmessige årsaker, og for å markere kryssets beliggenhet.

T-kryss må ikke anlegges på strekning med forbikjøringsfelt.



Figur 3.26 T-kryss



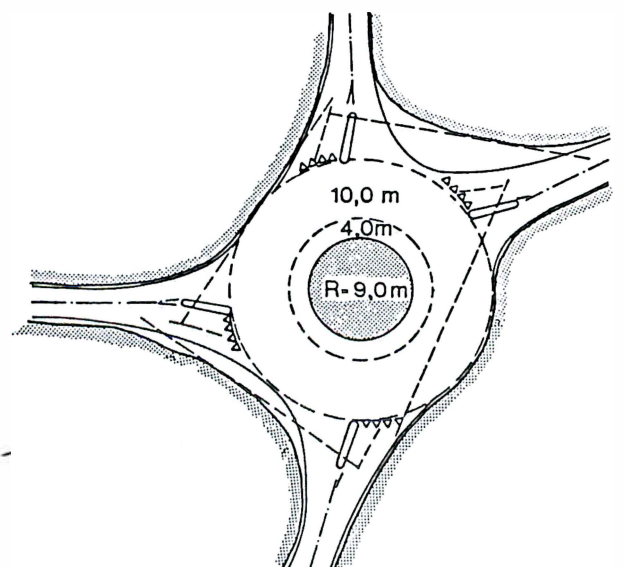
Figur 3.27 3-armet minirundkjøring

#### 311.5 3-armet minirundkjøring

3-armet minirundkjøring forutsetter 120 graders vinkel mellom vegarmene, og bare oppmerket sentraløy med 1,5 m diameter. Med disse forutsetningene vil frisisiktsone (10 x 50 m) falle sammen med breddeutvidelsen inn mot krysset. Med v/k-forhold på maks 0,75 i størst belastede vegarm vil minirundkjøring vanligvis kunne avvikle en samlet ÅDT på de tre vegarmene på opptil 15 000.

#### 311.6 Stor rundkjøring, 3- eller 4-armet

Der 3-armet minirundkjøring ikke kan benyttes, kan stor rundkjøring i stedet utformes med fjellstabbe i sentraløya. Ut fra krav til sikt og fjellstabilitet vil en fjellstabbe med diameter på ca. 18 m vanligvis være den gunstigste løsningen. Rundt fjellstabben skal det være et frisisiktareal med en bredde på ca. 4,0 m. Bredden på kjørearealet i rundkjøringen bør være 10 m, slik at ytre diameter for rundkjøringen blir ca. 46 m. Ved 3-armet rundkjøring med ca. 120° vinkel mellom armene kan diameteren reduseres noe.



Figur 3.28 Stor rundkjøring, 3- eller 4-armet

Krav til fri sikt skal være at det fra et punkt 10 m bak vikelinjen i hver tilfart er fri sikt på 50 m (1,25 LS for 50 km/t) til venstre langs sirkulasjonsarealet og inn i foregående tilfart. Ekstra areal pga. frisisiktsoner kan benyttes som nødrom og adgang til nødtelefon og teknisk utstyr.

Med krav til maks v/k-forhold for størst belastede tilfart på 0,75 i dimensjonerende time vil en slik rundkjøring kunne avvike en samlet ÅDT på over 20 000.

### 311.7 Toplankryss

Ved større trafikkmengder bør løsninger med kryssing i ulike plan benyttes. Slike løsninger er ofte lette å tilpasse i fjell.

Kryssing i fjell bør foretrekkes. Hvis dette ikke mulig benyttes støpt plate.

Avkjøringsrampe med liten trafikk kan utformes som direkteført rampe med overgang til kurve med  $R > 50$  m. Ved mindre kurveradius eller store trafikkmengder bør parallellførte felt for fartsreduksjon benyttes.

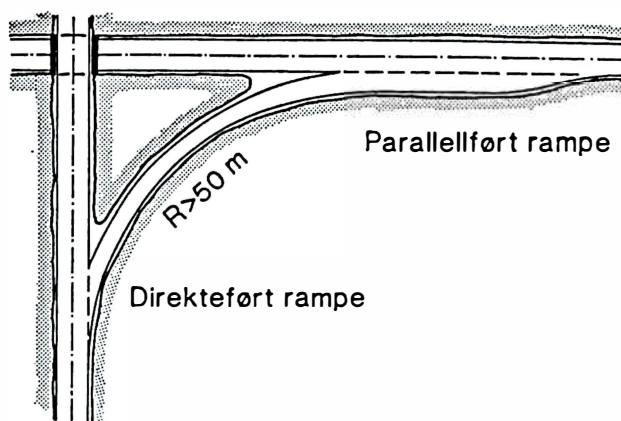
Påkjøringsrampe skal avsluttes med parallellført felt for fartsøkning. Dette feltet skal være minst 50 m lengre enn tilsvarende felt på veg i dagen, fordi siktforholdene fra rampen er dårligere ved kryss i fjell.

Ramper i fjell skal gis en breddeutvidelse i innerkurve for å tilfredsstille kravene til frisisikt i kurve. Om mulig bør ramper ikke ha krappere kurver enn  $R = 50$  m.

Ved planlegging av toplankryss i fjell skal det legges stor vekt på å finne løsninger som reduserer behovet for feltskifte (veksling) inne i tunnelen.

Dersom påkjøringsramper har større trafikk enn ca. 1200 kjt/time i dimensjonerende time, bør det vurderes om rampen bør føres videre som eget felt. Eget felt for avkjørende trafikk bør vurderes dersom det er stor fare for kødannelse på avkjøringsrampen.

Der trafikken på gjennomgående felt og ramper i tunnel er så stor at det ofte kan ventes kødannelser, bør tilfartskontroll vurderes for å få kødannelser foran tunnelen i stedet for inne i tunnelen.



Figur 3.29 Ramper i fjell

## 312 Trafikkskilt og vegoppmerking

### 312.1 Generelt

Skilting i forbindelse med regulering og overvåkingsutstyr som kommer i tillegg til ordinær trafikkskilting, er beskrevet i kapittel 4, Sikkerhet.

### 312.2 Trafikkskilt utenfor tunnel

Detaljerte regler for anvendelse av skiltene er gitt i Håndbok -050, Skiltnormaler.

De trafikkskilt som er aktuelle ved tunneler er:

122 Tunnel

712 Stedsnavn (tunnel)

314 Høydegrense

Se figur 3.30 – 3.32.

I tillegg kan disse skiltene være aktuelle:

334 Forbikjøringsforbud

306.8 Forbudt for gående og syklende

534.VO1 Bruk av kjørefelt

601 Radiostasjon

Se figur 3.33 – 3.36.

Generelt bør skilting reduseres til et minimum, og skilt bør ikke settes umiddelbart inntil tunnelåpningen.

Fareskilt 122 Tunnel skal bare anvendes for tunneler som ikke kan sees på en avstand av 150–250 m.

Dette betyr en sterkt redusert bruk i forhold til dagens praksis.

Tunnellengde skal vanligvis ikke angis på underskilt til skilt 122. I stedet kan tunnelnavn og tunnellengde angis på en variant av skilt 712 Stedsnavnskilt (tunnel).

Skilt 712 skal plasseres på høyre side av vegen 50–100 m fra tunnelen, ikke over eller til siden for tunnelåpningen.

Forbudsskilt 314 Høydegrense benyttes bare for høyder mindre enn 4,5 m.



Figur 3.30 Skilt 122, Tunnel



Figur 3.31 Skilt 712, Stedsnavn



Figur 3.32 Skilt 314, Høydegrense



Skilt 314 med underskilt 802 Avstand bør benyttes til å forvarse lave tunneler. Forvarslingen bør settes opp ved siste snumulighet eller vegkryss før tunnelen.

I forbindelse med skilting skal det kontrolleres at forutsatt frihøyde er oppnådd.

Fra den målte høyden i kjørebane kant trekkes en sikkerhetsmargin på 0,10 m, og det avrundes deretter ned til nærmeste 0,10 m.

Dersom det annet sted på kjørebane kan måles lavere høyde, skal denne legges til grunn.

Eksempel:

Målt høyde 4,60 m – 0,10 m = 4,50 m  
skiltes ikke

Målt høyde 4,59 m – 0,10 m = 4,49 m  
skiltes med 4,4 m

Målt høyde 4,45 m – 0,10 m = 4,35 m  
skiltes med 4,3 m osv.

For nye tunneler skal høydekravet være oppfylt.

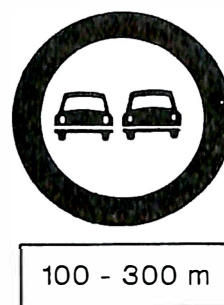
Automatisk høydemåling med varsling om for høy last er omtalt i kapittel 4 Sikkerhet.

Forbudsskilt 334 Forbikjøringsforbud benyttes bare i tunneler eller deler av tunneler hvor det er nødvendig å forby forbikjøring.

Skilt 334 med underskilt 804 Utstrekning kan benyttes for å angi forbikjøringsforbudets lengde. I tillegg skal forbikjøringsforbud markeres ved bruk av sperrelinje.

Skilt 306.8 Forbudt for gående og syklende benyttes foran alle tunneler hvor slikt forbud gjelder. Mulige alternative ruter skal skiltes med skilt 722.4 Vegviser for gang- og sykkeltrafikk.

Skilt 601 Radiostasjon benyttes ved tunneler som er utstyrt med egen antennekabel for sending av ordinære radioprogram og hvor det er mulig for vegvesenet å bryte inn med melding til trafikantene.



Figur 3.33 Skilt 334, Forbikjøringsforbud



Figur 3.34 Skilt 306.8, Forbudt for gående og syklende



Figur 3.35 Skilt 534.V01, Bruk av kjørefelt



Figur 3.36 Skilt 601 Radiostasjon

### 312.3 Skilting i tunneler

Vegsystemet bør utformes slik at behovet for skilting inne i tunnelene blir minst mulig. Det kan likevel bli aktuelt å sette opp skilt inne i tunnelen i følgende tilfeller:

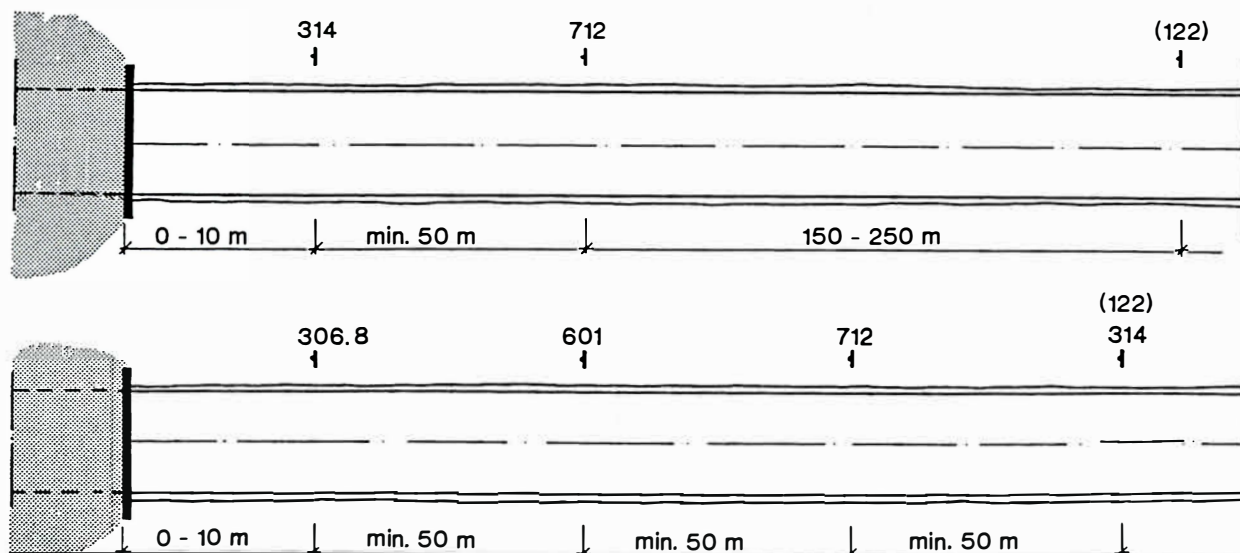
- Spesielt krappe kurver må skiltes med fareskilt, markeringsskilt og ev. skilt for forbikjøringsforbud.
- Start og avslutning av forbikjøringsfelt inne i tunnelen må skiltes med skilt som regulerer bruken av kjørefelt (skilt 530 og 538)
- Vegkryss umiddelbart utenfor tunnelåpning eller inne i tunnelen krever vegvisningsskilt.

Hvis behovet for skilting er slik at det vil påvirke tunnelprofilet, må skiftbruken avklares i en tidlig planfase.

Vegvisningsskilt vil kreve stor breddeutvidelse, og slike skilt bør derfor vanligvis plasseres over kjørebanelen.

Det er det vanligvis plass til i fjelltunneler, mens det kan være svært kostbart i betongtunneler. Antall tekstlinjer bør reduseres til et minimum. Overhengende skilts virkning på ventilasjonsanlegg og belysning må vurderes spesielt. Skiltstørrelsen kan reduseres noe i tunnel, men ikke under minste størrelse for standardskilt eller teksthøyde 210 mm for vegvisningsskilt.

I belyste tunneler skal alle skilt unntatt markeringsskilt være innvendig belyste.



122



306.8



314



601



712

Figur 3.37 Eksempler på skilting foran tunneler

### 312.5 Vegoppmerking og visuell føring

Tunneler merkes på samme måte som veg i dagen. Oppmerking som skiller mellom motgående trafikkdiringer er gul, annen oppmerking er hvit. Gul midtlinje og eventuell heltrukket, hvit kantlinje benyttes ved tovegstrafikk i tunnelprofil T8 og større. Ved smalere tunneler sløyfes den gule midtlinjen, og det benyttes stiplede, hvite kantlinjer.

Kantlinjen plasseres som vist på figur 3.11. Merking av kantlinje skal utføres innenfor en toleranse på  $\pm 20$  mm.

For å bedre den visuelle føringen i ubelyste tunneler og tunneler med lavt belysningsnivå kan skilt 914 Tunnelmarkering benyttes. Skiltene er fortrinnsvis aktuelle i innkjøringssonene. Skiltene krever omfattende renhold.

Skilt 914 brukes for å angi tunnelveggen i forhold til kjørebanelen, og for å vise tunnelens linjeføring. Skiltet settes opp på begge sider av kjørebanelen. De hvite skråstripene skal helle ned mot kjørebanelen. Avstanden mellom skiltene skal være 30 m, men skal reduseres til 10 m ved tunnelåpningene. Mer detaljerte bestemmelser for skilt 914 er gitt i Håndbok -050.

I spesielt krappe kurver kan også skilt 902 Bakgrunnsmarkering eller 904 Retningsmarkering festes på tunnelveggen. For all skilting og bruk av reflektorer i tunnel er nedstøving et problem. Hyppig vask/rengjøring er en forutsetning for at skiltene skal fungere som planlagt.

Et annet tiltak for å markere tunnelens visuelle føring, er å male tunnelveggene i lys farge. Malingen bør påføres i en høyde på 3,0 – 4,0 m. Lyse vegger vil også bedre effekten av belysningen.



Figur 3.38 Skilt 914 Tunnelmarkering

## Kapittel 4 Sikkerhet

### 400 Generelt

Tunnelklassene er utgangspunkt for valg av sikkerhetsutrustning. Tunnelklassene fremgår av figur 4.1. Se også kapittel 3, Tunnelutforming.

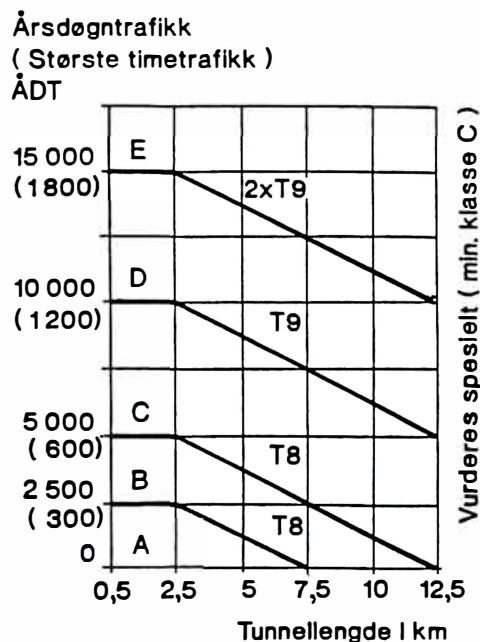
Tunneler med lengde mellom 250–500 m plasseres en tunnelklasse lavere enn hva dimensjonerende ÅDT gir. For tunneler som er kortere enn 250 m stilles ingen krav til sikkerhetsutrustning.

I figur 4.2 er det angitt krav til utstyr i tunnelen. Kravene anses som et minimum. En fylt sirkel betyr at angitt utstyr skal installeres. En åpen sirkel betyr at angitt utstyr bør vurderes.

For valg av sikkerhetsutrustning i tunneler med to løp og envegstrafikk benyttes trafikkmengden i hvert tunneløp ved bestemmelse av tunnelklasse.

Trafikkregulerings- og overvåkingsutstyr benyttes i tillegg til ordinær trafikkskilting.

Ved utbedring av eksisterende tunneler bør de samme krav til sikkerhetsutrustning følges.



Figur 4.1 Tunnelklasser

### SIKKERHETSUTRUSTNING I TUNNELER

| UTRUSTNING                              | TUNNELKLASSER |   |   |   |   | MERKNADER   |
|---|---------------|---|---|---|---|---|
|   | A             | B | C | D | E |   |
| Remningslys                             |               | ○ | ○ | ● | ● | Ca. 50 m avstand  |
| Brannslukningsapparat                   | ●             | ● | ● | ● | ● | Klasse A, B: For hver ca. 250 m<br>C, D: For hver ca. 125 m<br>E For hver ca. 50 m    |
| Brannhydrant                            |               | ○ | ○ | ○ | ○ | Vurderes i samarbeid med lokalt brannvesen  |
| Nødtelefon                              | ○             | ● | ● | ● | ● | Klasse B: For hver ca. 500 m<br>C, D: For hver ca. 250 m<br>E: For hver ca. 100 m     |
| Nødskilt                                | ●             | ● | ● | ● | ● | Skilt som viser nærmeste utgang/nødutgang.<br>Plasseres ved brannslukningsapparatene. |
| Lyssignal før innkjøringen (rødt blink) |               | ○ | ● | ● | ● | Styres av CO-måler eller av tunnelbetjeningen.  |
| Bommer for stenging (manuelle)          | ○             | ● | ● | ● | ● | Automatiske bommer vurderes ved ÅDT over 10 000                                       |
| Variable tekstsilt                      |               |   | ○ | ● | ● |   |
| TV-overvåking                           |               |   |   | ○ | ○ | Vurderes spesielt   |
| Radlosamband                            | ○             | ○ | ● | ● | ● |   |
| Mobiltelefon                            | ○             | ○ | ○ | ○ | ○ | Avklares med Televerket   |
| Nedstrømsforsyning                      | ○             | ○ | ○ | ○ | ○ | Vurderes spesielt   |
| Kontroll av kjøretøyhøyder              | ○             | ○ | ○ | ○ | ● | Brukes i klasse A-D ved fri høyde lavere enn 4,8 m                                    |

- Krav
- Vurderes

Figur 4.2 Sikkerhetsutrustning i tunneler

## 401 Sikkerhetsutrustning og sikkerhetstiltak

### 401.1 Rømningslys

Rømning ivaretas ved nødutganger, tverrforbindelser eller snumulighet i tunnelen.

Rømningslys brukes for å vise trafikantene mot utgangen i røykfylte tunneler. Lysene tennes automatisk eller manuelt i et branntilfelle. Lysene (ca. 40 W, hvitt lys) monteres i høyde ca. 1,0 m over kjørebanelen, på én side og med avstand ca. 50 m. Lysene skal virke i min. 30 minutter.

### 401.2 Brannsløkningsapparat

Apparatene skal min. være på 6 kg ABE III. De skal være skiltet med skilt 606 Brannsløkningsapparat. Når et apparat fjernes, skal signal om dette gis til bemannet sentral, politi, brannvesen o.l.

### 401.3 Brannhydrant

Brannhydranter skal vurderes i samarbeid med lokalt brannvesen.

Løsningen er først og fremst aktuell der vannledning kan føres frem utføres uten store kostnader.

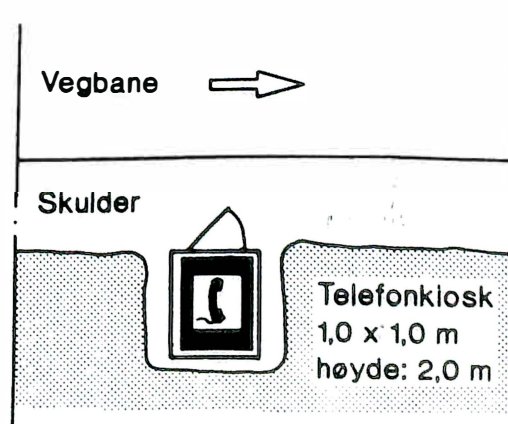
Tankvogn med tilstrekkelig kapasitet i tunnelens nærhet vil kunne være et alternativ.

Manuell brannvarsler skal ikke installeres.

Sprinkleranlegg er lite egnet i vegtunneler og anbefales ikke brukt.

### 401.4 Nødtelefon

Nødtelefoner skal være av en type som gir ringesignal når røret løftes. Nødtelefon skal gi kontakt med bemannet sentral, politi, brannvesen e.l. Telefonene skal være koblet slik at det er mulig å se hvilken telefon det ringes fra. Når tunnelens ÅDT overstiger ca. 1500, bør telefonene monteres i nisjer med hette. Ved ÅDT større enn 2500 skal telefonene monteres i støvtett kiosk. Utforming av telefonnisje er vist i figur 4.3. Nødtelefon skal markeres med skilt 605 Nødtelefon.



Figur 4.3 Utforming og plassering av telefonkiosk i nisje

Nødtelefoner skal brukes i stedet for alarmknapper eller lignende.

#### 401.5 Nødskilt

Til markering av nødtelefon, brannslukningsapparat og eventuelt førstehjelpsutstyr skal ordinære trafikkskilt benyttes. For å markere retning til utgang brukes Utgang/Exit-skilt i grønt og hvitt, format ca. 35 x 20 cm.

For å markere nødutganger (f.eks. tverrforbindelser mellom parallelle tunneler), brukes symbol for nødutgang (mann som løper fra flammer, hvite symboler på grønn bunn, format minimum 40 x 40 cm).

Utgang/Exit-skiltet settes parallelt med tunnelveggen og skal ikke være belyst, men bør være i selvlysende materiale. De andre skiltene settes opp vinkelrett på kjøreretningen, og skal være innvendig belyste.



Figur 4.4 Utgang/exit skilt

#### 401.6 Lyssignal

Når tunnelen skal stenges for trafikk pga. høyt gassinnhold, trafikkulykke eller andre spesielle årsaker, skal rødt vekselblinkanlegg benyttes.

Rødt vekselblinkanlegg har to røde lyshoder plassert ved siden av hverandre på en mørk bakgrunnsskjerm. For å forklare betydningen av signalene (ev. også årsaken til stegningen) skal signalene alltid suppleres med underskilt.

Det bør vurderes å felle inn signaler og underskilt i felles bakgrunnsplate.

I tunnelklasse D og E skal skiltet være variabelt og vise følgende tekst når signalet blinker rødt: "Tunnel stengt", eventuelt supplert med forklaring av årsak.

I tunnelklasse A, B, og C kan underskiltet være fast og ha teksten:

"STOPP ved rødt blink, høyt Co-nivå" eller annen forklaring, se Håndbok -050, skilt 808.60-66.

Vekselblinkanlegg monteres vanligvis 0-10 meter før tunnelåpningen (ev. sammen med skilt 314). Dersom det ligger vegkryss mindre enn 1 km fra tunnelåpningen, bør det vurderes å montere vekselblink umiddelbart etter vegkrysset, eventuelt supplert med vekselblink ved tunnelåpningen og der ramper tar av fra sekundærvegen.



Figur 4.5 Rødt vekselblinkanlegg med underskilt

Vekselblinkanlegg skal godkjennes av Vegdirektoratet.

#### 401.7 Bommer

Bommer skal monteres ved alle vegtunneler i tunnelklasse B-E slik at vegvesen, politi etc. kan sperre tunnelen raskt uten medbrakt sperreutstyr. Bomarmen skal være så lang at den sperrer det/de aktuelle felt, men slik at det er mulig å kjøre ut av tunnelen.

På veger med ÅDT>10 000 bør automatiske bomber vurderes.

#### 401.8 Variable tekstschild

I tillegg til variabelt underschild på vekselblinkanlegg kan det ved tunneler som relativt ofte må påregne stengninger monteres variable informasjonsschild (eller radioanlegg) som kan varsle trafikantene om grunnen til stengningen og eventuelt om forventet varighet.

Variable skilt kan også benyttes for å dirigere trafikken til omkjøringsruter.

#### 401.9 TV-overvåking

TV-overvåking er bare aktuelt for tunneler i tunnelklasse D og E. TV-overvåking krever fast bemannet overvåkingssentral, og bør bare benyttes i tunneler med høy kapasitetsutnyttelse store deler av dagen.

#### 401.10 Radiosamband

Generelt gjelder at vegvesenet bekoster en "grunnutrustning" som omfatter et antenneanlegg, normalt bestående av en utstrålende antennekabel, et antall radiostasjoner og nødvendig utstyr for å koble sammen de forskjellige radiostasjonene.

Utstyret skal dekke sambandsbehovet internt i tunnelen, og eventuell tilpasning til eksisterende samband i det fri må avklares for hvert tunnelanlegg.

Vegvesenet har driftsansvaret, og betaler driftsutgifter for det materiell som bekostes av vegvesenet og/eller tunnelanlegget.



Omfanget av radiokanaler/radiostasjoner som bekostes

-----  
av vegvesenet  
-----

I tunnelklasse C etableres radiostasjoner for:

- Kringkasting, NRK program P1 og P2.
- Vegvesenets VHF-samband
- Tofrekvent redningskanal

I tunnelklasse D og E etableres samme utrustning som i klasse C, og i tillegg radiostasjoner for:

- Brannvesenets eget VHF-samband
- Politiets eget VHF-samband
- Helsevesenets/ambulansenes eget VHF-samband

Utstyret for kringkasting skal være forberedt for å gi meldinger direkte til trafikanter i tunnelen.

Den tofrekvente redningskanalen er en felles kanal for redningsetatene, brannvesen, politi og helsevesen.

Kanalen gir mulighet for samband mellom etatenes enheter inne i tunnelen.

De enkelte etatene skal selv være ansvarlig overfor konsesjonsmyndighetene for sin del av sambands-systemet i tunnelen. For eventuell sammenkobling av VHF-sambandene i tunnelen med radiosystemer i det fri, skal de enkelte brukere selv være ansvarlige for å etablere det "styresamband" som ansees nødvendig.

I denne sammenheng er redningskanalen definert som en av politiets kanaler.

Leie av telelinjer til slikt formål er den enkelte brukers ansvar.

Vegvesenet kan eventuelt via egne linjer, knytte sammen tunneler som ligger i nærheten av hverandre.

## Radioutstyr

Det skal benyttes typegodkjent radiomateriell. Radioene skal tilpasses de enkelte radiosystemene, med hensyn til frekvens, linjetilknytning, nøklingssystem og f.eks. start av gjennom-snakksfunksjon på VHF-sambandene.

Vegdirektoratet utarbeider detaljerte systemløsninger for de enkelte tunnelanlegg, og med eventuell tilpasning til Televerkets ønske om innkobling av deres tjenester, f.eks. mobiltelefon.

Alt radioutstyr skal plasseres i egnede rom, med bl.a. oppvarming.

Radioutstyret som vegvesenet bekoster, tilknyttes nødstrømsanlegg med kapasitet for minimum 1 times kontinuerlig drift.

## Antenneanlegg

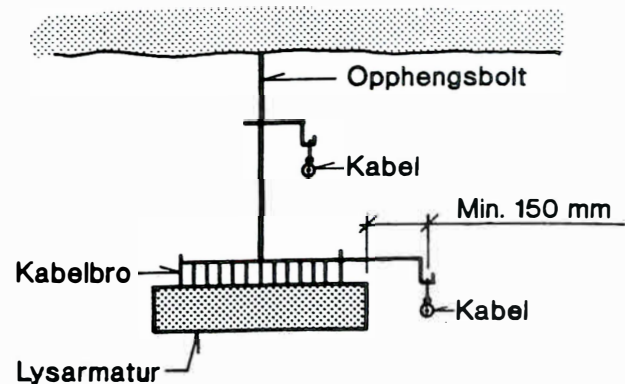
Som felles antenneanlegg benyttes normalt en utstrålende antennekabel, som dimensjoneres etter sambandssystemets systemløsning, frekvens og tunnelens lengde. Antennekabelen monteres i hele tunnelens lengde med unntak av ca. 25 m i hver ende. Kabelen monteres med en minsteavstand på 150 mm til andre kabler, kabelbru og andre jernkonstruksjoner.

Det kan benyttes opphengsarmatur som festes på siden av kabelbrua, direkte på opphengsboltene når disse er tilstrekkelig lange, eller antennekabelen kan festes til en egen wire som strekkes mellom boltene. Se figur 4.5.

Avstanden mellom opphengsfestene er avhengig av kabeltype, men bør være mellom 6 – 9 m. Leverandørens spesifikasjon til strekkraft og minste tillatte bøyeradius skal overholdes. Skjøter skal utføres fagmessig og det skal benyttes krympestrømpe over skjøtepluggen slik at alle skjøter blir vanntette.

## 401.11 Mobiltelefon

De enkelte teleområder avgjør om dekning for mobiltelefon skal etableres i tunnelene. Kostnader og valg av systemløsning blir ivaretatt av Televerket. Driften av slike anlegg er tillagt Televerket.



Figur 4.5 Alternative steder for oppheng av utstrålende kabel

#### 401.12 Nødstrømsforsyning

Egen nødstrømsforsyning er normalt ikke påkrevd. Vanligvis vil det gi tilstrekkelig sikring med separat strømforsyning fra begge tunnelmunninger. Batterier eller dieselaggregat som sikrer strøm til nødutrustning, pumper etc. vil være nødvendige i spesielle tilfeller (høytrafikk tunneler, undersjøiske tunneler e.l.).

Hvis det installeres batterier som sikring mot brudd i strømforsyningen har erfaring vist at disse må være garantert for minimum 8 års levetid ved antatt 20 innkoblinger à 60 minutter årlig.

#### 401.13 Kontroll av kjøretøyhøyde

Tunneler med fri høyde lavere enn 4,6 m bør sikres med et fysisk høydehinder før eller i tunnelåpningen. Fysisk høydehinder bør også monteres hvis teknisk utrustning er montert lavere enn 4,7 m.

Høydehinderet utføres så solid at alle kjøretøy som berører hinderet, vil registrere dette, men ikke slik at last o.l. rives av kjøretøyet med fare for skade på andre kjøretøy. Dersom det er fare for hyppige skader på vifter o.l., kan hinderet bygges mer solid. Vegvesenet vil ikke være erstatningspliktig dersom de ordinære regler for skilting av slike hindre er fulgt.

Umiddelbart før eller etter hinderet bør det være plass for å kjøre til side for kjøretøy som må stoppe. Den nederste delen av hinderet bør ha farge og utforming som skilt 908 Hindermarkering (høyde).

For tunneler med målt lavere fri høyde enn 4,6 m bør det vurderes om høydehinderet skal kunne fjernes slik at sentrisk kjøring med høyere last skal være mulig i spesielle tilfeller. I så fall må tunnelen sperres for trafikk i motstatt retning.

Foran tunneler i klasse E skal utstyr for automatisk høydedetektering monteres. Kjøretøyhøyde registreres ved hjelp av fotocelle e.l. og føreren varsles med variable skilt.

Slikt utstyr kan sløyfes dersom bruer eller andre konstruksjoner har den nødvendige avvisende effekt foran tunnelåpningen.

For å unngå hyppig feildetektering skal målestedet ha detektor også i kjørebanelen.

#### 401.14 Øvrig trafikkregulering og overvåkingsutstyr

##### Kjørefeltsignal

---

Kjørefeltsignal består av rødt kryss, grønn pil eller gul skråpil montert over hvert kjørefelt. Kjørefeltsignal skal bare benyttes i envegskjørtede tunneler som relativt hyppig (minimum 12 ganger pr. år) benyttes til tovegstrafikk i forbindelse med vedlikeholdsarbeid, vegstengninger e.l., eller i tovegsregulerte tunneler som planlegges daglig brukt med to felt i samme retning i forbindelse med reversering av kjørefelt e.l.

Kjørefeltsignal skal normalt være slukket. Grønne piler skal bare anvendes en kort periode før eller etter stengning av ett eller flere felt.

Ved stengning av felt bør det først vises blinkende, gul skråpil, deretter fast gul skråpil og så rødt.

Kjørefeltsignal skal godkjennes av Vegdirektoratet, kfr. Håndbok -050. Kjørefeltsignal skal ikke brukes for å vise at tunnel har tovegstrafikk, eller til permanent kjørefeltinndeling. Til dette benyttes ordinære trafikkskilt, enten skilt nr. 148 Møtende trafikk eller skilt nr. 538 Kjørefeltinndeling.

##### Trafikktelling, kødetektor

---

I tunneler med ventilasjonsanlegg kan unntaksvis telleutstyr benyttes for styring av viftene. Viftene kobles da inn når trafikkmengden når en viss størrelse, det vil si før det eventuelt er målt for dårlig luftkvalitet i tunnelen. Detektorene utformes vanligvis som sløfydetektorer nedfrest i kjørebanelen.

Sløfydetektor kan benyttes til å måle hastighet og for å registrere stillestående kø i tunnelen. Dette kan være aktuelt for å varsle kø med skilt (unngå ulykker ved påkjøring bakfra), eller for å stenge tunnelen for å unngå lang ventetid i kø inne i tunnelen (ventilasjonsproblemer, klaustrofobi).

##### Køvarsling/variabel fartsgrense/tilfartskontroll

---

Disse tiltakene kan være aktuelle i bytunneler hvor det ofte kan oppstå kø. Bruk av slike virkemidler skal alltid vurderes i samråd med Vegdirektoratet.

### Kuldeportanlegg

-----

I lavtrafikkerte anlegg med kuldeporter skal det benyttes lyssignal med trelyshode.

Når porten er nede vises rødt lys. Ankommende biler registreres av kjøretøydetektor. Når porten er åpnet tennes rødt/gult og grønt lys.

Grønt lys vises en fast minimumstid eller til alle kjøretøy er passert. Lyset skifter til gult og til rødt, og porten lukkes.

I perioder hvor kuldeporten alltid er åpen skal trelysehodene og eventuelle fareskilt 132 Lyssignalanlegg tildekkes.

### 402 Brannsikring

Det bør tidlig tas kontakt med det lokale brannvesen for å få oversikt over om den eksisterende lokale beredskap er tilstrekkelig, eller om den må oppgraderes som følge av tunnelen.

I tillegg til sikringstiltak som følger av dimensjonerende tunnelklasse, gjelder spesielle materialkrav og krav til et utarbeidet beredskapsopplegg.

De deler av tunnelens tekniske utstyr som forutsettes å fungere i en brannsituasjon og dens krafttilførsel, styring og lignende, skal kunne motstå en temperaturutvikling tilsvarende en ISO-brann av varighet 10 min i tunnelklasse A, B og C, 20 min i tunnelklasse D og 30 min i tunnelklasse E.

Kabler for kraftforsyning og styring bør fortrinnsvis ligge nedgravd.

For bruk av PE-skum i vegtunneler gjelder egne retningslinjer.

### 403 Beredskapsplan

Det skal utarbeides beredskapsplaner for alle vegtunneler i tunnelklasse A til E.

For tunneler med lengde 250–500 m kan det utarbeides en forenklet beredskapsplan.

En beredskapsplan er i prinsippet en avtale mellom tunnelens driftsansvarlige, politiet, brannvesenet og ambulansepersonell om hva som skal gjøres om det oppstår uhell eller ulykker i tunnel.

Beredskapsplanen skal bygges opp over tre hoveddeler:

- beskrivelse av tunnelen og dens utstyr
- en risikoanalyse
- en beskrivelse av innsatsen

Planen skal gi en redegjørelse for uhell og ulykker som er vurdert og tiltak som skal gjennomføres for å sikre personer samt gjøre tunnelen driftsklar etter uhell, bilbrann etc. Den gir videre instruks til alle impliserte parter om hvordan de skal forholde seg ved melding om uhell. Ansvarlig for drift av tunnelene er normalt vegvesenet. Politiet vil være ansvarlig for skadestedsledelse og brannvesenet er innsatsstyrke ved større uhell med fare for personer, brann, farlig gods etc. Vegvesenet tar initiativ til øvelser med de nevnte etater.

En vegtunnel er å betrakte som et § 22 objekt i h.t. Lov av 5. juni 1987 om brannvern.

Beredskapsplanens omfang og innhold vil avhenge av hvilken tunnelklasse som gjelder for tunnelen.

Innhold i en beredskapsplan skal normalt være som følger:

#### 1. Beskrivelse av tunnelen.

- Tunnelens beliggenhet
- Utforming
- Omkjøringsruter
- Teknisk utstyr
- Sikringsutstyr installert i tunnelen
- Trafikkteknisk utstyr lagret ved tunnelen
- Regler for transport av farlig gods

Det er viktig å få frem hvor eventuelle betjeningspaneler er lokalisert, om noe må låses opp og hvordan ting fungerer. Tegninger og planer bør vedlegges. Dersom det er innført spesielle regler for frakt av farlig gods i tunnelen, skal de tas inn i planen.

#### 2. Risikoanalyse.

- Forventede hendelser

Sannsynligheten for havarier, ulykker og branner må beregnes. Dette kan gjøres ved hjelp av en spesiell EDB-modell eller på basis av erfaring fra tilsvarende tunneler.

### 3. Innsats.

- Tiltak ved driftsstans
- Tiltak ved havari
- Tiltak ved trafikkulykke
- Bilbrann
- Andre hendelser
- Bemanning

Her beskrives de mannskaper som kan innkalles når noe skjer i tunnelen, og det materiell som det kan trekkes på. Det er viktig å oppgi korrekte telefonnumre. Telefon til ekstra innsatsstyrker som trekkes inn ved store eller kompliserte uhell, må også tas med.

Det er også viktig å vurdere tidsaspekt og angrepsveier, hvor lang tid vil det ta før brann, politi og ambulanse kommer frem, og hvorvidt de kan komme gjennom begge portaler.

Aksjonsplaner for de hendelser/uhell som kan forekomme, bør utarbeides.

## Kapittel 5 Driving

### 501 Lover og forskrifter

Følgende lover og forskrifter stiller krav som må være ivaretatt ved driving av tunneler:

- Lov av 7. februar 1989 om eksplosive varer med forskrifter og endringer.
- Forskrifter til arbeidsmiljøloven utgitt av Direktoratet for arbeidstilsynet:
  - Nr. 221 - Tekniske innretninger
  - Nr. 299 - Snøskredfare ved oppholds- og anleggssteder
  - Nr. 317 - Ventilasjon av bergrom
  - Nr. 392 - Brannvern i gruver m.v.
  - Nr. 394 - Bergborrigger
  - Nr. 396 - Gravemaskiner
  - Nr. 418 - Arbeid i tunnelanlegg
  - Nr. 425 - Masseforflyttingsmaskiner
  - Nr. 483 - Personlig verneutstyr
  - Nr. 491 - Sikring ved fjellarbeid under dagen

I tillegg er det særlig viktig å kjenne til Veiledning om oppbevaring av eksplosiver, utgitt av Direktoratet for brann- og eksplosjonsvern (1981).

Før et tunnelanlegg startes, må det kontrolleres hvilke lover og forskrifter som til enhver tid gjelder.

### 502 Rystelser og setninger

#### 502.1 Generelt

Ved tunneldrift i bebygd område skal det gjennomføres nødvendige tiltak for å redusere faren for skader på nærliggende bygninger og konstruksjoner til et akseptabelt nivå.

*Følgende lover og forskrifter behandler eksempelvis sprengningsarbeider i forhold til omgivelsene:*

- *Lov om rettshøve mellom grannar med endringer ved lov av 19. juni 1969. (§ 2, 5, 9 og 13)*



- *Bygningsloven. (§ 98 – 100)*
- *Forurensningsloven nr. 6.  
(§ 6-9)*
- *Lov om eksplosive varer med gjeldende forskrifter*
- *Norsk Standard 3401 (senere NS3430)*

Planlegging av arbeid i bebygd område vil som regel omfatte eiendomsbesiktigelse.

Når arbeidet utføres, følges arbeidet opp med nødvendige kontrolltiltak:

- måling av rystelser
- måling av setninger, nivellement
- sprengningsprotokoll
- måling av poretrykk

Vanlig arbeidsdeling mellom byggherre og den som utfører arbeidet vil være:

Byggherren:

- beskriver arbeidet og fastsetter nødvendige restriksjoner for arbeidet
- sørger for eiendomsbesiktigelse
- står for målinger av rystelser, setninger og poretrykk
- har ansvaret for eventuelle skadeoppgjør

Den som utfører arbeidet:

- har ansvaret for at arbeidet gjennomføres i henhold til de kravene som er gitt
- har skadeansvaret hvis fastsatte krav ikke oppfylles, eller hvis andre krav ikke er fulgt

## 502.2 Eiendomsbesiktigelse

Besiktigelsen skal skje sammen med grunneieren og bør utføres av en nøytral fagkyndig.

Beskrivelsen suppleres med fotografier eller videoopptak.

Omfanget av besiktigelse som må utføres, må vurderes i hvert enkelt tilfelle.

Ved sprengningsarbeid bør besiktigelsen normalt omfatte bygninger og konstruksjoner innenfor 50 m fra sprengningsstedet når de er fundamentert på fjell, og innenfor 100 m om nabobygningene er fundamentert på leire eller sand.

Det er byggherren som har bevisbyrden for at arbeider som medfører rystelser eller setninger, ikke har ført til skader på naboeiendommer.

### 502.3 Planlegging av sprengningsarbeider

Ved planlegging skal det foreligge nødvendige data som grunnlag for sprengningsarbeidet i form av:

- oversiktskart
- beskrivelse av bygninger/konstruksjoner, med byggematerialer, fundamentering o.l.
- beskrivelse av geologiske forhold (bergart, lagdeling, sprekke mønster, slepper)

Største rystelsesnivå skal fastsettes for bygninger og konstruksjoner.

Grenseverdiene bestemmes på bakgrunn av:

- eiendomsbesiktigelse
- grunnforhold
- rystelsesutsatt inventar som dataanlegg og instrumenter
- omfang og tilstand på konstruksjoner

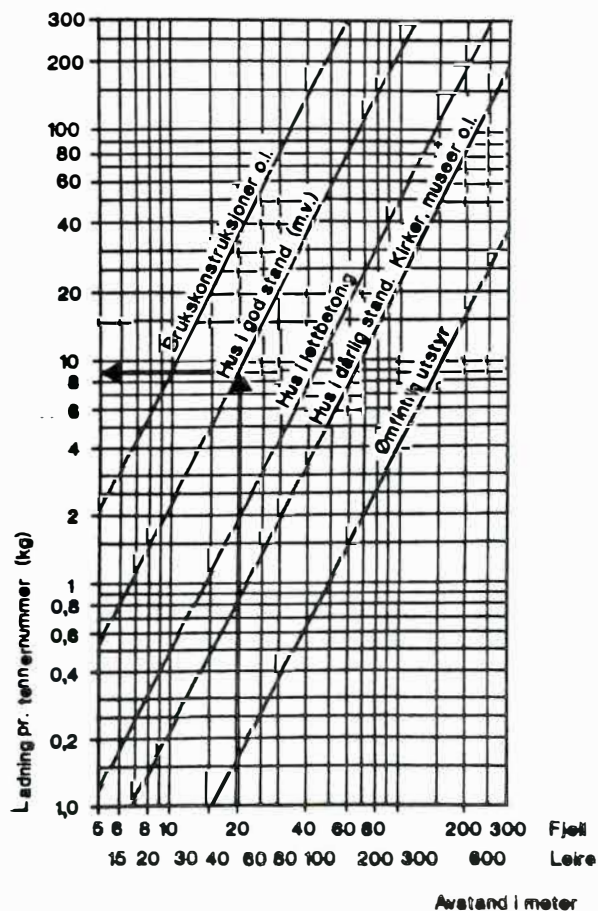
Størrelsen på rystelsene er i første rekke avhengig av hvor mye sprengstoff som settes av samtidig (enhetsladning, ladning pr. tennernummer), avstanden fra sprengningsstedet og grunnforholdene. Salvegeometri og de enkelte ladingers innspenning har også betydning.

Med utgangspunkt i dette kan man beregne maksimale ladingsmengder.

I figur 5.1 er en vanlig benyttet sammenheng mellom avstand og ladning pr. tennernummer satt opp i forhold til anbefalt største rystelsesnivå for ulike konstruksjoner og fundamenteringsforhold.

### 502.4 Rystelsesmåling

Ved fastsettelse av grenser for rystelser benyttes svingehastigheten (mm/sek). I spesielle tilfeller, f.eks. ved sprengning nær konstruksjoner/ømfintlig utstyr, benyttes også utsving (my).



Figur 5.1 Angivelse av maksimal ladingmengde

Ved rystelsesmålinger skal det alltid føres sprengningsprotokoll. Sprengningsprotokollen skal sikre nødvendig dokumentasjon og gi grunnlag for justeringer av salveopplegget.

Den bevissikring som en nøyaktig ført sprengningsprotokoll er, kan få avgjørende betydning i eventuelle rettssaker om skader.

#### 502.5 Rystelser og EDB-utstyr

*Det er ulike forholdsregler som kan taes for å minske risiko for skader alt avhengig av forholdene. Vanlig PC-basert utstyr vil i vanlig kontormiljø ikke være utsatt ved normale aktiviteter, inkludert sprengningsarbeider når det er tatt hensyn til bygningene. Når det ventes store vibrasjoner vil det med tanke på PC-maskiner og andre maskiner med Winchester-disker være best å la maskinen gå uten å være i arbeid, dvs. ikke skrive til eller lese fra hard-disk. Gjelder det større maskiner med store ( $\varnothing = 10'' - 15''$ ) hard-disker og lineær aktuator, kan det være nødvendig å slå av maskinen og trekke lesehodene ut fra diskplatene. For å ta de rette forholdsregler bør man kontakte spesialister.*

*Lar det seg ikke gjøre å stoppe kjøringen av maskinen ved f.eks. sprengning, kan det være en løsning å sette maskinen på sjokkdempere.*

#### 502.6 Planlegging av arbeider som kan gi setninger

Lekkasjer i forbindelse med fjelltunneler kan føre til setninger og skade på bebyggelse og ledningsnett.

Ledninger er særlig utsatt der de går inn i bygg som er fundamentert til fjell med f.eks. peler.

#### Krav til tetthet

-----

Krav til tetthet skal vurderes for hvert enkelt prosjekt avhengig av influensområde, setningsømfintlighet og risiko for skader.

## Metoder for å oppnå tetthetskravene

---

Ved strenge krav til tetthet kreves en omfattende og systematisk forinjeksjon.

Ved planleggingen av et injeksjonsopplegg skal følgende være ivaretatt:

- Tilstrekkelig tett hullavstand og nøyaktig boring
- Etterfølgende sprengning skal ikke føre til oppsprekking og ødeleggelse av injeksjonsskjermen utover det som er forutsatt
- Injeksjonshullene rengjøres før injeksjon. Høytrykkspyling kan være nødvendig
- Det må velges injeksjonsmidler ut fra tetthetskrav og økonomi

Som regel suppleres sementinjeksjon med injeksjon av midler med høy inntrengnings- evne. Dette kan være mikrosemeter og kjemiske midler

- Riktig injeksjonstrykk benyttes

Etterinjeksjon av tunneler kan lett gi dårlige resultater, da det er begrenset hvor store trykk som kan benyttes og massen lett finner direkte utganger i tunnelen.

Hvis ikke tetthetskravene oppnås med systematisk forinjeksjon skal tunnelen i tillegg tettes med membran eller vanntett betongutforing.

Vanninfiltrasjon fra terreng eller fra tunnelen kan bidra til å holde grunnvannstanden og poretrykket oppe i anleggsperioden.

Vanninfiltrasjon kan unntaksvis benyttes som permanent tiltak.

## 503 Forskjæring og påhugg

### 503.1 Forskjæring

For å oppnå et optimalt resultat både hva angår stabilitet/sikkerhet, estetikk, hensyn til omgivelser og økonomi, skal planlegging av forskjæring/tunnel- påhugg tillegges spesiell vekt. Særlig viktig er dette i byer og tettsteder.

Prinsipper for estetisk utforming av forskjæring og portal er gitt i kapittel 11 Miljø.

Ved plassering av tunnelpåhugg skal det også tas hensyn til fare for snø-, is- og steinras, overflatevann og fare for skade på nærliggende eiendom.

### 503.2 Påhugg

Ved påhugget er det ofte fjell av dårligere kvalitet (dagfjell) enn ellers i tunnelen. Svakhetssoner i eller like innenfor det prosjekterte påhugg skal derfor vies spesiell oppmerksomhet.

Ved detaljutforming av forskjæring og påhugg m.h.t. retning og helning skal det tas særlig hensyn til markerte svakhetsplan i bergarten (f.eks. utpreget skifrihet).

Sprengning bør legges opp slik at en unngår underkutting av potensielle glideplan og dermed får ustabile skjæringer. Se figur 5.2.

En spesiell sprengnings- og sikringsplan skal utarbeides for påhugget.

Vanligvis skal det ikke benyttes fullt tverrsnitt og full salvelengde ved etablering av påhugg. Normalt benyttes redusert salvelengde for de første salvene inntil stabilt påhugg er etablert. Alternativt kan det først drives en mindre pilotstoll eller et delsnitt av profilet med etterfølgende utstrossing til fullt profil.

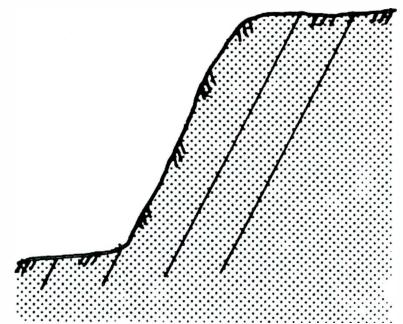
Sikringsmetodene vil ofte omfatte forbolting, sprøytebetong og/eller utstøpt betong.

Ved vanskelig fjell eller der det er av betydning å oppnå et tidlig påhugg, kan f.eks. sikringsring av sprøytebetong nyttes i kombinasjon med forbolting.

For å eliminere trafikklfare ved utrasing av blokker eller stein ved snøras, nedfallende is eller liknende og for å hindre at vann renner utover påhugget og ned i vegbanen, bygges portaler i tunnelmunningene. Slike kan sløyfes der forholdene på stedet er gunstige. Portalen føres tilstrekkelig langt ut fra påhugget slik at den tar imot nedfall av stein og is.

Det må legges vekt på at portalene får en estetisk god utforming, se kapittel 11, Miljø.

Hvis det skal sprenges to tunnellop anbefales en minste avstand mellom tunnellopene på 10 m. I byområder kan plassforholdene ofte føre til at denne avstanden må reduseres.



**Figur 5.2** Skjæringer tilpasses naturlige glideplan.

## 504 Sprengning av tunnel

### 504.1 Generelt

Før sprengningsarbeidene påbegynnes, skal det utarbeides nødvendige sprengningsplaner. En sprengningsplan skal under normale forhold inneholde følgende data:

- Borplan med plassering av hull, angivelse av hull diameter, og krav til nøyaktighet
- Plan med angivelse av sprengstofftyper og mengde, tennertyper og tenningsrekkefølge

Følgende tennersystemer er aktuelle:

- GR-3 tennere (HU)
- Nonel GT/T

I dag brukes Noneltenner ved de fleste anlegg for vegtunneler.

All boring og sprengning i tunnel skal skje etter sprengningsplaner.

### 504.2 Kontursprengning

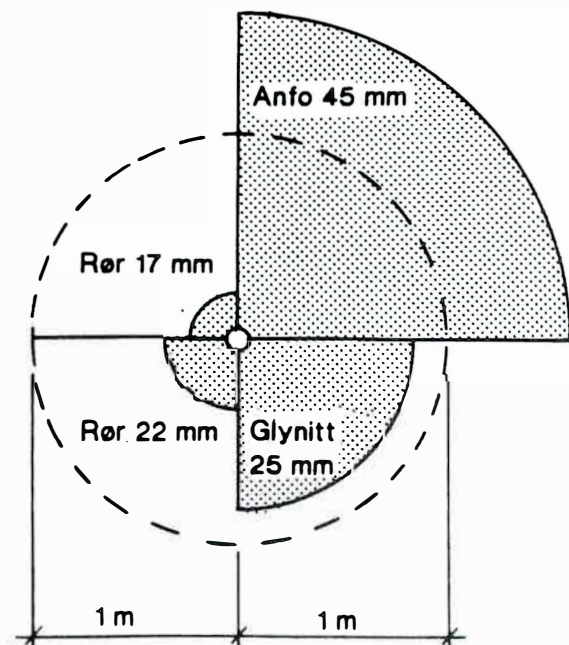
Det skal nyttes skånsom kontursprengning, slik at vegger og tak ikke skades unødig. Hullavstanden skal normalt ligge i området 500–700 mm og med en tilsvarende avstand til nest ytterste hull på 700–900 mm. Konturen lades vanligvis med rørladninger eller sprengstoff som gir tilsvarende redusert effekt.

For vegghull er hvite rør 22 x 1000 mm egnet. I hengen benyttes enten orange rør 17 x 500 mm eller gule rør 22 x 1000 m.

Ladningen av nest ytterste hullrad skal være tilpasset avstanden til konturhullene og ladningen av disse. Se figur 5.3 og 5.4.

Det skal ikke benyttes sterkere sprengstoff enn det som tilsvarer 25 mm Glynit i nest ytterste hullrad.

Konturhull skal ansettes med en nøyaktighet på 100mm og ikke innenfor prosjektert kontur. Teoretisk ansett skal merkes for hver salve. Dette gjelder både for konturhullene og i nest ytterste hullrad. Nest ytterste hullrad skal bores parallelt med ytterste hullrad.



Figur 5.3 Skadeavstand fra borhull ved forskjellige sprengstoffer

Retningsavviket ved ansett skal ikke overstige 6%.

Benyttes datastyrt boring kan merking på stoff reduseres til kontrollmerking av enkelthull.

For å oppnå en jevn kontur kan det være en fordel å bore konturhullene slik at disse avsluttes ca. 0,5 m før de øvrige hull i salven.

Unøyaktig boring og uforsiktig sprengning kan få store økonomiske konsekvenser i form av økt behov for sikring og vedlikehold av tunnelen.

### 504.3 Sprengning og rystelser

Hvis det er satt krav til maksimale rystelser som følge av tunnelsprengningen, skal salvene planlegges spesielt. Ut fra gitte krav beregnes tillatte ladninger pr. tennerintervall.

*Ved bruk av elektriske tennere vil det ligge en begrensning i at antall intervall som kan disponeres og i tennapparates kapasitet.*

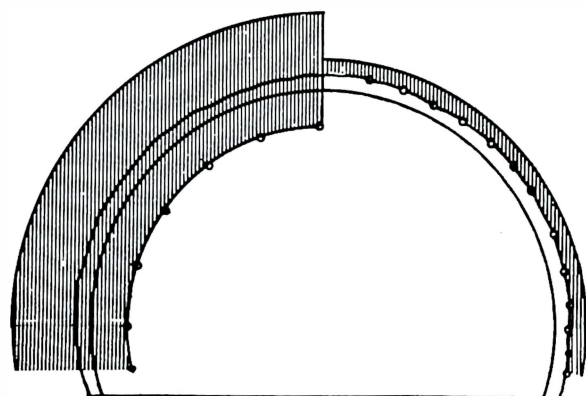
*Ved bruk av utvidet Nonel system kan disse begrensninger elimineres og selv store tverrsnitt kan sprenges uten oppdeling av salven.*

*Ved bruk av et utvidet Nonel system deles salven i seksjoner som forsinkes i forhold til hverandre. Med dette oppnås en rekke nye konstruerte intervaller mellom de eksisterende, og dermed mulighet for å fordele den nødvendige sprengstoffmengde i salven på et nærmest ubegrenset antall intervaller. I utgangspunktet har Nonel GT/T 25 intervaller fra 0 til 60 med tider fra 25 til 6000 ms. I prinsippet kan man konstruere intervaller fortløpende, ca. 240 stk. Ved å utnytte alle muligheter kan man også lage intervaller med lenger tid enn 6000 ms.*

*I praksis bør man begrense spranget til minst 50 ms av hensyn til egenspredning på de høyeste standardintervallene.*

*Forsinkelse mellom de enkelte seksjoner utføres enklest ved hjelp av millisekundtrinn. Det er viktig at kutten, som har de laveste forsinkertidene i salven, forsinkes mest slik at alle tennene får sin startimpuls før første kutthull bryter. I motsatt fall vil tennsystemet rives fra hverandre og de høyeste intervallene ville høyst sannsynlig forsage.*

*Ved slik bruk av et utvidet Nonel system kan hele profilet sprenges med full salvelengde selv ved strenge rystelseskra. Systemet er imidlertid komplisert og krever nøye planlegging og oppfølging.*



Figur 5.4

Skadesone fra nest ytterste ladning kan ved for hard ladning bli vesentlig større en skadesonen fra konturhullene

#### 504.4 Ventilasjon i forbindelse med tunnel-sprengning.

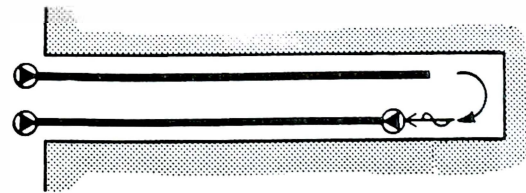
*Ved bruk av tradisjonell blåsende ventilasjon utsettes tunnelarbeiderne for uakseptable høye gasskonsentrasjoner ved passering av skyteproppen.*

*Blåsende ventilasjon kan benyttes der mannskapet kan vente utenfor tunnelen inntil skytegassen er ventilert ut. Denne løsning anses aktuell ved tunnellengde 1 – 1,5 km.*

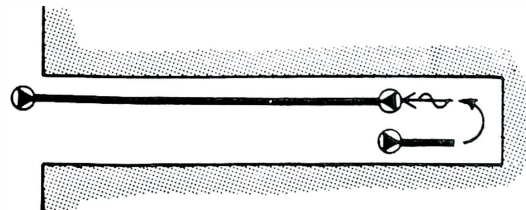
*Dersom skytegassene kan ventileres ut en annen veg enn der transport av masse skal foregå, vil også det være en akseptabel grunn for valg av bare blåsende ventilasjon i lengre tunneler.*

*Toveis ventilasjon kan benyttes som toduksventilasjon eller som enduksventilasjon som vist i figur 5.5.*

*Ved toduksløsningen benyttes to separate rør, ett for tilførsel av friskluft til stuff og ett for avtrekk av sprenggassene. Ved enduksløsningen benyttes samme rør vekselvis til frisklufttilførsel til stuff og til avtrekk av sprenggasser.*



Toduksventilasjon



Enduksventilasjon

Figur 5.5 Toveis ventilasjon. Prinsipper



## Kapittel 6 Sikringsarbeider

### 601 Generelt

Det skilles mellom arbeidssikring og permanent sikring i tunneler.

Arbeidssikring omfatter den sikring som må utføres for å kunne drive tunneler med tilfredsstillende sikkerhet. Omfanget av sikringen er den utførendes ansvar. Ved entreprisedrift fastlegges metoden for sikring av den utførende og byggherren i samråd.

Arbeidssikringen skal så langt det er mulig utføres slik at den inngår som en del av den permanente sikringen.

Permanent sikring omfatter den sikring som må utføres for at tunnelen skal kunne trafikkeres med tilfredsstillende sikkerhet. Denne sikringen består i en supplering og utvidelse av den fjellforsterkning som er utført som arbeidssikring under drivingen og nødvendig vann- og frostsikring av tunnelhvelv og vegger.

Det er fjellets egenskaper, vannlekkasjeforhold og frostmengder i tunnelen som bestemmer valget av permanente sikringsmetoder.

Opplysninger om disse forhold systematiseres ved at de tegnes inn på et kart over tunnelen, slik at en får oversikt over hvor de enkelte problemer ventes å oppstå.

Trafikkmengde og kjørehastighet er også faktorer som har betydning for art og omfang av den nødvendige permanente sikringen.

Sikringsarbeidene er tidkrevende og kostbare. Det er derfor viktig at det under prosjekteringen nyttes realistiske anslag for disse arbeidene i anleggets tempo- og kostnadsplaner. Investeringene til sikring skal stå i et rimelig forhold til de vedlikeholdsutgifter som vil kunne innspares.

### 602 Rensk

#### 602.1 Driftsrensk

Driftsrensk omfatter all rensk som utføres som en del av tunneldriften.

Driftsrensk omfatter den rensk som skal utføres etter at hver salve er sprengt. I tillegg til rensk av utsprengt fjellflate kontrolleres og etterrenskes bakenforliggende salvestrekninger.

I driftsrensen skal inngå systematisk kontroll og rensk av tidligere renskede flater.

Bomme partier merkes for bolting eller eventuell annen sikring.

Det påses spesielt at stoffen renskes godt, da stein og blokker lett løsner og faller ned, særlig under ansett.

Der det er avskalling som følge av bergtrykk utføres begrenset rensk og fjellet sikres snarest mulig ved bolting, nett og/eller sprøytebetong.

Rensen skal som hovedregel utføres som manuell rensk. Mekanisk rensk eller rensk med høytrykks-spyling kan benyttes der det er egnet ut fra en vurdering av fjellforholdene. Dette gjelder særlig ved grovblokket eller "farlig" fjell. Mekanisk rensk og spylersk skal alltid avsluttes med manuell rensk.

Ved mekanisk rensk bør slaghammeren være regulerbar slik at slaget kan tilpasses fjellkvaliteten. Det er også viktig at en ved mekanisk rensk ikke fjerner mer fjell enn nødvendig. Dette gjelder spesielt soner som senere skal støpes ut.

Ved spylersk benyttes utstyr som kan gi spyletrykk fra 600 – 1000 bar avhengig av fjellkvaliteten. Minimum vannmengde ved høytrykkspyling skal være 200 l/min. .

#### 602.2 Sluttrensk

Etter at all sprengning er utført og før tunnelen åpnes for trafikk, skal vegger og tak renskes grundig. Vasking er som regel nødvendig for å kunne oppdage svakheter, og den skal utføres før sluttrensk. Sluttrensen kan utføres seksjonsvis.

#### 602.3 Vedlikeholdsrensk

For tunneler under trafikk skal det med jevne mellomrom foretas ettersyn og om nødvendig ny rensk, eventuelt kompletterende sikring. Særlig viktig er dette hvor fjellet er vått og hvor frost forekommer. Hvor ofte tunnelen skal kontrolleres, fastsettes i vedlikeholdsrutiner.

Forøvrig henvises til kapittel 14 Drift og vedlikehold.

## 603 Bolting

### 603.1 Generelt

Bolting brukes til å feste løse blokker eller lag i fjellkonturen eller der det er avskalling eller bergslag. Metoden gjør det mulig å binde stein og blokker sammen til et stabilt hvelv.

Alle bolter skal inngå i den permanente sikringen. Det må derfor sørges for en effektiv korrosjonsbeskyttelse minst tilsvarende en varmforsinking med tykkelse 80 my.

For å unngå uheldige følger som korrosjonsangrep og nedsatt heft på grunn av reaksjon mellom varmforsinket stål og fersk betongmørtel skal, en av følgende forholdsregler benyttes ved bruk av innstøpte bolter:

1. Det benyttes spesialmørtel tilsatt kromat
2. Boltene leveres behandlet med kromatforbindelse

I spesielt korrosjonsfarlig miljø skal det benyttes en kombinasjon av varmforsinking og pulverlakkering med epoxy eller tilsvarende korrosjonsbeskyttelse.

For bolter behandlet med epoxy reduseres heften med ca. 15 %.

Eksempelvis vil lange tunneler og undersjøiske tunneler ha et slikt miljø.

Boltens forankring skal være av en slik kvalitet at den skal kunne belastes til brudd uten at forankringen slipper.

Alle boltene skal være gjenget og forsynt med mutter, halvkule og underlagsplate som gir stabilt anlegg mot fjelloverflaten.

Der man har bergslag eller fjellet er småfallent og oppsprukket bør det benyttes trekantplater i stedet for sfæriske underlagsplater.

Borhulldiameteren skal være i samsvar med boltediameteren og diameteren på ekspansjons-hylsen, og gi nødvendig plass for støpematerialet i de tilfeller boltene skal støpes inn.

For bolter innstøpt i betong skal hulldiameteren være minst lik boltediameteren + 10 mm. For bolter som støpes inn med kunststoffer, bør differansen mellom hulldiameteren og boltediameteren være så liten som mulig for å spare kostbart støpemateriale og for at materialkomponentene skal blandes godt. For øvrig henvises det til spesifikasjoner fra leverandør.

Alle bolters forankring skal kontrolleres.

Ved bolting på stoff skal det etter kontroll utføres nødvendig tiltrekking av plate/mutter. Nødvendig etterstramming foretas av forspente bolter.

Dette arbeidet utføres når stoffen er tilstrekkelig langt unna, normalt min. 50 m.

### 603.2 Boltetyper

De vanligste boltetyper som benyttes er følgende:

- Innstøpt bolt av kamstål
- Endeforankret bolt med polyesterpatroner
- Rørbolt endeforankret med ekspansjonshylse

Endeforankrede bolter som raskt lar seg forankre og forspenne benyttes der det er av betydning å få en rask sikring.

Hvis det benyttes rørbolter, skal disse senere injiseres.

I sprakefjell benyttes alltid endeforankrede bolter som ikke spennes opp. Bolteplaten skal bare skrues inntil fjellet.

#### Innstøpt bolt av kamstål

-----

Ved innstøping er det viktig at det benyttes egnet konsistens for mørtelen. Massen pumpes inn med slange fra bunnen av hullet. Det må sikres god tilslutning i hele boltens lengde. Denne type bolter skal ikke forspennes. For å hindre at bolten glir litt ut før mørtelen størkner kan den festes med en trekile. Det finnes også systemer hvor bolten først festes med polyester og senere gyses.

Uansett innstøpningssystem så tåler normalt innstøpte bolter større belastninger over lang tid enn bare endeforankrede bolter. Elastisitetsegenskaper, strekkfasthet etc. for denne boltetypen er mer tilpasset de ulike bergarter enn for polyesterbolter som ofte skiller seg klart fra bergartsegenskapene.

### Endeforankret bolt med polyester

Bruk av polyesterforankrede bolter setter spesielt strenge krav til utførelsen.

Polyesterproduktene som er på markedet, kan ha forskjellige egenskaper. Leverandørens anvisninger skal gås grundig igjennom før boltarbeidet starter, og følges nøye.

### Rørbolter endeforankret med ekspansjonshylse

Bolten er hul innvendig og med ekspansjonshylse til forankring. Rørbolten injiseres i god avstand fra stoffen, min 15–25 m. Det er viktig at man bruker mørtel av riktig konsistens, eventuelt spesialmørtel.

### 603.3 Dimensjonering av boltesikring

Når blokker eller lag skal festes med bolter, skal først blokken eller laget avgrenses slik at vekten av partiet kan anslås. Det forutsettes da at hele partiet er løst, og det regnes ikke med kohesjonskrefter. Til sammen skal boltene bære denne vekten, og antallet bestemmes av boltens bruddlast og nødvendig sikkerhetsfaktor.

Eksempel på beregning av antall bolter ved klart avgrenset blokk i tunneltaket.

$$N = \frac{W \cdot F}{B}$$

N = antall bolter

W = vekt av blokken

F = sikkerhetsfaktor = 2 – 5

B = strekkraft i en bolt

Kraftresultanten regnes loddrett.

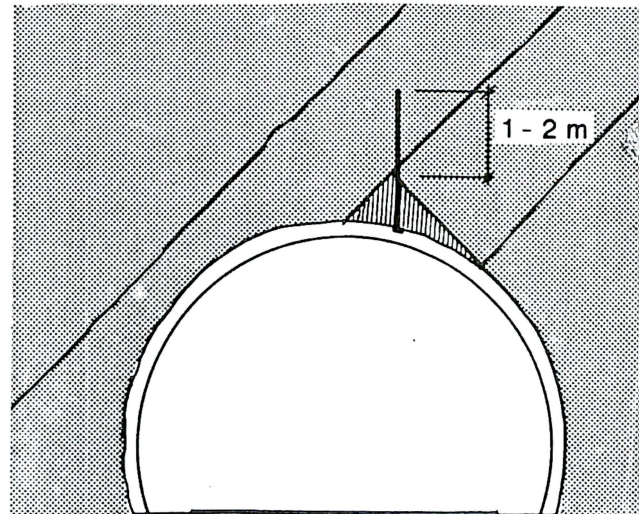
Ved beregning av antall bolter ser en normalt bort fra kohesjon og friksjon langs glideplanet.

Da boltene kan tåle større strekkbelastning enn skjærbelastning, bør de settes med så liten vinkel som mulig til blokkens forventede bevegelsesretning.

Boltene skal ha en forankring på 1–2 m i fast fjell.

Ved forspenning skal boltene ikke forspennes til mer enn 60% av flytegrensen.

Ved oppspenning skal det fortrinnsvis brukes en boltestrammer som ikke gir vridning av boltene.



Figur 6.1 Sikring av blokk i hengen

Ved systematisk bolting av tunneltaket er boltelengden avhengig av tunnelbredden.

Boltelengden i tunnelens senterlinje kan beregnes etter følgende formel:

$$L = 1,40 + 0,18 B$$

B = tunnelbredden i m

Bolteretningen må tilpasses fjellets oppsprekking.

#### **604 Fjellbånd og nett**

Fjellbånd benyttes lokalt i kombinasjon med bolter i grovblokket fjell. Fjellbånd skal være varmforsinket.

Vanligvis benyttes fjellbånd av vannforsinket kamstål. Denne type fjellbånd er også godt egnet sammen med sprøytebetong i særlig svake partier.

Hvis sprekke tettheten eller oppknusingen i svakhetssoner er så sterk at man vanskelig kan sikre mot steinnedfall med bolter og bånd, vurderes bruk av netting.

Hvis nettet senere skal sprøytes inn, skal det benyttes armeringsnett.

Ellers kan nyttes vanlig flettverksnetting f.eks. 50 x 50 x 2,7 mm varmforsinket og plastbelagt eller steinsprangnett, f.eks. 80 x 120 x 3,0 mm varmforsinket og plastbelagt. Nett av nylontråd kan også benyttes.

#### **605 Sprøytebetong**

Der sprøytebetong brukes som arbeidssikring skal den utføres slik at den kan virke som en del av den permanente sikringen.

Det som bestemmer betongens motstand mot nedbryting er betongens tetthet.

Betongen skal settes sammen slik at den tilfredsstiller kravene til MA-betong i henhold til NS 3420, 2 utgave.

Betongkvaliteten skal tilsvare minst C40 målt på utborede kjerner av betong sprøytet på tunnelvegg.

Materialer, prøvetaking og kontroll skal ellers tilfredsstille kravene i NS 3420, 2. utgave. Kontrollklasse skal være utvidet kontroll.

Før arbeidene settes i gang skal det dokumenteres at den valgte betongsammensetning gir en midlere bøy-

strekfasthet på minst 4,5 MPa, målt i h.h.t. NS427A.

Ved sprøyting skal temperaturen på fjellflaten være minst +2°C.

Før sprøyting skal fjelloverflaten vaskes ved hjelp av sprøytemunnstykket med luft og vann, eventuelt bare vann med trykk 7 bar eller mer. Vannet skal ha tid til å renne av flatene før sprøyting. Sprøyting skal skje før flatene er helt tørre.

I særlig dårlig fjell (sand og leirsoner, sterkt forvitrede soner) skal vasking unngås dersom det foreligger akutte stabilitetsproblemer.

Sprøytebetong benyttes både med og uten tilsetning av fiber og i kombinasjon med armeringsnett. Sprøytebetong med fiberarmering eller nett benyttes i områder med svelleleire, i sprakefjell og der sprøytebetong benyttes som alternativ til utstøping.

Fibertilsetning skal være minst 50 kg/m<sup>3</sup>. Fibertype og tilsatt mengde velges av den utførende.

Fibrene skal være jevnt fordelt i massen. Fiberinnhold og fordeling skal kontrolleres i forbindelse med den ordinære kontrollen.

Arbeidet utføres som tørrsprøyting eller våtsprøyting. Vegger sprøytes alltid først, deretter taket for å unngå at prelletapet fra sprøytingen av taket setter seg fast på veggene og vedheften blir dårligere.

Påføringen av sprøytebetongen foregår normalt så vinkelrett som mulig mot den flate som skal sprøytes, og avstanden mellom dysemunning og flate skal være slik at krav til maksimalt prelletap overholdes.

Lagene bør normalt påføres i lagtykkelser på 20–30 mm. Brukes det armering, bør den festes så godt at den ikke vibrerer for mye under sprøytingen. Før armeringen festes er det ofte nødvendig med en avjevning.

For å hindre uttørking skal sprøytede flater holdes fuktige ved vanning i 1 uke etter påføringen. Herdemembran kan benyttes i tillegg, eller untaksvis som alternativ.

Hvis det senere skal sprøytes i flere lag, skal det benyttes herdemembran som ikke reduserer heften mellom lagene.

## 606 Betongutstøping

Utstøping utføres på og bak stuff og benyttes som permanent sikring ved større ustabile partier og ved soner med svelleleire.

Normalt benyttes uarmert betong med minstetykkelse 300 mm og i kvalitet C35. Kontrollklasse normal-kontroll.

Utstøping på stuff skal utføres slik at det er plass til eventuell membranisolering og ny permanent støp eller å føre vann- og frostsikringen forbi utstøpingen.

Støpeskjoldet skal være planlagt for å kunne dekke tverrsnittsforskjellen mellom støp på stuff og støp som permanent sikring utført bak stuff.

Utstøping skal føres ned til rensket såle. Kun unntaksvis vil det være nødvendig med egen fundamentstøp.

Utstøping skal utformes slik at tilstrekkelig sikkerhet ved påkjørsel oppnås.

Dette kan skje ved at det lages en skrå utjevning (1:10) mellom utstøpt parti og fjellveggen. En slik utjevning skal fortrinnsvis utføres som et New Jersey profil. Benyttes rett vegg skal denne ha en høyde på minst 1 m over kjørebanelivå.

Utstøping skal utføres innenfor en toleranse på  $\pm 50$  mm.

Ved permanent utstøping i områder med vannlekkasjer skal det legges inn drenerende plater mellom betong og fjell for å redusere eventuelle lekkasjer gjennom riss og skjøter.

Dreneringen kan legges over hele flaten eller som felt eller striper.

I områder hvor det er krav om vanntett betongutstøping, skal det settes spesielle krav til betongen og til utførelsen. Vanntetthet oppnås enten ved membranutstøping eller ved at betongutstøpingen planlegges og utføres som vanntett konstruksjon. Ved bruk av PVC-membran skal skjøtene kunne trykkprøves. Som fjellavjevning før montasje av membran nyttes sprøytebetong eller utstøping mot forskaling.



## 607 Sonderboring og forinjeksjon

### 607.1 Generelt

Forinjeksjon skal benyttes der det settes krav til maksimale vannlekkasjer for å hindre skader som følge av drenering av omkringliggende områder.

Videre skal forinjeksjon benyttes i områder der det kan påtreffes større vannlekkasjer.

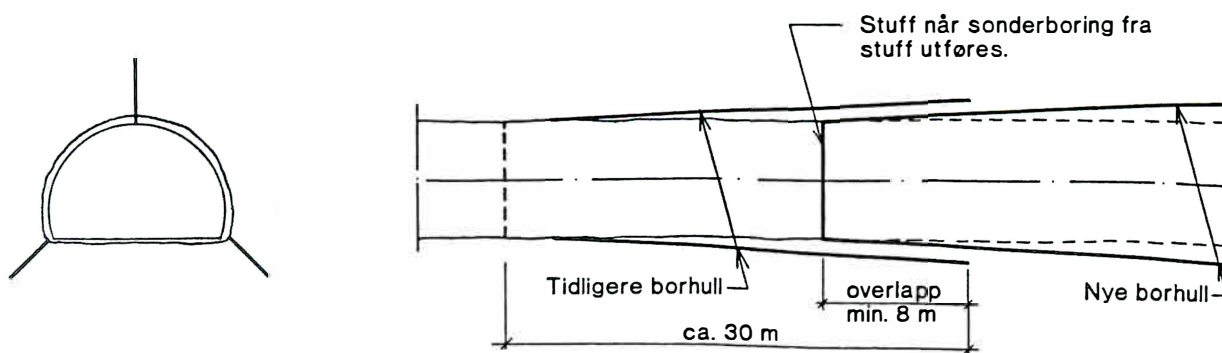
På grunnlag av sonderboring og vanntapsmålinger/lekkasjemåling foretas det en vurdering av sprekker, vannføring, strømretning mm. i fjellet rundt tunnelen. På dette grunnlaget settes det opp en plan for injeksjonen.

For sonderboring og forinjeksjon ved undersjøiske tunneler henvises til kapittel 12.

### 607.2 Sonder- og injeksjonsboring ved slagboring

Bormønster, antall og lengder på hull må vurderes fortløpende. Der det utføres systematisk sonderboring fra stoff, bør hullene ha minimum 8 m overlapp, se figur 6.2.

Normal systematisk sonderboring foran stoff kan være 3 stk. hull 30 m lange med overlapp min 8 m. Ved store lekkasjer bores ekstrahull med forskjellige lengder for å lokalisere sonene med vannlekkasjer.



Figur 6.2 Sonderboring fra stoff

### 607.3 Vanntapsmåling/lekkasjemåling

Vanntapsmåling kan erstatte eller supplere vanlig lekkasjemåling fra sonderhull.

Vanntapsmåling utføres ved at en pakning plasseres 0,5–5 m inne i hullet, og vann pumpes inn under trykk.

Måling av vanntapet utføres vanligvis ved et konstant vanntrykk, 5 – 10 bar over teoretisk grunnvannstrykk, og med registrering over 5 min.

Ved liten fjelloverdekning og andre forhold som gjør at forutsatt overtrykk ikke kan benyttes, skal egnet overtrykk vurderes spesielt.

Ved bestemmelse av overtrykk skal det tas hensyn til spesielle forhold som liten fjelloverdekning m.v.

#### 607.4 Forinjeksjon

Ved injeksjon av åpne slepper og større hulrom brukes blandinger med standardsement eller rapidsement, eventuelt spesialsementer i kjemisk aggressivt miljø. Sementblandinger kan etter behov tilsettes akseleratorer, kolloider, plastiserende midler eller poredannende midler. Ved injeksjon av tynne sprekker benyttes mikrosementer eller kjemiske stoffer.

Hullene bores normalt med en vinkel på 15 – 30° med tunnelaksen.

### 608 Vannsikring og frostsikring

#### 608.1 Generelt

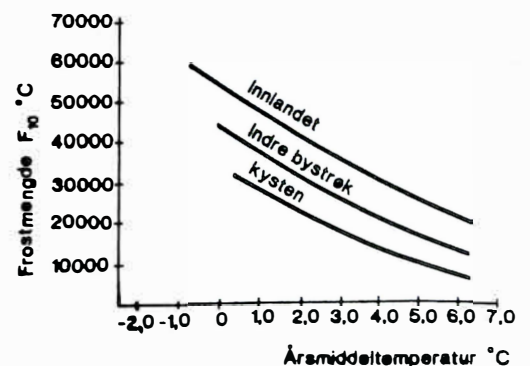
Det er utarbeidet frostmengdedata på statistisk grunnlag, og disse tabellene kan brukes for kommunesentre og tettbefolkede strøk. På bakgrunn av Norges topografi og utstrekning vil det imidlertid i flere tilfeller være nødvendig å benytte en enkel beregningsmodell for å stipulere frostmengden.

Ved vegbygging skal man nytte  $F_{10}$  som generell dimensjonerende frostmengde.  $F_{10}$  er en frostmengde med sannsynlighet for overskridelse på 10% i enkeltåret, og som kan finnes ut fra stedets årsmiddeltemperatur (meteorologiske grunndata finnes i 30-årsnormalen). Se figur 6.3. Regner man med adiabatisk forhold, kan normalt lufttemperatur som funksjon av høyde bestemmes ved hjelp av figur 6.4.

Definisjoner:

$F_{10}$  = Frostmengde som statistisk sett overskrides en gang i 10-årsperioden

$F_{10T}$  = Frostmengde i tunnelen som statistisk sett overskrides en gang i 10-årsperioden.



Figur 6.3 Frostmengde som funksjon av årsmiddeltemperatur

| Område  | °C pr 100 m høydeforskjell |
|---|----------------------------|
| 1. Brattlendte kyststrøk, alle høydeforskjeller     | -0,70                      |
| 2. Frittliggende indre strøk, alle høydeforskjeller | -0,60                      |
| 3. Trange daler i innlandet, små høydeforskjeller   | -0,30                      |
| 4. Åpne daler i innlandet, Små høydeforskjeller     | -0,14                      |

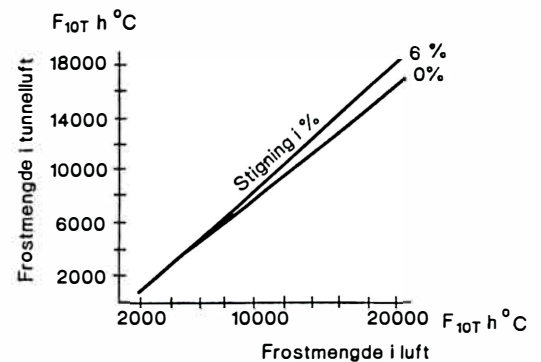
**Figur 6.4** Lufttemperatur som funksjon av høydeforskjell

### 608.2 Luftens frostmengde i tunnelen

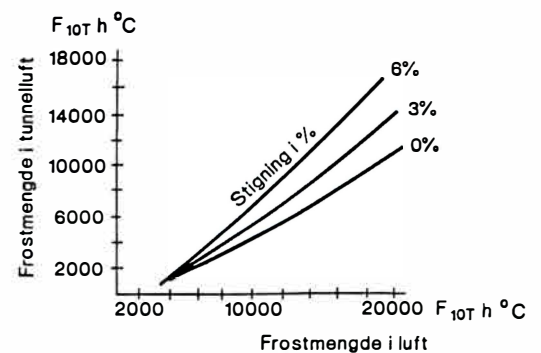
Det er flere fysiske årsaker til at frost trenger inn i tunneler. De viktigste er:

- I korte tunneler (<500 m) vil fremtredende vindretning i vintermånedene være en medvirkende faktor for frostinntrengningen.
- I lengre tunneler med stigning vil trekkretningen være dominert av "pipeeffekten". Temperaturforskjellen mellom tunnelluft og luften ute er den drivende effekten.
- Noen av våre høyfjellstunneler ligger slik at de drenerer kaldluft fra høyfjellsplatåer. Lufttrykkforskjellen mellom tunnelåpningene er her den drivende effekten.
- I tunneler med mekanisk ventilasjon vil frostinntrengningen påskyndes.
- Stempelvirkning fra trafikk
- I undersjøiske tunneler har forholdene vist seg spesielle. Frosten vil kunne trenge langt inn ved små frostmengder selv om det er liten høydeforskjell mellom tunnelåpningene. Det er igangsatt måleprogram for å skaffe mer kunnskap om dette forholdet.

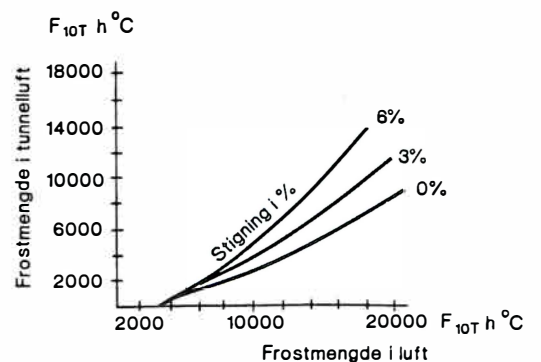
Diagrammene som er vist i figur 6.5, kan kun brukes til å beregne frostinntrengningen inntil 600 m inn i tunneler uten mekanisk ventilasjon.



**F. 100m inn i tunnelen**



**F. 300m inn i tunnelen**



**F. 600m inn i tunnelen**

**Figur 6.5** Frostdiagrammer for veg-tunneler

For å beregne frostmengden lenger inn enn 600 m kan man anslagsvis redusere frostmengden med 600 h°C for hver 100 m.

I lange tunneler trenger frosten sjelden lenger inn enn 200 – 300 m fra øvre åpning.

Ved installering av platehvelv eller PE-skum skal isoleringen trekkes tilstrekkelig fra det våte partiet. Ved frostmengder i tunneler  $F_{\text{f}} \leq 10\ 000\text{ h}^\circ\text{C}$  er 1 m tilstrekkelig. Når frostmengden overstiger dette, skal det være minimum 2 m.

608.2 Vann- og frostsikringsmetoder

Valg av metode for vann- og frostsikring bestemmes ut fra tunnellengde, tunnelstandard, ÅDT, frostmengde og økonomi/vedlikehold. Aktuelle typer er PE-skum, platehvelv og frittstående betonghvelv. Se figur 6.6.

For PE-skum og alle typer platehvelv gjelder at alle bolter og festedetaljer gis en effektiv korrosjonsbeskyttelse minst tilsvarende varmforsinking med tykkelse 80 my. I spesielt korrosjonsfarlig miljø skal det benyttes en kombinasjon av varmforsinking og pulverlakkering med epoxy eller tilsvarende korrosjonsbeskyttelse. Ved bruk av innstøpte varmforsinkede bolter kreves spesielle forholdsregler som beskrevet under punkt 603.1.

Etter montasje av platehvelv og frittstående hvelv skal det ikke være lekkasjer.

Uisolerte hvelv/halvhvelv er en relativt billig metode til bruk i lavtrafikk-tunneler i klimasoner med lite frost. Metoden forutsetter at  $F_{\text{f}}$  ikke overstiger 3000 h°C. For å holde  $F_{\text{f}}$  under 3000 h°C kan automatiske porter benyttes.

For å redusere behovet for frostsikring i tunneler med lav vinterdøgntrafikk kan også bruk av automatiske porter være en løsning.

I frostfri sone kan enklere utførelse som f.eks. drengplater av polyetylen benyttes.

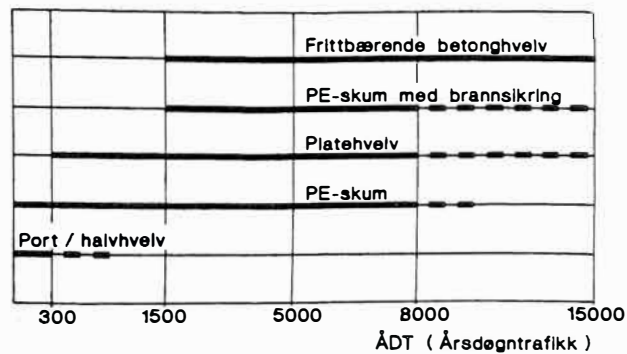
For frostsikring av grøfter henvises til kapittel 7 Drenering.

PE-skum

Bruk av PE-skum er en enkel, rimelig og fleksibel metode for vann- og frostsikring av tunneler.

Ved avsluttet montasje skal det ikke være lekkasjer.

METODER FOR VANN- OG FROSTSIKRING



Figur 6.6 Metoder for vann- og frostsikring

Bruken av PE-skum må begrenses på grunn av fare for at det ved en bilbrann kan oppstå sekundærbrann i isolasjonsmaterialene. PE-skum i særlige mengder er derfor kun tillatt brukt i korte tunneler og/eller i tunneler med liten trafikk. Det henvises til de til enhver tid gjeldende retningslinjer fra Vegdirektoratet.

Generelt gjelder at det bare kan benyttes PE-skum som tilfredsstiller krav til ikke antenelighet etter NS 3919.

Ønskes PE-skum benyttet ut over hva disse retningslinjer tillater, må platene gis en godkjent brannbeskyttelse (f.eks. med sprøytebetong, perlittbetong o.l.).

PE-skum egner seg godt i klimasoner hvor  $F_{10}$  varierer fra 10000–25000 h°C, men kan også brukes i soner med større frostmengde når man er villig til å akseptere noe is i de tyngste kuldeperiodene, se for øvrig figur 6.7 for aktuelle tykkelser.

Ved meget stor frostmengde  $F_{10} > 25\ 000$  h°C må man opp i isolasjonstykkelser fra 70–100 mm forutsatt varmeledningstall ca. 0,035 W/mK.

#### Platehvelv

Det benyttes fortrinnsvis elementoppbygde hvelv som er raske å montere.

Vanligste utførelse er i korrosjonsbeskyttet aluminium eller stål med isolasjonsmateriale av mineralull. Alle skjøter, fuger, gjennomføringer m.v. skal være tette.

Montering skal skje på en slik måte at hvelvet blir stabilt. Dersom avstanden mellom festeskiner og fjell blir større enn ca. 0,5 m, kan avstivning av festebolter bli nødvendig.

Bærende elementer (f.eks. rørbuer, bolter etc.) må dimensjoneres for å tåle aktuelle belastninger ved oppheng av kabelbru, skilt m.v..

Ventilasjonsvifte skal ikke henges opp i platehvelvet men med gjennomgående bolter i fjell eller med utstøpte seksjoner.

For øvrig vises det til de til enhver tid gjeldende rapporter om platehvelv fra Veglaboratoriet.

#### Frittstående betonghvelv

Av økonomiske grunner anses fortrinnsvis utførelse i prefabrikkert lettbetong å være aktuell.

| $F_{10T}$ (h°C) | 10.000 | 20.000 | 30.000 |
|-----------------|--------|--------|--------|
| Tykkelse        | 45     | 60     | 2 x 50 |

**Figur 6.7** Aktuelle dimensjoner av PE-skum. Det forutsettes varmeledningstall 0.035 W/mK

Minimumskrav til slike hvelv er for tiden følgende (disse vil stadig være under revisjon):

- Betongen skal være vann- og frostsikker
- Alle fuger, gjennomføringer etc. skal være tette
- Trykkfasthet : 20 MPa
- Varmeledningstall : 0,035 W/mK
- Tykkelse : 150 mm
- Armering : I henhold til dimensjoneringsforutsetninger

Hvelvet skal være dimensjonert for en islast på minst 10 kN/m<sup>2</sup>.

## 609 Portaler

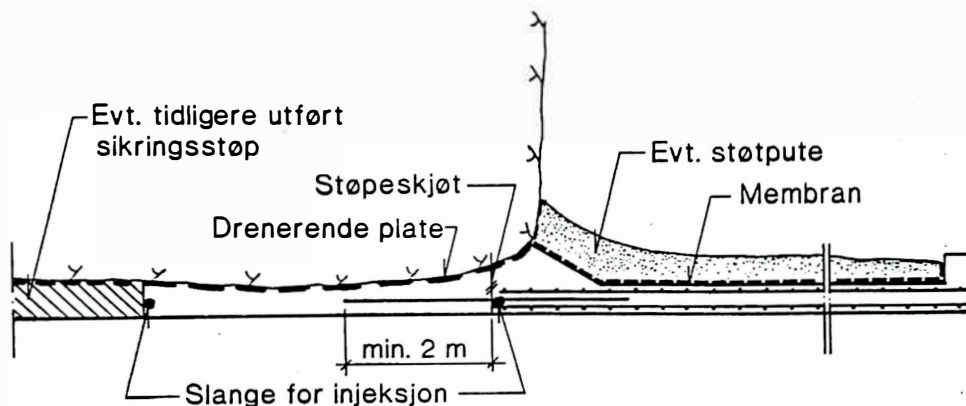
### 609.1 Generelt

Portalene utføres normalt i plasstøpt betong eller som betongelementer og består vanligvis av en kontaktstøpt del og en frittstående del.

Av trafiksikkerhetsmessige grunner skal det legges særlig vekt på vannsikker utførelse.

Dette ivaretas normalt på følgende måte. Se figur 6.8.

- Kontaktstøpt del støpes mot drenerende plater som føres ned under frostisolasjon i tunnelsålen
- Armering føres min. 2.0 m inn i kontaktstøpt del
- Det benyttes utvendig membran på frittstående del. Behov for beskyttelse/støtpute vurderes i hvert enkelt tilfelle
- I støpeskjøter i plasstøpt del legges det inn slanger for injeksjon
- Riss/støpeskjøter hvor det oppstår lekkasje injiseres



**Figur 6.8 Vannsikring av portal**

### 609.2 Tunnelprofiler i stålfiberarmert sprøytebetong

Tunnelportaler i stålfiberarmert sprøytebetong kan være et alternativ til portaler utført i plasstøpt betong eller som betongelementer.

Løsningen kan være egnet der det ikke er fare for tyngre nedfall eller behov for overfylling.

Styrkeberegning skal utføres for det aktuelle tverrsnitt. Det skal benyttes betongkvalitet minst tilsvarende C35 og med minste tykkelse 100 mm.

Innlagt armering av kamstål skal ikke ha større dimensjon enn 16 mm for å sikre god fylling bak armeringstålet under sprøyting.

Ved tunnelportaler i sprøytebetong skal det benyttes en membran. Videre må portalen beskyttes mot skader fra mindre nedfall.

## Kapittel 7 Drenering

### 701 Generelt

Vannlekkasjer i tunnelsåle er like vanlig som lekkasjer i hvelv og vegger. Tetting av hvelv og vegger ved injisering eller utstøping med membran kan føre til at lekkasjene nedenfra øker. Dette lekkasjevannet må føres frostsikkert ut av tunnelen.

Når tunnelen er drevet vil fordelingen mellom våte og tørre partier og samlet mengde vann være kjent. Først da vil drencsystemet kunne fastsettes endelig.

I tillegg til drencsystem for lekkasjevann bør det legges et eget system for oppsamling av spylevann fra spyling/vasking av tunnelen.

Normalt vil det være mest praktisk å plassere drencledning og spylevannsledning på samme side i tunnelen og med drencledningen nærmest fjellet.

### 702 Drencsystem

Drengrofter skal ha dybde større enn 0,5 m og være minst 0,5 m bred i bunnen.

Avstanden mellom inspeksjonskummene bør ikke overstige 80 m.

Ved lukket overflate på skulder bør behovet for kummer vurderes spesielt.

Generelt er det tilstrekkelig med gjennomløpende grøft på den ene side av tunnelen.

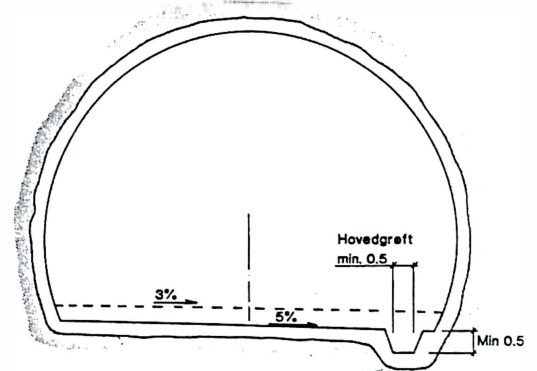
Hovedgrøft og hjelpegrøft benyttes ved store vannlekkasjer som er avskjermet med platehvelv eller annen vannsikring.

Fra hjelpegrøften føres tverrgrøfter med nødvendig mellomrom over til den gjennomløpende hovedgrøften. Se figur 7.1 og 7.2.

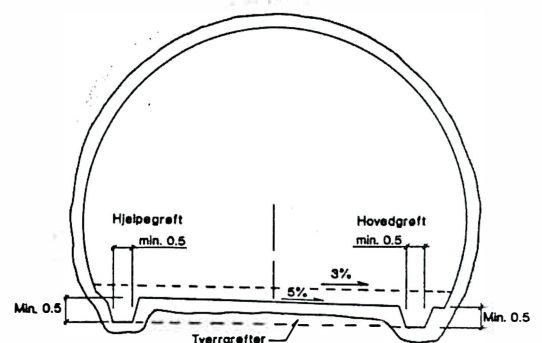
Normalt legges grøften helt inntil tunnelveggen. På partier med utstøping må plassering av grøft tilpasses fundamentstøp.

Normalt skal det ikke brukes drencrør med mindre diameter enn 160 mm. Når arealet mellom vegbane og tunnelvegg blir belagt med asfalt og betong, kan det i tunneler med små lekkasjer benyttes rør med  $D = 100$  mm. Drencrør i hjelpegrøfter skal ha minimum diameter 100 mm.

Ved bruk av plastrør skal det benyttes rør fremstilt av slagfast polyetylen av kvalitet min. PE 50.



Figur 7.1 Tunnel med moderate/små vannlekkasjer



Figur 7.2 Tunnel med større vannlekkasjer



### 703 System for oppsamling av spylevann

Det bør legges et separat ledningssystem for oppsamling av spylevann og slam fra vask.

Det vil ikke være vann i ledningen unntatt når spyling pågår. I frostperioder vil det ikke være aktuelt med spyling. Ledningen kan derfor legges så grunt som det er praktisk mulig for inntak fra sluker, og med slik overdekning at den ikke blir skadet.

På ledningen bør det monteres slamavskiller med største avstand 80 m.

Kummene skal ha tett bunn, og de bør kunne ta et slamvolum på minst  $0,6 \text{ m}^3$ . Høyden fra bunn til underkant utløpsrør bør være minst  $0,75 \text{ m}$ .

Når tunnelen utføres med ensidig tverrfall uten kantstein kan rist på kummen fungere som inntak for spylevann. Dersom ristene kan bli utsatt for trafikklast, skal de være i kjøresikker utførelse.

I tunneler med kantstein skal det monteres sluk i eller ved kantsteinen for å lede spylevannet til sandfangene.

Dimensjon på ledninger for oppsamling av spylevann skal være minimum  $D = 100 \text{ mm}$ . Ledninger skal være i plast av polytylen i kvalitet min. PE 50.

Avløpssystemet utenfor tunnelen utformes slik at miljøfarlig avfall skal kunne samles opp. Dette kan gjøres ved at det bygges permanent slamavskiller eller at det blir lagt opp til et system med pumping av vann til mobile slamavskillere.

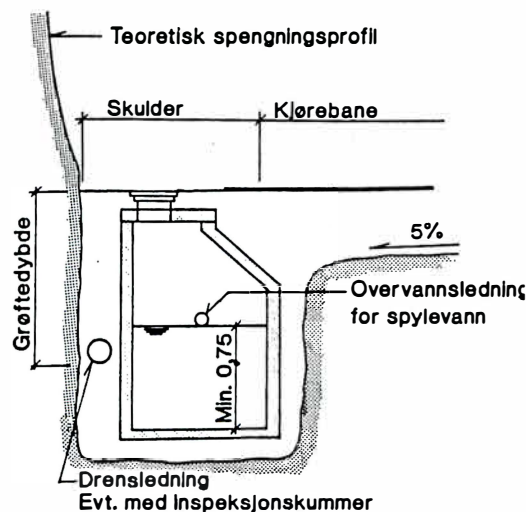
### 704 Isolering

For frostsikring henvises også til kapittel 608, Vannsikring og frostsikring.

Sålelekkasjer i tunneler skal ha frostsikker avrenning fra innlekkingsstedet til frostsikker drengroft. Dette oppnås normalt ved isolasjon.

Grøften isoleres hvis  $F_{10T} > 6000 \text{ h}^\circ\text{C}$ . Hvis vannmengden er  $< 1 \text{ l/s}$ , må grøften isoleres hvor  $F_{10T} > 4000 \text{ h}^\circ\text{C}$ . Se figur 7.4.

Full såleisolasjon inklusive grøft foretas i våte partier hvor  $F_{10T} > 8000 \text{ h}^\circ\text{C}$ .



Figur 7.3 Eksempel på plassering av slamavskiller og ledninger

| Midlere frostmengde i tunnel $F_{10T}$ h°C | Grøfteisolasjon                                       |
|--|---|
| 0 - 4000                                   | unødvendig  |
| 4000 - 6000                                | nødvendig hvis vannmengden i grøften er under 1 l/sek |
| >6000                                      | nødvendig uavhengig av vannmengde                     |

Figur 7.4 Frostsikring av drencsystem

Omfanget av såleisolasjon vurderes i relasjon til bedre grøfting, f.eks. tosidig drenering med flere tverrgrøfter. Spesielt når frostmengden  $F_{10T}$  ikke overstiger 10 000 h°C, bør dette vurderes kostnadmessig.

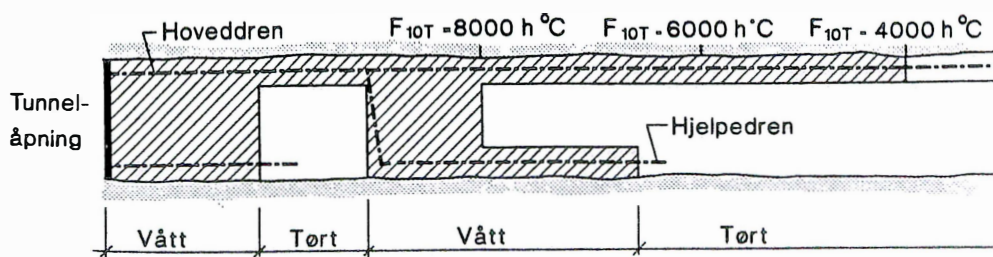
På steder i tunnelen med frostmengde  $F_{10T} < 10\ 000$  h°C og hvor lekkasjen i sålen er avgrenset, kan bruk av hjelpegrøft være et alternativ til isolasjon.

Ved såleisolasjon skal det ikke benyttes ekstrudert polystyren med tykkelse under 50 mm. Platens trykkstyrke skal minst være 350 kN/m<sup>2</sup>. For øvrig dimensjoneres overbygningen etter vanlige kriterier. Rim og isdannelser på grunn av utstråling kan man se bort fra.

Ved isolasjon av grøftene skal isolasjonen legges dypest mulig i grøfta. En platebredde på 0,6 m vil normalt være tilstrekkelig.

Figur 7.5 viser en prinsippskisse av isolert såle og drencsystem i tunnel. I nedkant av lekkasjesoner må etableres en avskjæringsgrøft for at ikke vannet i sålen skal kunne spre seg til tørre partier.

Hvis det kan dokumenteres en sikkerhetsmessig gevinst kan det vurderes å benytte elektriske varmekabler innlagt i et sandlag på sålen i lekkende partier. Vannet kan da renne i sandlaget ut i grøft. Anleggsmessig er dette en enkel løsning, men driftskostnadene kan bli høye.



Figur 7.5 Frostsikring av såle- og drencsystem. Prinsipp

## Kapittel 8 Vegfundament og vegdekke

### 801 Overbygning

Før etablering av vegoverbygning renskes tunnelsålen for løst materiale ned til et nivå som gir plass til overbygning. Det forutsettes at gjenværende masser har tilstrekkelig bæreevne. Hvis dette ikke er tilfelle må det renskes til fjell og masseutskiftes.

Overbygningen i en tunnel skal ha et dekke og bærelag som er dimensjonert som vanlig veg. For frostmengder  $F_{10T} > 8000 \text{ h}^\circ\text{C}$  skal frostsikring utføres på våte partier, se kapittel 7, Drenering. Figur 8.1 viser eksempler på overbygninger i tunneler.

For krav til materialer, utførelse og toleranser for høyder, jevnhet og lagtykkelser samt valg av dekke og bærelag henvises til Håndbok 0-18.

I tunneler vil bæreevneproblemer kun være knyttet til et (vanligvis) telefarlig lag av tunnelmasser som blir liggende igjen i sålen, og gjerne i kombinasjon med vann og frost. Over dette er det nødvendig med en avretting og en oppbygning som sikrer jevnheten på dekket. Selv om bærelaget ikke er påkrevd utifra et bæreevnemessig hensyn, er det normalt nødvendig for å sikre en tilfredsstillende jevnhet.

| Trau | Frostmengde $F_{10T}$ ( $\text{h}^\circ\text{C}$ ) | Overbygning<br>Veg med bitumest dekke | Overbygning<br>Veg med betongdekke |
|------|--|---------------------------------------|------------------------------------|
| Tørt | Alle   |                                       |                                    |
| Vått | < 8000   |                                       |                                    |
|      | > 8000   |                                       |                                    |

1) 10 cm kan fratrekkes

2) Min. tykkelse  $350 \text{ kN/m}^2$ , dimensjoneres termisk. Se håndbok -017

Figur 8.1

Oppbygning av vegoverbygning i tunnel. Eksempler

## Kapittel 9 Belysning

### 900 Generelt

Vegtunneler skal belyses av hensyn til trafiksikkerhet, trygghet og trafikkavvikling.

Unntatt er rette tunneler kortere enn 100 m.

### 901 Lysforhold utenfor tunnel – adaptasjonsluminansen

Adaptasjonsluminansen utenfor tunnelen er dimensjonerende for belysningsnivåene (luminansnivåene) inne i tunnelen. Adaptasjonsluminansen som skal benyttes ved dimensjonering av tunnelbelysningen defineres som den midlere luminans i et synsfelt som utgjør 20° fra bilførerens øye, med synsretning mot et punkt i 1/4 høyde av tunnelåpningen og en avstand som angitt i figur 9.1.

Av økonomiske årsaker skal det ikke regnes med adaptasjonsluminans høyere enn 10 000 cd/m<sup>2</sup>. Det skal heller ikke regnes med lavere verdier enn 1 000 cd/m<sup>2</sup>.

Når en belyst tunnel ligger på en ubelyst veg, skal overgangssoner tilfredsstillende de regler som gjelder for veglys utenfor tunneler. Se Håndbok 0-17.

Det luminansnivå en bilfører er adaptert til ved innkjøringen til en tunnel, bestemmer hvilket luminansnivå tunnelens innkjøringssone må ha for at kjøring inn i tunnelen skal kunne skje på en sikker måte.

*Det foreligger nå metode for å beregne ekvivalent sløringsluminans fra feltet omkring det sentrale 20° – feltet. På basis av beregnet ekvivalent sløringsluminans bestemmes adaptasjonsluminansen. Nøvendig luminansnivå i innkjøringssonen er proporsjonalt med sløringsluminansen.*

| Fartsgrense, km/t | Avstand fra tunnelåpning til målepunkt for adaptasjonsluminans, m |
|-------------------|---|
| 50                | 45  |
| 60                | 60  |
| 70                | 80  |
| 80                | 100   |
| 90                | 130   |

Figur 9.1 Avstand fra tunnelåpning til målepunkt for adaptasjonsluminans

Metoden kan nyttes for å se virkningen av en del tiltak i forbindelse med anlegg som allerede er bygd. Enkle tiltak som planting av trær og busker og maling av utvendige deler av betongportalen med en mørk farge reduserer hver for seg nødvendig luminansnivå med ca. 5 - 7 %.

Vegdekket utenfor tunnelen bør være meget mørkt i en lengde av 100 - 150 m, avhengig av fartsgrensen på stedet. Lyst vegdekke bør ikke brukes på denne strekningen. Overgang til mørkt vegdekke reduserer nødvendig luminansnivå med 12 - 27 %.

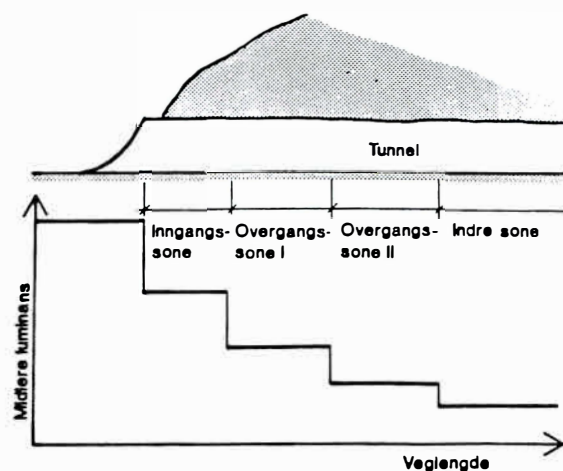
Ulike former for anleggsmessige tiltak i forbindelse med portalen kan således redusere adaptasjonsluminansen. Dette fører til redusert lysbehov i inngangssoner og følgelig rimeligere belysning.

## 902 Belysning i tunnel

### 902.1 Luminansforløp i tunnel Soneinndeling

Lysteknisk sett deles en tunnel i innkjøringszone, overgangssone og indre sone.

Øyets tilpassing (adaptasjon) er tidsavhengig. Den gradvise nedgangen i luminans som kan tillates for å opprettholde tilfredsstillende synsforhold, er derfor avhengig av kjørefarten. Figur 9.2 viser skjematisk belysningssonene i en tunnel. Figur 9.3 angir luminansnivået i prosent av adaptasjonsluminansen for hver sone som funksjon av fartsgrense og trafikkmengde.



Figur 9.2 Prinsippskisse av soner og luminansforløp i tunneler

| Sone               | ÅDT<br>< 4000                     | ÅDT pr. løp<br>4000-8000 |                    | ÅDT pr. løp<br>8000-20 000 |                    | ÅDT pr. løp<br>> 20 000 |
|--------------------|-----------------------------------|--------------------------|--------------------|----------------------------|--------------------|-------------------------|
|                    |                                   | 50 km/t                  | 80 km/t            | 50 km/t                    | 80 km/t            |                         |
| Inngangssone       | Se                                | 1,5%                     | 3,0%               | 2,5%                       | 5,0%               | 5,0%                    |
| Overgangssone I    | avsnitt                           | 0,3%                     | 0,6%               | 0,5%                       | 1,0%               | 1,0%                    |
| Overgangssone II   | "Lav-<br>trafikkerte<br>tunneler" | 0,06%                    | 0,12%              | 0,1%                       | 0,2%               | 0,2%                    |
| Indre sone-nattlys |                                   | 2cd/m <sup>2</sup>       | 2cd/m <sup>2</sup> | 2cd/m <sup>2</sup>         | 2cd/m <sup>2</sup> | 4-6cd/m <sup>2</sup>    |

Figur 9.3 Minste midlere luminans om dagen uttrykt som prosent av adaptasjonsluminans

- Luminansnivået skal tilfredsstilles for hver sone i full lengde
- Beregnede midlere luminansverdier skal være driftsverdier (lik 75% av nyverdi)
- Den totale midlere luminansjevnhet skal være

$$U_0 = \frac{L_{\min}}{L_{\max}} \geq 0,4$$

- Beregninger foretas som angitt av CIE.
- Hvis nedtrapping i lysnivå fra overgangssone II til indre sone blir større enn 5 : 1, må det lages en nedtrapping med en overgangssone III med samme lengde som overgangssone II

Lysfordelingen må være slik at lyse tunnelvegger blir belyst i ca. 1,5 meters høyde over kjørebane.

Om natten skal hele tunnelen ha et luminansnivå på 2 cd/m<sup>2</sup>. Siden tidsrommet fra dagslyset til nattemørke er relativt langt, må tunnelbelysningen automatisk tilpasse seg belysningen utenfor.

I tunneler hvor gående og syklende kan ferdes, skal luminansnivået være 2 cd/m<sup>2</sup> selv om ÅDT er mindre enn 4000. Det vil normalt ikke være behov for å heve lysnivået i avslutningssonen i envegskjørtede tunneler. Der lav sol/blending forventes å kunne bli et problem, må geometrisk avskjerming, beplantning e.l. vurderes.

Figur 9.4 angir lengder på inngangssone og overgangssoner som funksjon av fartsgrense.

| Fartsgrense,<br>km/t | Inngangs-<br>sonens<br>lengde, m | Overgangssonens lengde, m |     |
|----------------------|----------------------------------|---------------------------|-----|
|                      |                                  | I                         | II  |
| 50                   | 40                               | 70                        | 70  |
| 60                   | 50                               | 80                        | 80  |
| 70                   | 60                               | 100                       | 100 |
| 80                   | 70                               | 110                       | 110 |
| 90                   | 75                               | 120                       | 120 |

Figur 9.4 Lengde på inngangs- og overgangssoner

## 902.2 Lavtrafikkerte tunneler

Tunneler med ÅDT lavere enn 4000 belyses med 35W lavtrykk natriumlamper (Na-L) plassert i en avstand på 25 m. Når minst 4 armaturer sees samtidig, vil de bidra til den visuelle føringen. Forutsetningen for en god visuell føring er at armaturene har dypttrukket skjerm.

Normalt vil det være behov for noe forsterkning av belysningen i tunnelens inngangssoner.

Dette kan gjøres ved å redusere avstanden mellom 35W Na-L lampene til 10 m over en lengde på 50 m. Denne belysningen kan være uendret over døgnet.

Hvis tunnelen ligger slik til at innkjøringsforholdene til tider kan bli vanskelige, bør forsterkningen i inngangssonen utføres med 4 stk. 250W høytrykk natriumlamper (Na-H) lamper med avstand 15 meter i stedet for en fortetting av Na-L lamper. Disse lampene (Na-H) bør kun være tent når forholdene utenfor tunnelen er slik at det er behov for ekstra belysning.

For ytterligere bedring av visuell føring gjennom tunneler som belyses etter en slik standard bør skilt 914 Tunnelmarkering benyttes.

## 902.3 Høytrafikkerte tunneler (ÅDT > 20 000)

Høytrafikkerte tunneler kan ha et luminansnivå på 4–6 cd/m<sup>2</sup> i indre sone. 6 cd/m<sup>2</sup> er bare aktuelt der trafikkmiljøet er særskilt krevende, f.eks. i tunnel med rampetilslutninger og sterkt belastede vekslingsstrekninger. Oftest oppnås det bedre synsforhold ved å bedre jevnheten, f.eks. ved å benytte lysrør, enn ved å økte luminansnivået. I tunnellop med 3 eller flere kjørefelt bør det benyttes lysanlegg som gir tilfredsstillende kontrast mellom kjørefeltoppmerking og vegdekket.

## 903 Armaturavstand

*Ved ugunstig kombinasjon av kjørehastighet og armaturavstand i lengderetningen kan det oppstå flimring for den kjørende. For relativt korte soner fører dette ikke til problemer. Ved meget lange tunneler kan det oppstå ubehagsvirkninger. Disse er imidlertid meget små ved aktuelle kjørehastigheter når armatur- avstanden er større enn ca. 9 m eller mindre enn 0,9 m.*

*For belysningssoner hvor kjøretiden er mindre enn 2 min, kan en se bort fra ubehagsvirkninger fra flimring.*

#### **904 Armaturer**

Armaturene skal ha solid utførelse i korrosjonsbestandig materiale. Armaturene skal tilfredsstillere kravene for klasse IP55 (støvsikker og spylesikker utførelse) i henhold til Forskrifter for elektriske anlegg.

Hvis høytrykksspyling benyttes til rengjøring, må det settes krav til minste avstand avhengig av det trykk som benyttes.

Armaturene skal være enkle å vedlikeholde og hensiktsmessige ved skifting av lyskilder. Utskiftbar optikk anses fordelaktig.

Garantitiden for belysningsanlegg skal være 2 år.

Nødlis kan arrangeres ved at hver fjerde eller femte armatur lyser ca. 2 timer når strømmen faller ut. Dette ordnes med batterier eller nødaggregat. Nødlis bør være montert i alle tunneler som har belysning.



## Kapittel 10 Ventilasjon

### 1000 Krav til atmosfæren i tunneler

#### 1000.1 Generelt

Ventilasjonsanlegg skal dimensjoneres for forventet trafikk 10 år etter åpningsåret.

Med den normale sammensetning av gassene i eksosen er det bare nødvendig å sette grenser for tillatt konsentrasjon av karbonmonoksid (CO-gass) og nitrogendioksid (NO<sub>2</sub>-gass). Konsentrasjonen av de øvrige giftige gassene byr ikke på helsemessige faremomenter hvis en sikrer tilstrekkelig uttynning av CO- og NO<sub>2</sub>-gassen.

Helsemyndighetene vurderer for tiden en endring av grenseverdiene for Co og No<sub>2</sub> i vegtunneler.

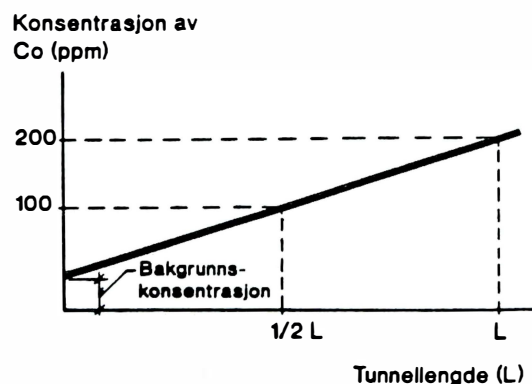
#### 1000.2 Grenseverdi for karbonmonoksid

For beregning av ventilasjonsbehov benyttes  $C_{\infty} = 200$  ppm.

Tillatt CO-konsentrasjoner i tunneler som funksjon av hvor man befinner seg i tunnelen er gitt i figur 10.1.

Det er knyttet følgende forutsetninger til de gitte grenseverdier:

- 1) Ved drift skal konsentrasjonen 100 ppm bare nås unntaksvis midt i tunnelen og må ikke overskrides selv ved ugunstige trafikkforhold. Hvis CO-måler plassert i  $1/2 L$  registrerer 100 ppm i mer enn 15 min, skal tunnelen stenges for trafikk.
- 2) Ved normal trafikk skal CO-innholdet i luften være vesentlig lavere. Dette oppnås ved å styre ventilasjonsanlegget slik at ventilatorene kobles inn i grupper og trinnvis. F.eks. starter første trinn starter ved 25-50 ppm, annet trinn ved 75 ppm og alle tre ved 100 ppm. Dette gjelder for styring fra CO-måler i  $1/2 L$ .



Figur 10.1 Grenseverdi for CO i tunneler. Bakgrunnskonsentrasjon varierer fra sted til sted

### 1000.3 Grenseverdier for karbonmonoksid i tunneler som er åpne for gående og syklende

For tunneler som er åpne for gående og syklende gjelder følgende grenseverdier for karbonmonoksid:

|          |         |
|----------|---------|
| 0 - 1 km | 100 ppm |
| 1 - 4 km | 25 ppm  |

I tunneler som er lengre enn 4 km må gående og syklende kun unntaksvis slippes igjennom. Alternativ fremkomstmulighet må da vurderes.

### 1000.4 Grenseverdier for nitrogendioksyd

For beregning av ventilasjonsbehov benyttes  $C_{\text{NO}_x} = 15 \text{ ppm}$ .

Tillatt  $\text{NO}_2$ -konsentrasjon som funksjon av hvor man befinner seg i tunnelen, er gitt i figur 10.2.

Nitrogenoksid (NO) dannes ved forbrenning i bilmotoren. Denne gassen blir omdannet til nitrogendioksid ( $\text{NO}_2$ ) ved oksidasjon i luften. Det antas at andelen av  $\text{NO}_2$  er 10% av  $\text{NO}_x$  ( $\text{NO}_x$  er fellesbetegnelse for nitrogenoksidene og består hovedsaklig av NO og  $\text{NO}_2$ ).

Dersom  $\text{NO}_2$ -konsentrasjonen overstiger 0,75 ppm i mer enn 15 min målt i  $1/2 L$ , skal tunnelen stenges for trafikk.

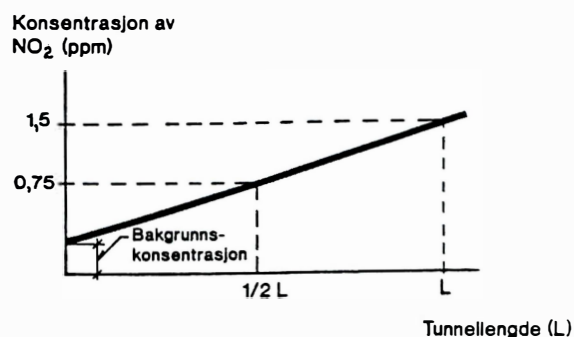
Grenseverdien gjelder uavhengig av om tunnelen har gang- og sykkeltrafikk.

### 1000.5 Grenseverdi for tillatt siktforurensning

Grenseverdien for tillatt siktforurensning

$$C_{\text{sikt}} = 1,5 \text{ mg/m}^3$$

Ved siktproblemer vil et bedre og mer systematisk renhold av tunnelen gi positive resultater.



**Figur 10.2** Grenseverdi for  $\text{NO}_2$  i tunneler. Bakgrunns-konsentrasjonen varierer fra sted til sted

## 1000.6 Grenseverdi for tillatt lufthastighet

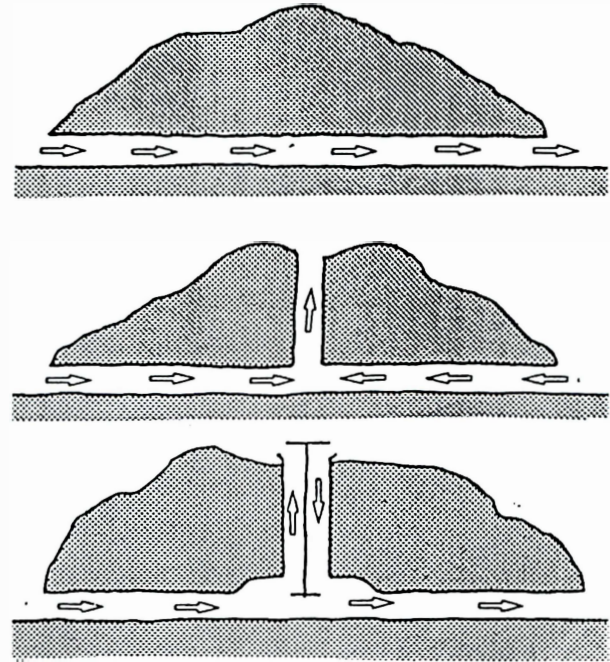
Lufthastigheten skal i envegskjørte tunneler ikke overstige 10 m/s og i tovegskjørte tunneler ikke overstige 7 m/s.

Ved brann og røykutvikling skal lufthastigheten i tunnelen kunne reduseres til 2 m/s.

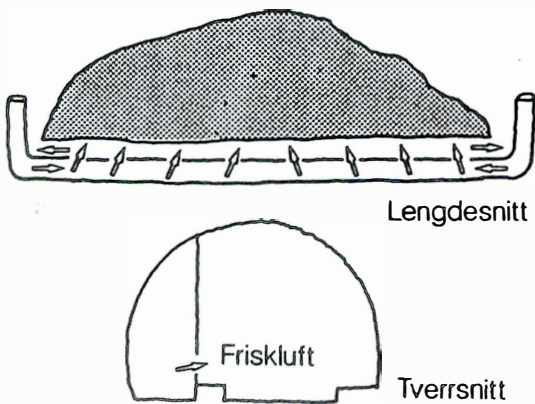
## 1001 Ventilasjonssystemer

Vegtunneler kan ventileres etter tre forskjellige hovedprinsipper (se figur 10.3, 10.4 og 10.5):

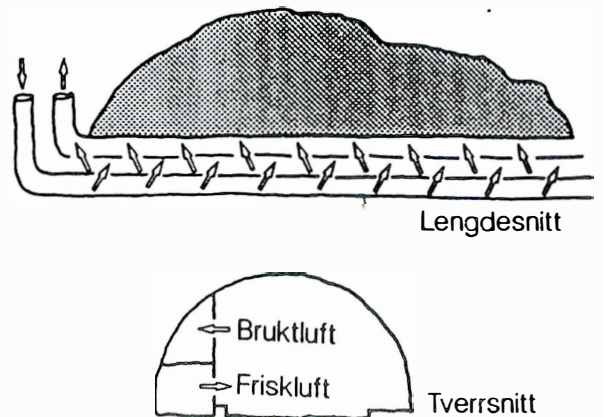
- langslufting, ev. med ventilasjonstårn/tverrslag
- halvverrlufting
- tverrlufting



Figur 10.3 Langslufting



Figur 10.4 Halvverrlufting



Figur 10.5 Tverrlufting

## **1002 Mekanisk ventilasjon**

### **1002.1 Generelt**

Mekanisk langslufting baseres hovedsaklig på bruk av impulsventilatorer. I lange eller sterkt trafikkerte tunneler eller hvor bestemte forurensningskrav gjøres gjeldende i områdene rundt tunnelåpningene, vil ventilasjon ved hjelp av ventilasjonstårn være aktuelt. Selv om det bygges ventilasjonstårn, vil det ofte være nødvendig å installere impulsventilatorer for å oppnå kontroll med luftmassene i tunnelen.

### **1002.2 Impulsventilatorer**

Ventilatorene vil normalt bli montert i tunneltaket, en og en eller flere sammen hvis plassforholdene tillater det. Avstanden mellom ventilatorene i tunnelens lengderetning bør være så stor at det oppnås stabil og jevn hastighetsprofil mellom hver vifte ev. viftegruppe. Ca. 70–80 m vil normalt være tilstrekkelig avstand.

I tilfelle brann med røykutvikling i tunnelen bør brannstedet kunne luftes ut mot den nærmeste tunnelåpningen, slik at ikke mesteparten av tunnelen blir røykfylt. Det kreves derfor at impulsventilatorene skal være reverserbare.

I tunneler med trafikk i én kjøreretning, vil ventilasjonsretningen normalt være den samme som trafikketretningen. Behovet for reversible impulsventilatorer i slike tunneler må derfor vurderes spesielt.

### **1002.3 Ventilatorer plassert i ventilasjonstårn eller tverrslag**

Ved å dele en tunnel opp i flere ventilasjonsavsnitt ved hjelp av sjakter eller tverrslag skapes det mulighet til å fornye luften i et langsluftingssystem. Anlegg av ventilasjonstårn og tverrslag fører imidlertid til at luftbevegelsene gjennom tunnelen blir mer komplisert, og krever detaljerte beregninger og planlegging, tilpasset det konkrete anlegget.

## **1003 Korrosjonsbeskyttelse av teknisk utrustning**

Atmosfæren i tunnelen er korrosiv. Dette skyldes kondenseringen av vann fra varm, fuktig luft. Dette vannet kan være svakt surt på grunn av at det inneholder salpetersyring og salpetersyre, som skyldes nitrøse gasser i eksosen. Utstyret skal derfor korrosjonsbeskyttes.

Generelt gjelder at alt stål skal være varmforzinket. Dette utføres etter at de enkelte deler er ferdig bearbeidet i verkstedet. Beleggstykkelsen skal være 400 – 500 g/m<sup>2</sup> (56 – 70 my). Etter sammenmonteringen før montering i tunnelen, skal alle ståldeler gis en ytterligere korrosjonsbeskyttelse som består av et lag primer med tykkelse ca. 60 my, og et lag epoxybasert maling med tykkelse ca. 60 my påført med høytrykkssprøyte.

Alternativt kan annen korrosjonsbeskyttelse velges. Den skal da minst være likeverdig med den behandlingen som er beskrevet ovenfor.

For undersjøiske tunneler må korrosjonsbeskyttelse vurderes spesielt, se kapittel 1207.

#### 1004 Beregning av luftbehov

Dersom trafikkenes fordeling på de to kjøreretningene ikke er kjent, antas 2/3 å kjøre i stigning.

#### CO-produksjon

Beregningsmodell for CO-produksjon fra biltrafikken:

$$Q_{CO} = q_{CO} \cdot M \cdot k_{hh} \cdot k_s \cdot k_f \cdot L$$

$$Q_{CO} = \text{totalt produserte CO-mengder, m}^3/\text{h}$$

$$q_{CO} = \text{basisverdi, CO-produksjon pr. bil, m}^3/\text{km.kjt}$$

Basisverdi for CO-produksjon,  $q_{CO}$  settes lik 0,013 m<sup>3</sup>/km. kjt ved kjøring på horisontal veg og fart 60 km/t.

Ved tomgangskjøring kan det regnes med en midlere CO-produksjon på 0,5 m<sup>3</sup>/h.kjt. Denne verdien tilsvarer et bensinforbruk på ca. 1 liter pr. time og 6% CO i eksosgassen.

$$M = \text{trafikkmengde, kjt/h}$$

$$k_{hh} = \text{korreksjonsfaktor for høyde over havet i figur 10.6}$$

$$k_s = \text{korreksjonsfaktor for kjøring i stigning i figur 10.7}$$

$$k_f = \text{korreksjonsfaktor for kjøring med redusert fart i figur 10.8}$$

$$L = \text{tunnellengde i km}$$

Friskluftbehovet  $Q_{\text{luft}}$  finnes på grunnlag av produserte CO-mengder ( $Q_{\text{CO}}$ ), og tillatt CO-konsentrasjon i tunnel  $C_{\infty}$ , (ppm) . C finnes fra figur 10.1.

$$Q_{\text{luft}} = \frac{Q_{\text{CO}} \cdot 10^6}{C_{\infty}} \text{ m}^3/\text{h}$$

Dette friskluftbehovet som forutsetter normaltrykk (760 mmHg) og temperatur på 0°C omregnes til friskluftbehovet ved ugunstigste atmosfæriske forhold ved dimensjonerende trafikkbelastning.

$$Q_{\text{luft}} = Q_{\text{luft}} \cdot \frac{P_0}{P} \cdot \frac{T_i}{T_0}$$

$P_0$  = normaltrykk 760 mmHG

$P$  = aktuelt trykk

$T_0$  = normaltemperatur 273K

$T_i$  = aktuell middellufttemperatur i tunnel, K

#### Trafikkmengden, M

Dimensjonerende trafikkmengde angis vanligvis i kjt/h. Ved korte og intense trafikktopper kan det brukes kortere intervall. Det kan ikke regnes med kortere tider enn utluftningstiden for tunnelen.

|                            |      |      |      |
|----------------------------|------|------|------|
| Høyde over havet i m       | 400  | 800  | 1200 |
| Korreksjonsfaktor $k_{hh}$ | 1,25 | 1,60 | 2,00 |

Figur 10.6 Korreksjonsfaktor for høyde over havet,  $k_{hh}$

|       | Fall i % |      | Stigning i % |     |     |     |
|-------|----------|------|--------------|-----|-----|-----|
|       | 4        | 2    | 0            | 2   | 4   | 6   |
| $k_s$ | 0,85     | 0,95 | 1,0          | 1,1 | 1,2 | 1,3 |

Figur 10.7 Korreksjonsfaktor for kjøring med fall eller i stigning,  $k_s$

|                       |     |     |     |     |     |     |     |          |
|-----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------|
| Trafikkfart<br>I km/t | 5   | 10  | 20  | 30  | 40  | 50  | 60  | 70 og 80 |
| $k_f$                 | 6,3 | 3,5 | 2,0 | 1,5 | 1,2 | 1,1 | 0,9 | 0,9      |

Figur 10.8 Korreksjonsfaktor for kjøring med redusert fart  $k_f$ 

## Siktreduserende forurensning

$$P_{sikt} = p_{sikt} (M_t + 0,08 M_l) k_{hh} \cdot k_s \cdot L$$

$$P_{sikt} = \text{produserte mengder sot i tunnelen, mg/h}$$

$$p_{sikt} = \text{basisverdi for sotproduksjon fra tunge kjøretøy 750 mg/kjt.km}$$

$$M_t = \text{trafikkmengde, tunge kjøretøy, kjt/h}$$

$$M_l = \text{trafikkmengde, lette kjøretøy, kjt/h}$$

Det regnes med at et lett kjøretøy gir 8 % av den siktforurensning som et tungt kjøretøy gir

$$k_{hh} = \text{korreksjonsfaktor for høyde over havet, når tunnelen ligger mer enn 400 m over havet, i figur 10.9}$$

$$k_s = \text{korreksjonsfaktor for kjøring i stigninger, i figur 10.10 . Ved fall benyttes } k_s = 0.5.$$

$$L = \text{tunnellengde i km}$$

| Høyde over havet i m |      |      |      |      |      |      |      |
|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 500                  | 500  | 700  | 800  | 900  | 1000 | 1100 | 1200 |
| 1,12                 | 1,24 | 1,35 | 1,47 | 1,58 | 1,69 | 1,81 | 1,93 |

Figur 10.9 Korreksjonsfaktor for høyde over havet,  $k_{hh}$ 

| Stigning i % |     |     |     |     |     |     |
|--------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 0            | 2   | 4   | 6   | 8   | 10  | 12  |
| 1,0          | 1,8 | 2,7 | 3,6 | 4,5 | 5,2 | 5,5 |

Figur 10.10 Korreksjonsfaktor for stigninger,  $k_s$

Friskluftbehovet for uttynning av siktreduserende forurensninger.

$$Q_{\text{luft}} = \frac{P_{\text{sikt}}}{C_{\text{sikt}}} \text{ m}^3/\text{h}$$

### NO<sub>x</sub>-produksjon

Beregningsmodell for produksjon av nitrøse gasser (NO<sub>x</sub>):

$$Q_{\text{NO}_x} = q_{\text{NO}_x} \cdot (M_l + k_t \cdot M_t) \cdot k_s \cdot L$$

$$Q_{\text{NO}_x} = \text{produserte mengder NO}_x\text{-gass i tunnelen, m}^3/\text{h}$$

$$q_{\text{NO}_x} = \text{basisverdi for personbil, } 1,3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{km.kjt}$$

$$M_l = \text{trafikkmengde, lette kjøretøy, kjt/h}$$

$$M_t = \text{trafikkmengde, tunge kjøretøy, kjt/h}$$

$$k_s = \text{korreksjonsfaktor for kjøring i stigning, se i figur 10.11}$$

$$k_t = \text{korreksjonsfaktor for tunge kjøretøy, se i figur 11.12}$$

Konsentrasjonen av de nitrøse gassene finnes av:

$$C_{\text{NO}_x} = \frac{Q_{\text{NO}_x}}{Q_{\text{luft}}}$$

$Q_{\text{luft}}$  er nødvendig friskluftmengde for uttynning av CO-gass eller siktforurensninger i tunnelen.

| Stigning i % |     |     |     |     |     |     |     |
|--------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|              | 0   | 2   | 4   | 6   | 8   | 10  | 12  |
| $k_s$        | 1,0 | 1,7 | 2,2 | 2,8 | 3,4 | 4,0 | 4,6 |

Ved fall brukes  $k_s = 0,5$

Figur 10.11 Korreksjonsfaktor for stigninger,  $k_s$

Dersom ikke trafikens fordeling på de to kjøreretningene er kjent, antas 2/3 å kjøre i stigning.



| Kjøretøyhastighet i km/t |    |    |    |     |     |      |
|--------------------------|----|----|----|-----|-----|------|
|                          | 20 | 30 | 40 | 50  | 60  | > 60 |
| $k_t$                    | 8  | 7  | 5  | 3,5 | 2,5 | 2,5  |

**Figur 11.12** Korreksjonsfaktor for tunge kjøretøy,  $k_t$

### 1005 Beregning av nødvendig skyvkraft ved langslufting

Figur 10.3 viser eksempel på virkemåter ved langslufting. Et slikt system kan bygges med eller uten ventilasjonstårn/tverrslag. Luftstrømningen kan regnes som rørstrømning, og det kan settes opp enkle ligninger for luftbevegelsen gjennom tunnelen.

De kreftene som forårsaker ventilasjon i en tunnel kan inndeles i tre:

- meteorologiske ventilasjonskrefter
- stempeleffekt fra kjøretøy
- mekaniske ventilasjonskrefter

Ventilasjon som skyldes meteorologiske krefter og stempeleffekt fra kjøretøy betegnes som naturlig ventilasjon.

#### Naturlig ventilasjon

-----

De meteorologiske ventilasjonskreftene er oftest ustabile, og det kan være vanskelig å forutsi styrke og fordeling av de ulike bidragene. Dette gjelder spesielt for vindkrefter og innvirkning fra klimaskiller. Temperaturkreftene kan være noe mer stabile og lettere å få oversikt over. Måling av naturlig trekk anbefales der dette er mulig.

#### Stempeleffekt fra kjøretøy

-----

Når biler trafikkerer en tunnel med en fart som er forskjellig fra lufthastigheten i tunnelen, vil de utøve et trykk (skyvekraft) mot luftmassene i tunnelen.

Beregning av trykktapet gjennom tunnelen:

$$\Delta P = \frac{q}{2} \left( i + \lambda \frac{L}{D} + 1 \right) u^2 + \rho l \frac{du}{dt}$$

$\Delta P =$  trykktapet gjennom tunnelen, N/m<sup>2</sup>

$q =$  luftens tetthet, kg/m<sup>3</sup>

$i =$  innløpstep

$\lambda =$  koeffisient for strømmingstep. Varierer fra 0.025 ved utstøpt tunnel til 0.05 ved råsprenget tunnel

$L =$  tunnallengde i m

$D =$  hydraulisk diameter, m ( $D = 4A/O$ )

$u =$  beregnet nødvendig lufthastighet, m/s

Tapsleddet (friksjonsleddet) vil oftest være dominerende i denne ligningen. Akselerasjonsleddet vil mest virke som utjevning av lufthastigheten. I praksis kan det antas at luftstrømmingen er stasjonær og ligningen kan forenkles til:

$$\Delta P = \frac{q}{2} \left( i + \lambda \frac{L}{D} + 1 \right) u^2$$

Singulærtap i forbindelse med strømming gjennom bend, innsnevninger etc. i forbindelse med ventilasjonstårn o.l. kan uttrykkes som funksjon av hastigheten i tunnelen.

$$\Delta P_{SING} = \frac{q}{k \cdot 2} \cdot u^2$$

Faktoren  $k$  er avhengig av geometriske forhold og finnes i håndbøker.

#### Meteorologiske ventilasjonskrefter

---

Forutsetningen for denne effekten er at tunnelåpningene (evt. tverrslag og sjaktåpninger) ligger i ulik høyde og at det er en temperaturforskjell mellom luften i og utenfor tunnelen. Trykkdifferansen mellom tunnelåpningene blir:

$$\Delta P_t = q \cdot \frac{\Delta T}{T_t} \Delta H \quad (N/m^2)$$

hvor

$T_t =$  midlere lufttemperatur i tunnelen, K

$q$  = luftens spesifikke vekt ved nedre innslag,  $N/m^3$

$\Delta T$  = differansen mellom midlere lufttemperatur i tunnelen og lufttemperatur ved nedre tunnelåpning, K

$H$  = høydeforskjell mellom tunnelåpningene ev. mellom tunnelåpning og sjaktåpninger, m

Trykkgradienten er rettet mot den høyeste av geo- eller lufttemperaturen. Når temperaturene er like, oppstår det labile tilstander. Dette er ofte tilfelle vår og høst.

#### Stempeleffekt fra kjøretøy

Den kraften som bilene utøver på luften i tunnelen (luftmotstanden), uttrykkes som:

$$P_F = \frac{q}{2} \cdot \frac{i_F \cdot A_F}{\left(1 - \frac{A_F}{A_T}\right)^2} |N^+ (V_t - u)^2 - N^- (V_t + u)^2|$$

$P_F$  = "stempelkraft", N

$q$  = luftens tetthet,  $kg/m^3$

$A_T$  = tunnelverrsnitt, m

$A_F$  = biltverrsnitt  
 personbiler  $A_F = 2m^2$   
 lastebiler og busser  $A_F = 6m^2$

$i_F$  = formfaktor for å finne effektiv motstandsflate  
 personbiler = 0,5  
 lastebiler og busser = 1,0 - 1,7

$N^+, N^-$  = antall biler inne i tunnelen på et gitt tidspunkt i dimensjonerende time som kjører med dimensjonerende fart, med (+) og mot (-) luftstrømmen

$V_t$  = trafikkfart, m/sek

$u$  = lufthastighet, m/sek

#### Tunneler med envegstrafikk

For envegstrafikkerte tunneler kan formelen for den kraft som bilene utøver på luften i tunnelen, forenkles til:

$$P_F = \frac{q}{2} \cdot \frac{i_F \cdot A_F}{\left(1 - \frac{A_F}{A_T}\right)^2} (N^+ (V_t - u)^2)$$

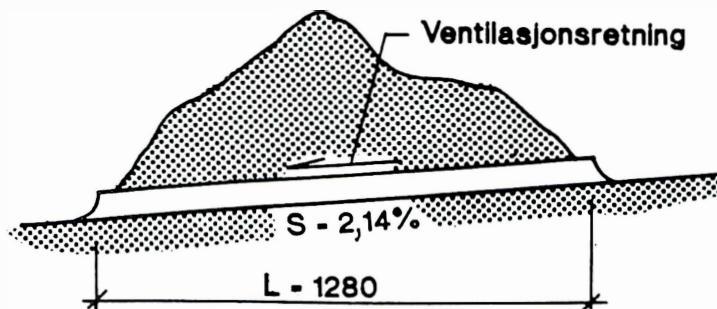
## VEDLEGG TIL KAPITTEL 10 VENTILASJON

Eksempel på beregning av nødvendig friskluftmengde og skyvkraft for et ventilasjonsanlegg

### 1. Forutsetninger

|                   |   |                   |
|-------------------|---|-------------------|
| Tverrsnitt (A)    | : | 50 m <sup>2</sup> |
| Dim. timetrafikk  | : | 1700 kjt/t        |
| Andel tungtrafikk | : | 13%               |
| Kjørehastighet    | : | 60 km/t           |
| Høyde over havet  | : | <400 moh          |

Lengdeprofil:



Ved dimensjonering benyttes  $C_{\infty} = 200$  ppm,  $C_{NOx} = 15$  ppm og  $C_{sikt} = 1,5$  mg/m<sup>3</sup> (grenseverdier)

2/3 av trafikken (1133 kjt/t) er regnet mot ventilasjonsretningen.

1/3 av trafikken (567 kjt/t) er regnet med ventilasjonsretningen.

### 2. CO - Produksjon fra bilene i tunnelen

$$q_{CO} = 0,013 \text{ m}^3/\text{km kjt}$$

$$M_1 = 1133 \text{ kjt/t (motventilasjonsretningen)}$$

$$M_2 = 567 \text{ kjt/t (med ventilasjonsretningen)}$$

$$k_{s1} = 1,1 \text{ (stigning)}$$

$$k_{s2} = 0,95 \text{ (fall)}$$

$$k_f = 1,0 \text{ (redusert fart)}$$

$$k_{hh} = 1,0 \quad (\text{lavere enn } 400 \text{ moh})$$

$$L = 1,28 \text{ km}$$

$$Q_{oco} = q_{oco} ((M_1 \cdot k_{s1} \cdot k_f \cdot k_{hh} \cdot L) + (M_2 \cdot k_{s2} \cdot k_f \cdot k_{hh} \cdot L))$$

$$Q_{oco} = 0,013 ((1133 \cdot 1,1 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,28) + (567 \cdot 0,95 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,28)) \text{ m}^3/\text{t}$$

$$Q_{oco} = 29,7 \text{ m}^3/\text{t}$$

Friskluftbehov

$$Q_{oluft} = \frac{Q_{oco} \cdot 10^6}{C_{co}}$$

$$Q_{oluft} = \frac{29,7 \cdot 10^6}{200} \text{ m}^3/\text{t} = 148507 \text{ m}^3/\text{t}$$

Friskluftbehovet korrigeres med trykk- og temperaturforhold under dimensjonerende trafikkbelastning:

$$Q_{luft} = Q_{oluft} \frac{P_o}{P} \cdot \frac{T_t}{T_o}$$

Man kan undersøke størrelsen på trykk og temperatur, eller man kan benytte en tilnærmet verdi;

$$\frac{P_o}{P} \cdot \frac{T_t}{T_o} = 1,1$$

$$Q_{luft} = 148507 \text{ m}^3/\text{t} \cdot 1,1 = 163358 \text{ m}^3/\text{t} = 45,4 \text{ m}^3/\text{s}$$

Lufthastighet i tunnelen:

$$u_{luft} = \frac{Q_{luft}}{A}$$

$$u_{luft} = \frac{45,4 \text{ m}^3/\text{s}}{50 \text{ m}^2} = 0,9 \text{ m/s}$$

### 3. Siktforurensning fra bilene i tunnelen (sotproduksjon)

$$P_{sikt} = q_{o\ sikt} (M_t + 0,08 M_1) \cdot k_{hh} \cdot k_s \cdot L$$

$$q_{o\ sikt} = 750 \text{ mg/kjt.km}$$

Trafikkmengde:

$$M_{lette} = M_1 = 1700 - 0,13 (1700) = 1479 \text{ kjt/t}$$

$$M_{tungc} = M_t = 1700 - 1479 = 221 \text{ kjt/t}$$

Andel trafikk mot ventilasjonsretningen:

$$M_{t1} = 2/3 (221) = 147 \text{ kjt/t}$$

$$M_{t11} = 2/3 (1479) = 986 \text{ kjt/t}$$

Andel trafikk med ventilasjonsretningen:

$$M_{2} = 221 - 147 = 74 \text{ kjt/t}$$

$$M_{12} = 1479 - 986 = 493 \text{ kjt/t}$$

$$K_{hh} = 1,0 \quad (\text{lavere enn } 400 \text{ moh})$$

$$k_{s1} = 1,8 \quad (\text{stigning})$$

$$k_{s2} = 0,5 \quad (\text{fall})$$

$$L = 1,28 \text{ km}$$

$$P_{sikt} = p_{o\ sikt} \cdot ((M_{t1} + 0,08 M_{t11}) \cdot k_{hh} \cdot k_{s1} \cdot L) + (M_2 + 0,08 M_{12}) \cdot k_{hh} \cdot k_{s2} \cdot L)$$

$$P_{sikt} = 750 (147 + 0,08 \cdot 986) \cdot (1,0 \cdot 1,8 \cdot 1,28) + (74 + 0,08 \cdot 493) \cdot (1,0 \cdot 0,5 \cdot 1,28) = 444772 \text{ mg/t}$$

Friskluftbehovet

$$Q_{luft} = \frac{P_{sikt}}{C_{sikt}} = \frac{444772 \text{ mg/t}}{1,5 \text{ mg/m}^3} = 296515 \text{ m}^3/\text{t} \approx 83 \text{ m}^3/\text{s}$$

Lufthastighet

$$u = \frac{Q_{luft}}{A} = \frac{83 \text{ m}^3/\text{s}}{50 \text{ m}^2} = 1,7 \text{ m/s}$$

#### 4. NO<sub>x</sub> - produksjon fra bilene i tunnelen

$$Q_{NO_x} = q_{NO_x} \cdot (M_1 + k_t \cdot M_0) \cdot k_s \cdot L$$

$$q_{NO_x} = 1,3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kjt.km}$$

Trafikkmengder i begge retninger er beregnet under pkt. 3

$$k_{s1} = 1,7 \quad (\text{stigning})$$

$$k_{s2} = 0,5 \quad (\text{fall})$$

$$k_t = 2,5 \quad (\text{tunge kjøretøy})$$

$$L = 1,28 \text{ km}$$

$$Q_{NO_x} = q_{NO_x} \cdot ((M_{11} + k_t \cdot M_0) \cdot (k_{s1} \cdot L) + (M_{12} \cdot k_t \cdot M_0) \cdot (k_{s2} \cdot L))$$

$$Q_{NO_x} = 1,3 \cdot 10^{-3} \cdot ((986 + 2,5 \cdot 147)(1,7 \cdot 1,28) + (493 + 2,5 \cdot 74)(0,5 \cdot 1,28))$$

$$Q_{NO_x} = 4,4 \text{ m}^3/\text{t}$$

Konsentrasjon av NO<sub>x</sub> - gassene:

$$C_{NO_x} = \frac{Q_{NO_x}}{Q_{luft}}$$

$Q_{luft}$  er nødvendig beregnet friskluftbehov for uttyning av CO-gass eller siktforurensninger i tunnelen. I dette eksempelet er det siktforurensninger som har størst friskluftbehov (83 m<sup>3</sup>/s).

Altså blir  $Q_{luft} = 83 \text{ m}^3/\text{s} = 298800 \text{ m}^3/\text{h}$

$$C_{NO_x} = \frac{4,4 \text{ m}^3/\text{t}}{298800} = 1,47 \cdot 10^{-5} = 14,7 \text{ ppm} < 15 \text{ ppm dvs. ok}$$

Grenseverdi for NO<sub>x</sub>-konsentrasjonen er maksimum 15 ppm. Derved er ikke NO<sub>x</sub>-produksjonen dimensjonerende i dette tilfellet. Det er derfor siktforurensningene som er dimensjonerende for ventilasjonsanlegget.

#### 5. Ventilasjonsberegninger for langslufting

Tyktapet gjennom tunnelen:

$$\Delta P = \frac{\rho}{2} \left( i + \lambda \frac{L}{D} + 1 \right) \cdot u^2 + \rho l \frac{du}{dt}$$

$$q = 1,2 \text{ kg/m}^3 \text{ (tetthet luft)}$$

$$p_1 \frac{du}{dt} = 0 \text{ ved stasjonær strømming}$$

$$i = 0,5 \text{ (innløpstep)}$$

$$\lambda = 0,05 \text{ (strømningstep råsprenget tunnel)}$$

$$D = 8 \text{ m (hydraulisk diameter; } D = 4A/O \text{)}$$

$$u = 1,7 \text{ m/s (lufthastighet)}$$

$$\Delta P = \frac{1,2}{2} \left( 0,5 + 0,05 \frac{1280}{8,0} + 1 \right) \cdot 1,7^2 = 16,5 \text{ N/m}^2$$

Naturlig trekk i tunnelen:

$$\Delta P_N = \frac{q}{2} \left( i + \lambda \frac{L}{D} + 1 \right) \cdot u^2 + p_1 \frac{du}{dt}$$

Setter  $u = 1.0 \text{ m/s}$ , og antar stasjonær strømming:

$$\Delta P_N = \frac{1,2}{2} \left( 0,5 + 0,05 \frac{1280}{8,0} + 1 \right) \cdot 1,0^2 = 5,7 \text{ N/m}^2$$

Stempeleffekt fra kjøretøy:

$$P_F = \frac{q}{2} \frac{i_F \cdot A_F}{\left( 1 - \frac{A_F}{A_t} \right)^2} |N^+ (V_t - u)^2 - N^- (V_t + u)^2|$$

$$q = 1,2 \text{ kg/m}^3$$

$$V_t = 60 \text{ km/t} = 16,67 \text{ m/s (kjørehastighet)}$$

$$u = 1,7 \text{ m/s (beregnet nødv. lufthastighet i tunnel)}$$

$$i_F = 0,5 \text{ (formfaktor lette kjøretøy)}$$

$$i_F = 1,35 \text{ (formfaktor tunge kjøretøy)}$$

$$A_F = 2,0 \text{ m}^2 \text{ (tverrsnitt personbiler)}$$

$$A_F = 6,0 \text{ m}^2 \text{ (tverrsnitt lastebiler og busser)}$$

$$A_T = 50 \text{ m}^2 \text{ (tunneltverrsnitt)}$$



$N^+ = 10$  (antall personbiler med luftstrømmen)

$N^- = 21$  (antall personbiler mot luftstrømmen)

$N^+ = 2$  (antall tunge kjøretøy med luftstrømmen)

$N^- = 3$  (antall tunge kjøretøy mot luftstrømmen)

$$P_{F \text{ lette}} = \frac{1,2}{2} \frac{0,5 \cdot 2}{\left(1 - \frac{2}{50}\right)^2} |10 \cdot (16,67 - 1,7)^2 - 21 \cdot (16,67 + 1,7)^2| = 3155N$$

$$P_{F \text{ tunge}} = \frac{1,2}{2} \frac{1,35 \cdot 6}{\left(1 - \frac{6}{50}\right)^2} |2 \cdot (16,67 - 1,7)^2 - 3 \cdot (16,67 + 1,7)^2| = 3540N$$

|                             |   |   |   |       |
|-----------------------------|---|---|---|-------|
| Trykktapet gjennom tunnelen | = | $16,5 \text{ N/m}^2 \cdot 50 \text{ m}^2$ | = | 825N  |
| Naturlig trekk              | = | $5,7 \text{ N/m}^2 \cdot 50 \text{ m}^2$  | = | 285N  |
| $P_{F \text{ lette}}$       | = |   | = | 3155N |
| $P_{F \text{ tunge}}$       | = |   | = | 3540N |

---

Samlet skyvekraft viftene må overvinne = 7805N

Nødvendig skyvekraft inkl. systemkoeffisient ( $K = 0.6$ ) blir:

$$\frac{7805N}{0,6} = 13008N$$

Systemkoeffisienten varierer med viftestørrelse og vifteplassering.

## Kapittel 11 Miljø

### 1101 Utforming av forskjæring og tunnelportal

#### 1101.1 Generelt

Fjellskjæringer og tunnelportaler avviker fra naturlandskapet både i form og farge. De vil derfor fremtre som sår og fremmedelementer som kan gi en negativ visuell opplevelse både fra vegen og fra omgivelsene.

Forskjæring, og tunnelportal skal i størst mulig grad utformes som en naturlig del av det landskapsrommet den er i. Grunnlaget for å lage en estetisk portal legges ved å begrense skjæringene inn mot tunnelen. Dette gjelder både for tunneler i naturlandskapet og for bytunneler. Formen på portalen må harmonere både med landskapets linjer og med tunnelverrsnittet.

Tunneler kan bygges uten betongportaler der det ikke er vannproblemer eller fare for nedfall av stein og is.

#### 1101.2 Tunnelportalens funksjon

- Portalen skal formidle overgangen fra landskapsrommets åpenhet til tunnelen med kunstig belysning
- Portalen skal gis en riktig estetisk form tilpasset omgivelsene. Det skal også legges vekt på sikkerhet og lysforhold ved utformingen
- Portalen skal skjerme vegen mot nedfall av stein og blokker, samt sikre mot is og vann

#### 1101.3 Prinsipper for utforming av tunnelportaler

Prinsippene gjelder både i naturlandskap og bylandskap.

Ved plassering av tunnelpåhugg vil landskapets hovedform være avgjørende for resultatet.

Tunnelpåhugg i stigende terreng vil normalt gi den beste mulighet for terrengtilpasning. Kommer tunnelen rett inn på terrengformasjonen, bør både påhugget og portalen gis en rett form. Tilsvarende gis både påhugget og portalen en skrå form når vegen kommer skrått inn. Se figur 11.1

Ved utforming av dagsoneanlegg i dalside skal fjernvirkning av inngrepet vurderes spesielt.

#### Portalområde i stigende terreng

I naturlandskapet vil en myk form som regel være riktig. En portal som heller bakover og er formet som en trakt gir inntrykk av en romslig tunnel.

#### - Råsprengt åpning (påhugg uten betongportal)

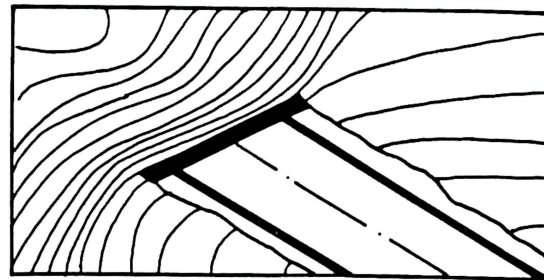
Denne løsningen kan benyttes når fjellet er tørt og stabilt og hvor overflatevannet ikke vil skape problemer. Egner seg fortrinnsvis for veger med liten trafikk og hvor påhugget er eksisterende fjelloverflate.

#### - Rett avskåret portal (uten bord eller frontmur)

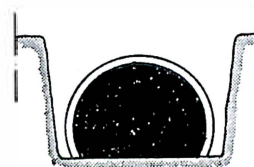
Kan benyttes der fjellet er så godt at støtpute ikke er påkrevd, men hvor man ønsker utstøpning i tunnelåpningen. Løsningen er aktuell for korte portaler.

#### - Rett eller skrått avskåret portal med betongbord

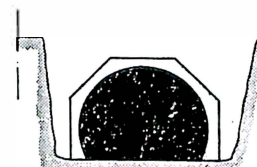
Benyttes der det er behov for støtpute. Borden kan utformes på forskjellig måte fra traktform og til et smalt bånd rundt åpningen. Båndet må være minst 0,25 m bredt for å dekke støtputen. Borden vil markere tunnelåpningen. Den må derfor harmonere både med tunnelverrsnittet og med linjene i landskapet.



Figur 11.1 Utforming av påhugg



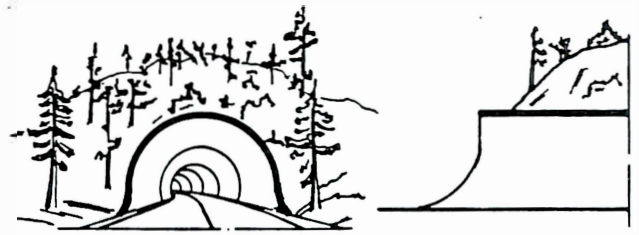
Figur 11.2 Myk utforming



Figur 11.3 Kantet utforming

- Skrått avskåret portal

Passer best for portaler som skal overfylles. Portalen gis samme helling som de tilbakefylte massene. Formen får tunnelen til å virke mindre trang. På den måten er den en god overgang fra det store åpne landskapsrommet til tunnelen. Hellingen kan være fra 1:1,5 til 1:2. Lengden på portalen utenfor tilbakefyllingen kan være 2 - 3 m. I naturlandskapet vil en myk form som regel være riktig. En portal som heller bakover og er formet som en trakt gir inntrykk av en romslig tunnel.



Figur 11.4 Rett avskåret portal

Portalområde i flatt og fallende terreng

---

Ved portaler i flatt terreng skal det vurderes hvor langt frem portalen skal trekkes avhengig av omgivelsene.

- Ikke overbygd portalområde:

Nedrampingen vil fortone seg som et langstrakt hull i bakken, men vil synes lite fra siden. "Kløften" som oppstår vil kunne forsterke støyproblemet.

- Delvis overbygd portalområde:

Åpningen vil bli synlig i gatebildet, men vil likevel ikke markere seg som et vertikalt dominerende element.

- Helt overdekket portalområde:

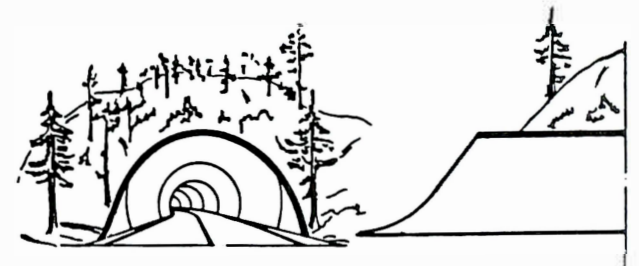
Portalen er trukket frem og opp på opprinnelig terrengnivå. Prinsippet vil kunne skjerme godt mot støy, men vil medføre en bygningsmessig konstruksjon i gatebildet som kan virke fremmed. Løsningen stiller store krav til formgivning av overdekning og portal. I tverretningen vil overdekningen kunne få en barrierevirkning. Prinsippet vil være svært vanskelig å tilpasse i tett by.

Spesielle forhold for tunneler i tett og middels tett bebyggelse.

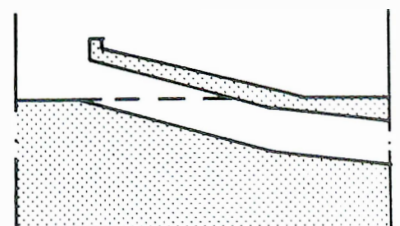
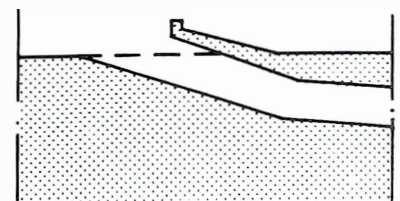
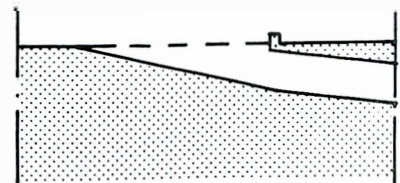
---

Forhold som må vurderes er:

- Eksisterende og planlagt bebyggelse og konstruksjoner som premisser for formgivingen



Figur 11.5 Skrått avskåret portal



Figur 11.6 Tunnelportaler i flatt terreng

- Eksisterende og ny vegetasjon
- Byens akser og andre eksisterende siktlinjler.

Behandling av sidearealene inn mot portalåpningen spiller en stor rolle. Sidearealet skal gi et rolig og oversiktlig bilde. Trafikantenes oppmerksomhet skal rettes mot tunnelåpningen, samtidig som portalområdet skal ha en estetisk form.

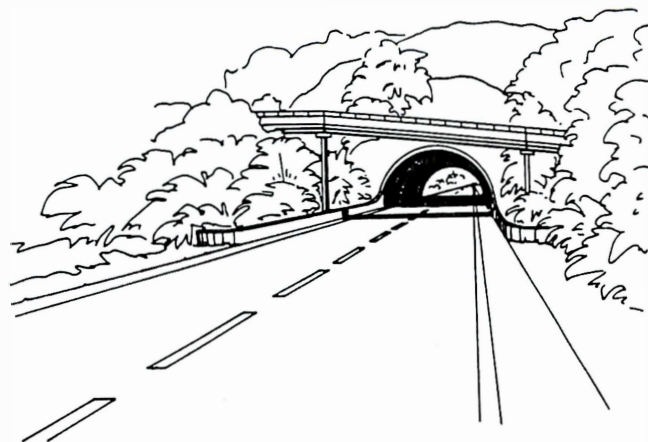
I en bymessig situasjon skal portalen ha en bevisst arkitektonisk utforming som har sammenheng med byrommet for øvrig.

Bruer og andre konstruksjoner foran tunnelen tar oppmerksomheten fra selve tunnelåpningen og bør således unngås. Hvis i tillegg formspråket for konstruksjon og tunnelportal blir forskjellig, kan kombinasjonen bli svært uheldig. Se figur 11.7.

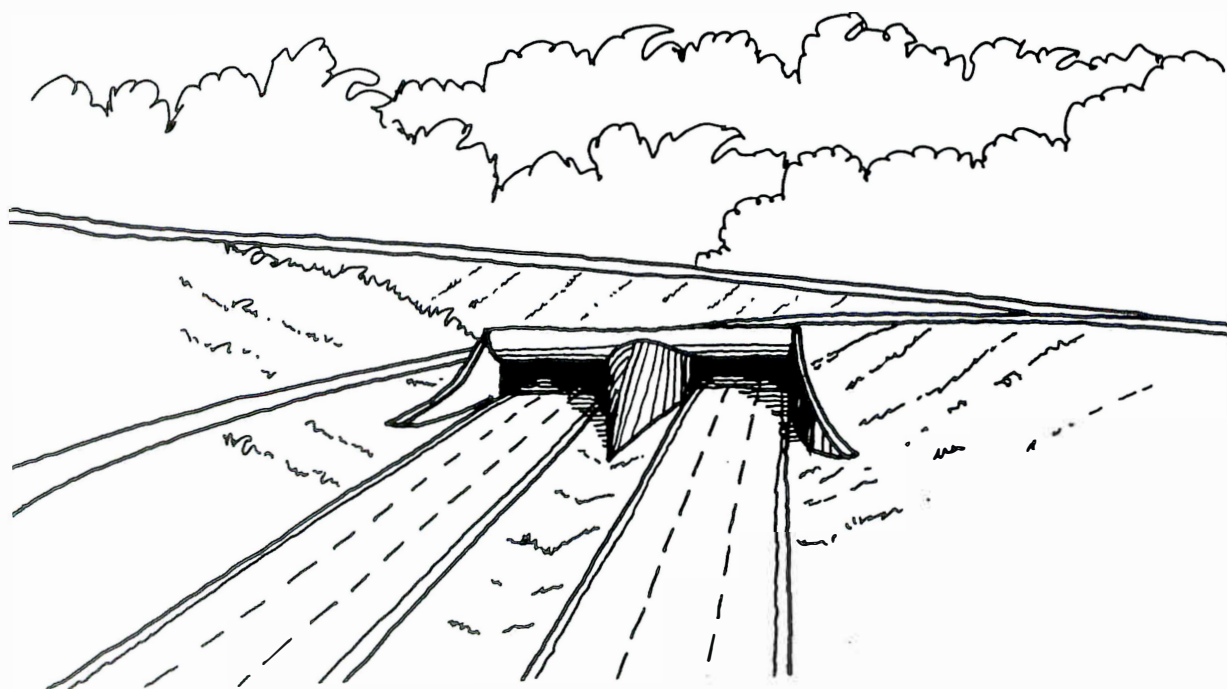
Skrålinjer som dannes av kryssende vegger bak eller over portalen bør også unngås.

Sidevangene i en nedramping bør ikke legges høyere enn 1 m over bakken der fotgjengere skal kunne oppleve byrommet. I stedet for å bruke lukkede støpte vanger kan rekkverk som er tilpasset gaterommets arkitektur i form og farge benyttes.

I større trafikklandskaper vil beplantning være med på å dele landskapet i mindre landskapsrom som vil gi et roligere og mer harmonisk inntrykk.



Figur 11.7 Uheldig løsning med kryssende bru foran portal



Figur 11.8 Eksempel på uheldig løsning med kryssende skrålinjer bak portal

## 1101.4 Sikkerhet

Portalen skal utformes slik at den medvirker til å redusere ulykkene ved å lede trafikantene inn i tunnelen på en naturlig måte.

Som hovedregel skal portalen gis en form som i seg selv gjør rekkverk unødvendig, både innenfor og utenfor tunnelåpningen.

Der det benyttes vegrekkverk i tilknytning til portalen skal lengden være minst som gitt i figur 11.9.

Arkitektonisk vil betongrekkverk være å foretrekke i forbindelse med betongportaler. Ofte vil det også være riktig å avslutte rekkverket like langt fremme på begge sider.

Rekkverk utenfor tunnelåpningen skal festes forsvarlig til portalen slik at rekkverket ikke brytes ved en påkjørsel.

Brukes et stålskinnerekkverk, skal stolpeavstanden fortettes inn mot betongkonstruksjonen.

Overgangen mellom portalen og tunnelveggen skal utformes skrå i forhold til retningen på vegbanen.

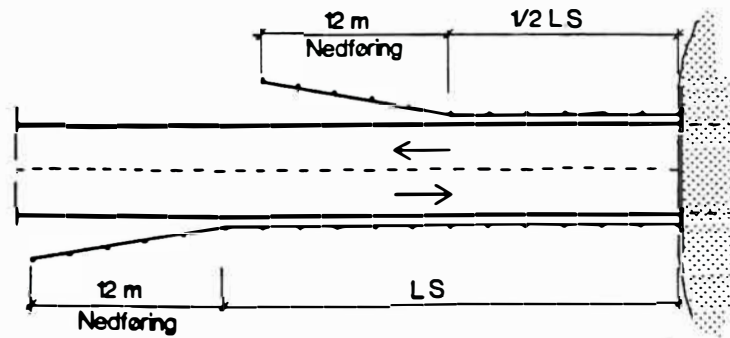
## 1101.5 Blending/solskjerming

For tunneler der lav sol kan føre til blending kan portalen brukes som solskjerm. Dette er imidlertid vanskelig å få pent fordi portalen kan bli unaturlig høy.

Vegetasjon anbefales brukt som supplement eller som et alternativ til høy portal. Som solskjerm vil den imidlertid være lite effektiv de første årene etter planting. Løvfellende trær og busker er lite egnet i vinterhalvåret. En solskjerm av vegetasjon kan være en blanding av vintergrønne og løvfellende trær og busker. De vintergrønne gir skjerming hele året og de løvfellende myker opp inntrykket av en tung og mørk vegetasjon. Som regel skal arter som naturlig hører hjemme i området benyttes.

## 1101.6 Membran/støppute

For å beskytte portalen mot mekanisk skade ved f.eks. steinsprang må betonghvelvet dekkes til. Dette kan skje ved hjelp av sandpute, jernbanesviller eller trykkimpregnerte stokker. Hvis portalen blir sett fra siden i nærvirkning, er sand eller jord som tilsåes å foretrekke. For øvrig henvises til kapittel 609.



Figur 11.9 Vegrekkverk ved tunnelportal

## 1101.7 Vegutstyr i forbindelse med portalen

## Generelt

I vegutstyret kan følgende inngå:

- skilt og skiltgalger
- belysning
- støyskjermer, sikringsgjerder, rekkverk
- New-Jersey - elementer, betongrekkverk
- kantstein, vegmerking

I området foran en tunnel stilles helt spesielle krav til estetikk og orden. Mengden av utstyr skal reduseres til et minimum.

## Skilt og skiltgalger

I tilknytning til tunnelåpningen er det som regel behov for skilt og andre innretninger. Av hensyn til sikkerhet og landskapsarkitektur skal slikt utstyr plasseres i god avstand fra portalen eller inne i tunnelen.

Generelt skal det legges vekt på følgende:

- ensartet utforming
- unngå unødige skilt
- skilt og utstyr plasseres lengst mulig fra portalen. Skiltgalger foran portal bør unngås

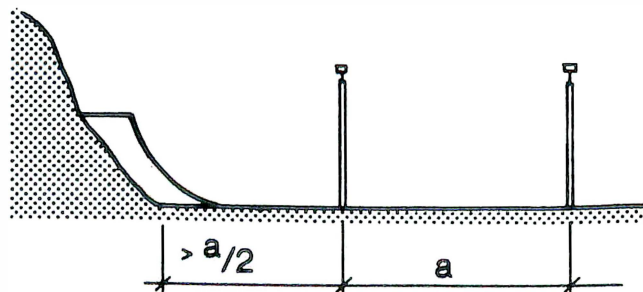
Se forøvrig kapittel 3 Tunnelutforming

## Belysning

I dagsonene stilles det spesielle krav til belysningsstyrke og fordeling. Se kapittel 9, Belysning.

Ut fra estetiske forhold bør gult lys unngås i innkjøringssonen. Det stilles også krav til masteplassing utenfor tunnelen.

Portalen er et sted hvor en regelmessig masterekke brytes. Den siste masten bør derfor ikke plasseres nærmere portalen enn halvparten av den normale masteavstand.



Figur 11.10 Masteplassing ved portal

Forøvrig gjelder de samme estetiske prinsipper for vegbelysning som for veganlegg ellers.

### Støyskjermer

---

Støyforhold utenfor tunnelåpninger er omtalt i kapittel 1103.

I tett og middels tett bebyggelse vil det ofte være nødvendig med støyskjerming.

Støyskjermer skal tilpasses portalen og omgivelsene når det gjelder materialbruk, formuttrykk og farge.

### Sikringsgjerder og rekkverk

---

Ferdse over portal bør generelt unngås.

Hvis det i naturlandskapet er nødvendig med gjerde rundt portalområdet, bør dette trekkes så langt unna at det ikke blir visuell kontakt. Eventuell beplantning kan benyttes som visuell skjerm.

Ved tunnelportal i by- og tettbebyggelse kan nødvendig rekkverk bygges som en naturlig del av portalene eller andre bygningskonstruksjoner nær portalen.

#### 1101.8 Vegetasjon

Bevaring av eksisterende vegetasjon er spesielt viktig ved etablering av tunnelpåhugg. I tillegg skal behovet for ny vegetasjon vurderes.

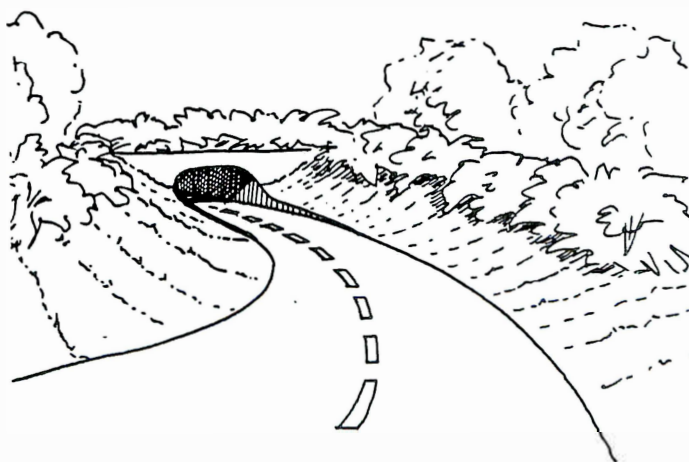
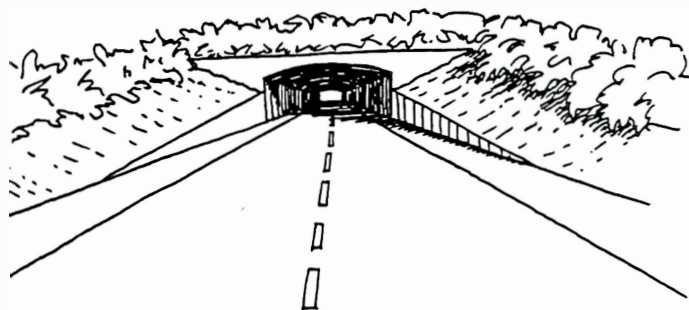
Vegetasjon benyttes landskapsarkitektonisk for å dele opp landskapsrommet og som bindeledd mot omgivelsene. Vegetasjon benyttes også som solskjerm for å redusere blanding.

Ny vegetasjon skal etableres slik at den inngår som en naturlig del av landskapet for øvrig. Generelle prinsipper for etablering av vegetasjon er gitt i Håndbok 0-17.

Ved tunnelåpninger vil det ofte være trekk og urolig luft. Det skal derfor velges arter tilpasset lokalklimaet.

#### 1101.9 Farge

Bruk av farge kan benyttes for å understreke portalens arkitektur.



Figur 11.11 Utforming av tunnelportal med beplantning. Eksempler



I naturlandskapet bør fargevalg harmonere med naturens egne farger. I by- og tettbebyggelse vil ofte nærliggene bebyggelse være bestemmende.

## 1102 Forurensning

### 1102.1 Saksbehandling

I vegtunneler vil ventilasjonsløsningen være av avgjørende betydning for mengden av utslipp og utslippssted. Det skal utføres en konsekvensanalyse hvor de forurensningsmessige virkningene knyttes til forutsetninger om hvordan tunnelen skal ventileres, herunder plassering av eventuelle ventilasjonstårn m.v.

Plassering og utforming av tunnelmunning og eventuelle ventilasjonstårn krever avklaring gjennom plan (reguleringspliktig tiltak). Eventuelle ventilasjonstårn må byggemeldes etter plan- og bygningsloven §84.

Forurensningsloven er foreløpig ikke satt i verk for forurensning fra transport, jf. lovens §5, første ledd. En konsekvens av dette er at tunneler, herunder ventilasjonsanlegg, ikke skal behandles etter forurensningslovens kapittel 3, som har egne bestemmelser om tillatelse til virksomhet som kan volde forurensning.

Fortolkningen av forholdet til forurensningsloven bygger imidlertid på at forurensningsmessige virkninger og tiltak mot disse er utredet og vurdert under planleggingen av tunnelen.

### 1102.2 Forurensninger

Nødvendig friskluftmengde for tunnelen beregnes på grunnlag av grenseverdier for CO, NO<sub>2</sub> og Sot (siktforurensning) gitt i kapittel 10, Ventilasjon. Ut fra beregnet forurensningskonsentrasjon i utslippet fra tunnelen kan for graden av forurensning på de nærmeste omgivelsene vurderes. Med grad av forurensning menes en sammenligning basert på forurensningsnivå og anbefalte grenseverdier for luftkvalitet utenfor tunnelen.

### 1102.3 Anbefalte grenseverdier for luftkvalitetet utenfor tunnel.

Anbefalte grenseverdier angir en øvre grense for forurensningsnivået som ikke bør overskrides dersom man vil opprettholde sikkerhet mot uheldig virkninger av forurensningen.

I 1982 ga Statens Forurensningsstilsyn ut rapporten "Luftforurensning - virkninger på helse og miljø" (SFT-rapport nr. 38). Grenseverdier for CO og NO<sub>2</sub> som er anbefalt i denne rapporten er gjengitt i fig. 11.12. Ved valg av anbefalte grenseverdier er det benyttet en sikkerhetsfaktor på mellom 2 og 5 for de ulike forurensningskomponenter. Dette betyr at man må opp i 2-5 ganger høyere eksponeringsnivåer enn de angitte grenseverdier før det er konstatert skadelige effekter.

| Middelverdier over tid |                   |           |                   |     |
|------------------------|-------------------|-----------|-------------------|-----|
| 1 time                 |                   |           | 8 timer           |     |
| Enheter                | mg/m <sup>3</sup> | ppm       | mg/m <sup>3</sup> | ppm |
| CO                     | 25                | 21        | 10                | 9   |
| NO <sub>2</sub>        | 0,20-0,35         | 0,10-0,17 | -                 | -   |

Figur 11.12 Anbefalte grenseverdier for uteluft.

#### 1102.4 Vurdering og beregning av luftforurensning fra vegtunneler

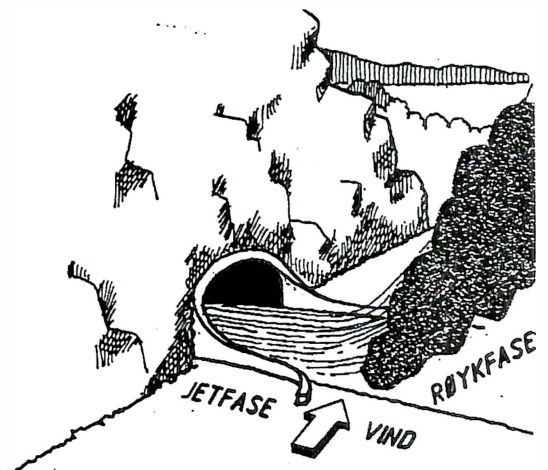
##### A. Utslipp gjennom tunnelåpning

En forenklet metode for spredningsberegninger for vegtunneler er gitt i det etterfølgende.

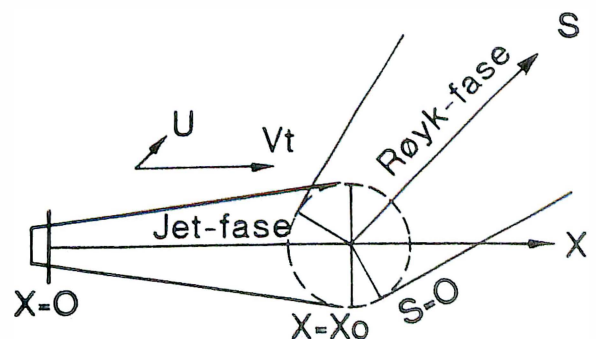
Metoden er empirisk, basert blant annet på målinger fra spredning av sporstoff utenfor munninger og atmosfæriske spredningsmodeller tilpasset spredning av utslipp ved bakken. Beregningsmetoden er presentert som nomogrammer. Se figur 11.15.

Metoden ble testet gjennom omfattende nye sporstoffundersøkelser i og utenfor Vålerengatunnelen i Oslo vinteren 1989/90. Det viste seg at den anbefalte metoden stemmer godt overens med de nye målingene. Denne metoden bør derfor benyttes i forbindelse med vurdering av spredning av luftforurensning.

For å beskrive forurensningene ut av tunnelåpningen deles denne i to faser jetfase og røykfase. I jetfasen er det i første rekke lufthastigheten ut av åpningen ( $V_t$ ) som er avgjørende, mens i røykfasen er det atmosfæreforholdene (bl.a. typisk vindhastighet,  $U$ ) som er viktigst. Dette er skjematisk fremstilt i figurene 11.13 og 11.14. Metoden er empirisk, slik at de valgte parametre er avhengig av representative målinger. Overgangen fra jetfase til røykfase er svært komplisert og er valgt etter skjønn.



Figur 11.13 Jetfase og røykfase

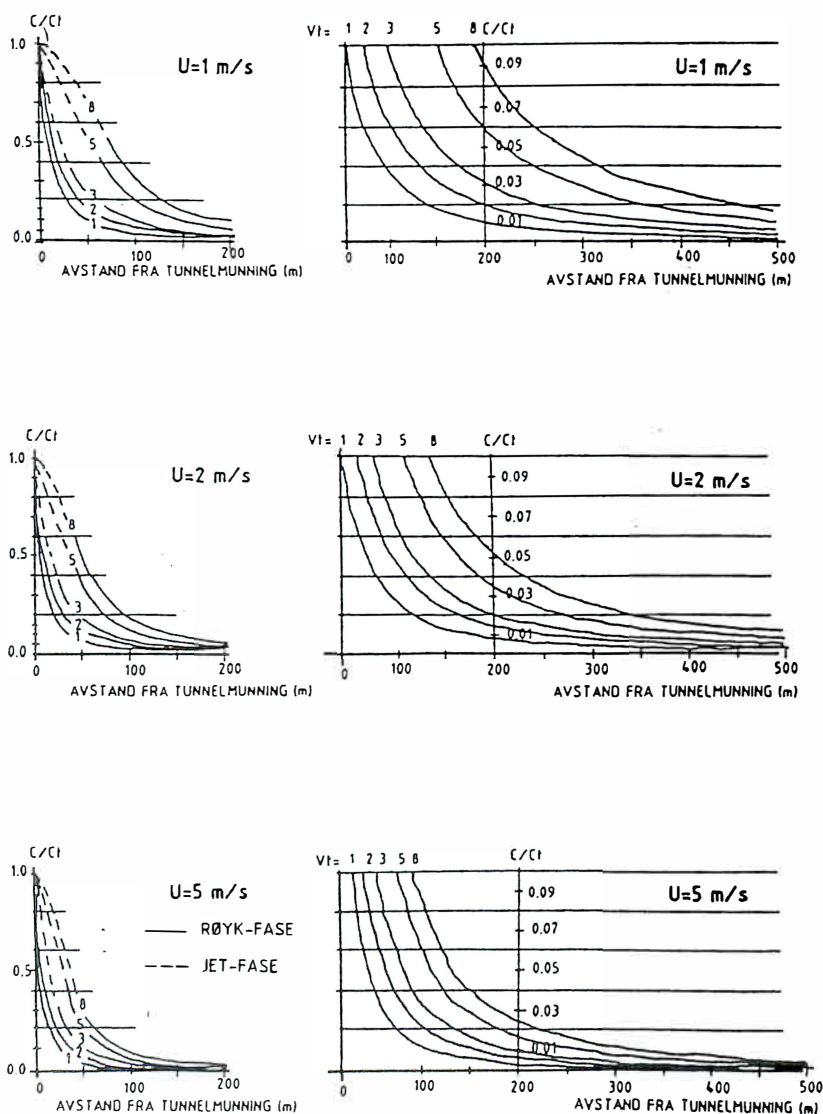


Figur 11.14 Jetfase og røykfase

For å kunne beregne forurensningskonsentrasjonen best mulig i bestemte punkter utenfor tunnelportalen må en skaffe seg data om atmosfæreforholdene (vind, stabilitet etc.) i området. Disse dataene kan en best skaffe seg ved å utføre målinger over lengre tid. Målingene må dekke vinterforhold fordi forurensningene da vanligvis er størst. I tillegg er det nødvendig å vurdere bakgrunnskonsentrasjonen i området.

Topografien sammen med utformingen av portalene ved tunnelmunningene kan også ha stor betydning for spredningsforløpet.

## NOMOGRAMMER TIL BRUK VED SPREDNINGSBEREGNINGER



Figur 11.15 Nomogrammer til bruk ved spredningsberegninger

**1. BEGRENSNINGER I NOMOGRAMMENE:**

- Tunneltverrsnitt  $A = 48 \text{ m}^2$
- Nomogrammene gjelder kun for karbonmonoksid (CO)
- Nomogrammene må ikke benyttes for  $U < 1 \text{ m/s}$  og  $V_t > 8 \text{ m/s}$

Forøvrig vises til NILU rapport OR 27/82 for fullstendig beskrivelse.

**2. FORKLARING PÅ BRUK AV NOMOGRAMMENE:**

Det er laget nomogrammer for tre ulike vindhastigheter ( $U = 1,2$  og  $5 \text{ m/s}$ )

De enkelte nomogrammene viser  $C/C_t$  som funksjon av avstanden fra tunnelåpningen for  $V_t = 1, 2, 3, 4, 5$  og  $8 \text{ m/s}$ .

Nomogrammene til venstre viser  $C/C_t$  i området  $0-1,0$ .

Nomogrammene til høyre viser  $C/C_t$  i området  $0-0,1$  (dvs. 10 x forstørret)

Dersom  $U$  og  $V_t$  ikke har eksakte verdier, skal den nærmeste kurve som overestimerer konsentrasjonen benyttes:

Det vil si at man benytter:

- kurvesettet for den største  $U$  mindre enn den virkelige
- kurvesettet for den minste  $V_t$  større enn den virkelige.

**EKSEMPEL**

Utslippshastighet (beregnet nødvendig lufthastighet i tunnel)

$$V_t = 3,0 \text{ m/s}$$

Utslippskonsentrasjon tunnel

$$C_t = 200 \text{ ppm}$$

Grenseverdi uteluft (1-times norm)

$$C = 21 \text{ ppm}$$

Typisk vindhastighet (utenfor tunnel)

$$U = 1,0 \text{ m/s}$$

Ønsker å finne i hvor stor avstand fra tunnelåpningen en må regne med å få overskridelse av grenseverdien (21 ppm).

Forholdet

$$\frac{C}{C_t} = \frac{21}{200} = 0,1$$

Avstand i meter finnes av figur 11.15.

#### B. Utslipp gjennom ventilasjonstårn

Dersom det er vanskelig å oppnå de anbefalte grenseverdiene ved utlufting gjennom tunnelåpning, er utlufting gjennom ventilasjonstårn et alternativ.

Spredning av utslippet fra ventilasjonstårn beregnes ved hjelp av de spredningsmodeller som benyttes for piper/skorsteiner.

- Tårnarealet bestemmes av den luftmengde tårnet skal betjene.
- Tårnhøyden bestemmes av hvordan de beregnede bakkekonstruksjoner og konsentrasjonene ved eventuelle nærliggende bygninger, ligger i forhold til grenseverdier for luftkvalitet.

Ventilasjonsluftens jetstrøm rettes vertikalt oppover. Dette innebærer at forurensningene blir tynnet ut før de når bakken.

#### 1102.5 Rensing av tunnelluft

Det finnes i dag utstyr som gjør det mulig å rense tunnelluft for partikulære forurensninger, støv og sot.

Valg av utstyr og løsninger må tilpasses i hvert enkelt tilfelle.

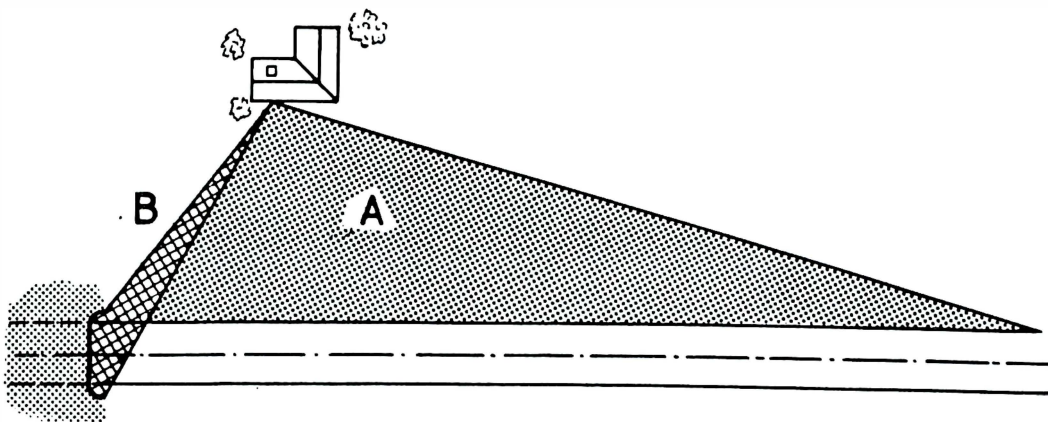
For tunneler som ventileres via ventilasjonstårn, kan det være aktuelt å plassere rensutstyret i tilknytning til tårnet. Denne løsningen vil redusere utslippet til det ytre miljø.

Rensutstyret kan også plasseres med jevne mellomrom inne i selve tunnelen. Denne løsning vil både bedre siktforholdene i tunnelen og redusere utslippet til det ytre miljø.

### 1103 Støyforhold nær tunnelåpninger

I nærheten av tunnelåpninger bestemmes støyforholdene av to hovedbidrag som vist i figur 11.16. Det første, og ofte dominerende, bidraget skapes av trafikken på den delen av vegen som ligger utenfor tunnelen (A). Det andre bidraget (B), som kommer av lydavstråling fra tunnelåpningen, er bare viktig når avstanden fra åpningen er mindre enn ca. 60 meter.

B-bidraget skapes av kjøretøy i og rett innenfor tunnelåpningen.



Figur 11.16 Støy ved tunnelåpninger

Så lenge et kjøretøy er inne i tunnelen blir støynivået forsterket ved at lydbølgene reflekteres fra tunnelvegger, tak og vegbane. Lyden kan stort sett bare "unnslippe" ut gjennom åpningen og innover i tunnelen. Når kjøretøyet kommer ut av tunnelen fordeles lydenergien i alle retninger, og lydnivået nær kjøretøyet blir vesentlig redusert.

Er vi primært interesserte i det gjennomsnittlige støynivået (døgnkivalent støynivå, dBA), fordeles lydbidrag A omtrent likt i alle retninger vinkelrett på kjøreretningen, mens B kanaliseres i tunnelretningen. Bidraget B kommer fra et relativt begrenset området, mens bidrag A gjerne blir skapt av en lengre vegstrekning. Men den forsterkede lydavstrålingen fra et kjøretøy rett innenfor tunnelåpningen betyr at tunnelbidraget likevel vil være viktig

Forholdet mellom de to delbidragene modifiseres av terrengutforming, avskjerming, markforhold osv. Utformingen av tunnelverrsnittet har liten betydning.

*Derimot er åpningsareal og utforming av tunnelåpning utslagsgivende, også i bestrebelsene på å unngå den brå endringen i støynivå ved kjøretøypassering som er så utslagsgivende for den subjektive vurderingen av tunnelbidraget.*

*Tunnelbidraget kan reduseres vesentlig ved bruk av lydabsorberende materialer på vegger og tak rett innenfor åpningen. Støy fra vegbanen utenfor kan reduseres bl.a. ved avskjerming. Det vil ofte være behov for skjermingstiltak der det er nødvendig å ta hensyn til refleksjonsbidraget fra motsatt veggside.*

*En beregningsmetode for støy fra tunnelåpninger og anbefaling om tiltak er under utvikling av Vegdirektoratet.*

## Kapittel 12 Spesielle forhold ved undersjøiske tunneler

### 1201 Forundersøkelser

Forundersøkelser i forbindelse med tunnelprosjekter er omtalt i kapittel 2, Forundersøkelser. Ved undersjøiske tunneler kreves et utvidet omfang av forundersøkelser. Avgjørende faktorer for vurdering av en undersjøisk tunnel vil være vanddybde, løsmasseavsetninger over fjell og fjellkvalitet.

Den geologiske kartleggingen skal omfatte en studie av forholdene på land på begge sider av fjorden.

På hovedplannivå vil det være nødvendig med akustisk måling for å kartlegge sjøbunn og fjelloverdekning. Normalt vil en først legge et grovt nett som dekker det aktuelle området. Etter en vurdering av mulige traseer legges så et finere nett som dekker den aktuelle korridor. På dette grunnlag utføres refraksjonsseismiske målinger av vanskelige partier.

I detaljplanfasen vil det som regel være nødvendig å utføre supplerende refraksjonsseismiske målinger. Det tas profiler langs den aktuelle traseen. I tillegg kan det være aktuelt med noen tversgående profiler for å bestemme retningen på oppdagede svakhetssoner og for kontroll av fjellflatens beliggenhet.

I detaljplanfasen bør det normalt også utføres enkelte kjerneboringer for å kartlegge oppsprekingsgrad, lekkasjeforhold og karakter på eventuelle svakhetssoner.

Kjerneborehull i tunneltraséen kan også benyttes til å utføre supplerende geofysiske målinger, f.eks seismisk tomografi, resistivitetmålinger etc.

I spesielle tilfeller der det er nødvendig å kunne bestemme fjelloverdekningen med stor sikkerhet, kan det utføres fjellkontrollboringer fra fartøy.



## 1202 Overdekning

Ved valg av minste fjelloverdekning må marginene være tilstrekkelige til at utilsiktet rasutvikling ikke fører til kritisk situasjon for prosjektet. Rasutvikling opp mot sjøbunnen kan forekomme så raskt at stoffen må forlates hvis fjelloverdekningen ikke er tilstrekkelig.

Inntil detaljerte forundersøkelser foreligger, planlegges ut fra 50 m som minste fjelloverdekning til laveste registrerte fjellflate med radius 50 m fra bestemmende punkt.

Når detaljerte undersøkelser foreligger, kan det bare i tilfeller der det er særskilt godt dokumentert at forholdene er gunstige, aksepteres fjelloverdekning mindre enn 40 m.

## 1203 Sonderboring og injeksjon

Ved undersjøiske tunneler vil det være nødvendig med systematisk sonderboring foran stoff.

Dette er nødvendig for å avdekke eventuelle vannførende soner tilstrekkelig langt foran stoff til at disse kan tettes med forinjeksjon. Sonderboring vil også gi informasjon om svakhetssoner foran stoff.

Der det er nødvendig benyttes også sonderboring for å kontrollere overdekningen.

Sonderboringene utføres som slagboring med tunnelriggen.

Sonderborhullene kan ev. også benyttes til enkle geofysiske målinger for bedre karakterisering av fjell- og lekkasjeforhold foran skuff.

Sonderboring utført som kjerneboring skal benyttes for å kartlegge antatt vanskelige soner foran stoff.

Omfanget av sonderboring foran stoff vil variere ut fra forventede fjellforhold, overdekning og de erfaringer som gjøres underveis.

Normalt velges det et minimumsnivå som gjennomføres på hele den undersjøiske strekningen, f.eks. 2 hull à 30 m som bores med minimum 8 moverlapping. I områder der det er ventet svakhetssoner, risiko for lekkasjer eller der det er nødvendig å kontrollere overdekningen, bores flere sonderhull.

Påvises det ved sonderboringen eller ved salveboringen vannlekkasjer foran stoff, må det tas stilling til behovet for injeksjon. Det settes gjerne et krav til

største tillatte innlekkasje målt fra borhull, f.eks.5 l/min.

Ved større vannlekkasje enn fastsatt grense skal forinjeksjon og nødvendige kontrollboringer utføres til en har sikkerhet for at tunnelen ikke drives inn i områder som kan gi ukontrollerte vannlekkasjer.

#### **1204 Sikringsarbeider**

I undersjøiske tunneler hvor miljøet er særlig aggressivt stilles det spesielle krav til de materialer som benyttes.

Betongkonstruksjoner inklusive sprøytebetongarbeider skal utføres i miljøklasse MA, meget aggressivt i henhold til NS 3420, 2. utgave.

For sprøytebetong gjelder i tillegg at betongkvalitet i saltvannssonen skal tilsvare minst C45 målt på utborede kjerner av betong sprøytet på tunnelvegg. Den valgte betongsammensetning skal gi en midlere bøyestrekkefasthet på minst 5.0 MPa målt i h.h.t. NS427A.

For bolter gjelder at det kan benyttes vanlig boltestål. Det settes imidlertid spesielle krav til overflatebehandling av boltene i saltvannssonen. Boltene skal være behandlet med en kombinasjon av varmforsinking, tykkelse minimum 80 my og pulverlakkering med epoxy, eller overflatebehandling som gir tilsvarende korrosjonsbeskyttelse.

For bolter behandlet med epoxy reduseres heften med ca. 15%.

#### **1205 Driving av undersjøiske tunneler**

For undersjøiske tunneler kreves det beredskap på anlegget for å kunne håndtere vanninnbrudd og for å raskt kunne foreta injeksjon.

Pumpeanlegget skal ha tilstrekkelig kapasitet til å kunne ta en større lekkasje.

Det kan også være aktuelt å ha ekstra pumper og pumpeledninger i beredskap på anlegget. Videre vil det normalt være nødvendig med et nødstrømsanlegg.

Komplett utstyr og materialer for å kunne utføre injeksjon foran stuff skal være tilført anlegget når tunneldriften starter.

Ved driving av den undersjøiske delen av tunnelen kreves støpeskjold med avstegningsmulighet for gjenstøping av stuffen. Skjoldet skal alltid være i beredskap nær stuff.

## 1206 Drenasjesystem

### 1206.1 Drensledninger

Drenssystemet i undersjøiske tunneler skal overdimensjoneres.

Hvis fallet er under 1 o/o bør kapasiteten dobles i forhold til beregnet kapasitet etter vanlige dimensjoneringsregler.

### 1206.2 Pumpestasjon, pumpeledninger

Det stilles høye krav til driftsikkerhet og til materialkvaliteter.

Pumpeanlegget vil normalt bestå av pumpearrangement, pumpemagasin, og sikkerhetsmagasin. Størrelsen på pumpemagasinet bestemmes av de krav som settes til drifts- og stopptid for de aktuelle pumpene.

Sikkerhetsmagasinet skal ikke ha mindre volum enn det som tilsvarer 24 timers innlekkasje.

*Sikkerhetsmagasinet skal ta imot lekkasjene ved strømavbrudd eller andre forhold som fører til stans i pumpestasjon. Størrelsen på sikkerhetsmagasinet vil avhenge av tunnelens beliggenhet og det generelle sikkerhets- og beredskapsnivå som er valgt, og forhold knyttet til drift og vedlikehold. Eksempelvis kan et stort sikkerhetsmagasin gi besparelser i forbruket av elektrisk kraft ved at pumpene kun kjøres i perioder hvor øvrig kraftbehov er lavt.*

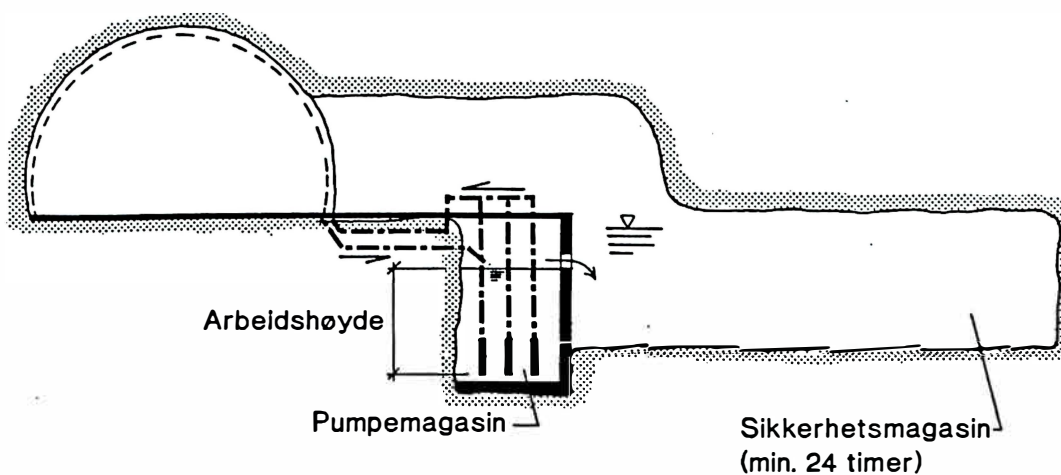
Når det gjelder selve pumpeinstallasjonen, skal det tas hensyn til at lekkasjemengdene kan forandre seg over tid. Det kan som eksempel være aktuelt å forberede for en eventuell økning i behovet for pumper.

For å redusere maksimalt effektbehov for tunnelen, bør det tilstrebes rutiner som gjør at pumpene stanser i de perioder hvor ventilasjonsbehovet er størst.

*For pumper og pumpeledninger stilles store krav til betandighet. Kombinasjonen av saltholdig vann og forurensninger fra kjøretøy gir et særlig korrosivt miljø.*

*Som pumpeledning benyttes fortrinnsvis plastledninger i PE-50 kvalitet.*

Disse kan leveres i trykk-klasse opp til PN 25 og vil gi den rimeligste løsning. Under spesielle forhold eller ved store trykk vil rustfrie/syrefaste stålrør eller epoxy belagte stålrør være et alternativ.



**Figur 12.1** Eksempel på utforming av pumpestasjon

#### 1207 Tekniske anlegg

Kabelbruer og lignende utstyr må ha en korrosjonsbeskyttelse minst tilsvarende varmforsinket tykkelse 80 my og pulverlakkert med epoxy.

## Kapittel 13 Andre tunnelkonstruksjoner

### 1301 Betongtunneler i løsmasser

#### 1301.1 Tunneltverrsnitt

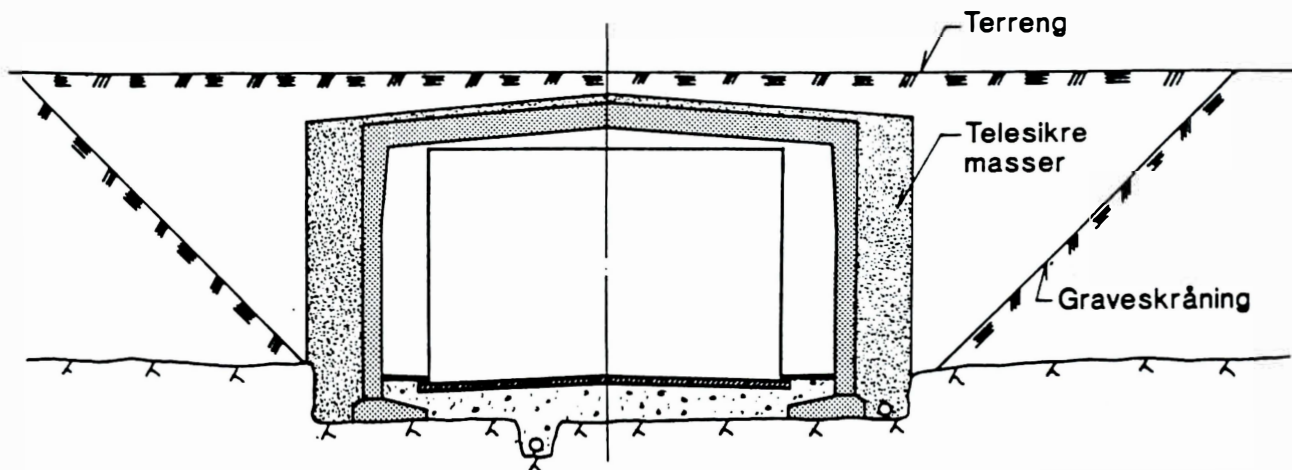
Normalprofilet er definert i kapittel 3, Tunnelutforming. Ved bygging av betongtunneler vil økonomisk tverrsnitt variere mellom det sirkulære profil og et firkantprofil.

Valg av tverrsnitt skal gjøres etter en samlet teknisk/økonomisk vurdering. Følgende forhold vil normalt bestemme tverrsnittet:

- Sirkulært profil er mest aktuelt når traseen ligger dypt og buens evne til å bære store laster kan utnyttes
- Firkantprofilet er mest aktuelt når traseen kan ligge grunt og/eller traseen er bestemt av overliggende anlegg
- Firkantprofilet er oftere aktuelt for tunneler med vanntrykk enn for drenerte på grunn av mindre volum og derav mindre oppdrift
- Firkantprofilet benyttes hvis permanente spuntkonstruksjoner inngår som en del av konstruksjonen. Bruk av permanent spunt er et alternativ når spunt uansett må benyttes for etablering av byggegrop
- Plassbehovet for skilt og tekniske installasjoner vil kunne påvirke tverrsnittformen

#### 1301.2 Tekniske løsninger. Eksempler

*Figur 13.1 viser en enkel to-feltstunnel. Tunnelen består av en betongtunnel med konvensjonell drenert vegoverbygning bygd i åpen skjæring. Godt drenerende telesikre masser fylles tilbake mot tunnelveggene.*



**Figur 13.1**    Eksempel på 2-feltstunnel med drenert utførelse

*I byområder vil det ofte være nødvendig å begrense bredden på byggegropa, og det kan være et krav at grunnvannstandsni vået opprettholdes og at deformasjoner i støttekonstruksjoner begrenses.*

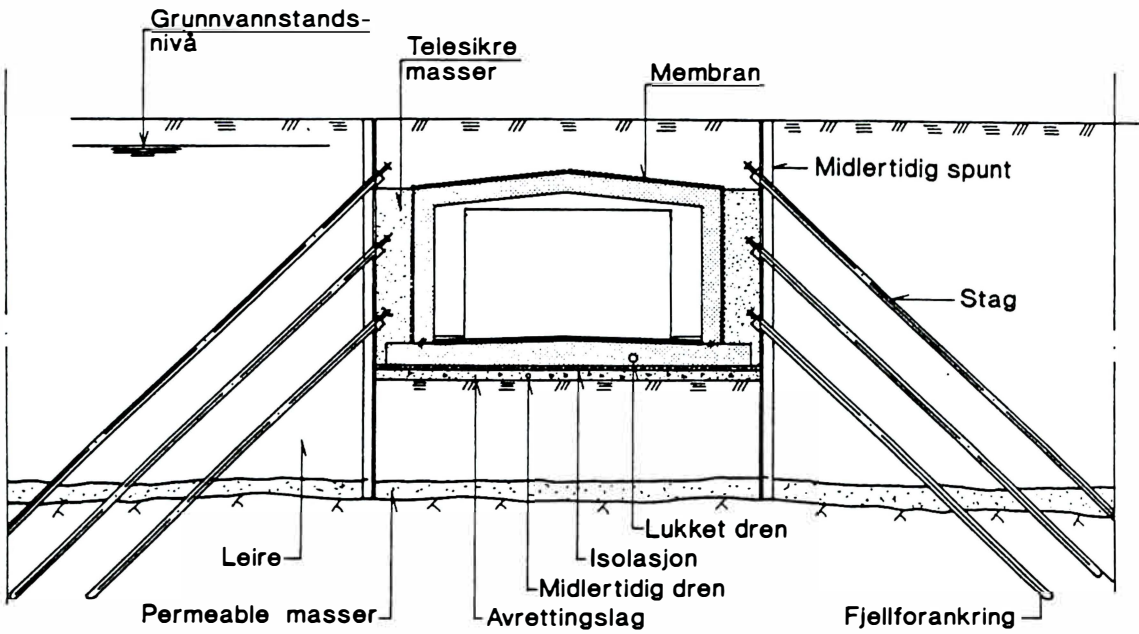
*I slike tilfeller kan velges en løsning som vist i figur 13.2.*

*I dette eksemplet består grunnen av middels fast leire over et vannførende lag på fjell. Ved byggegropa ligger setningsømfintlige bygninger. Løsmasseoverdekningen over fjell etter utgraving er mindre enn traubunnsdybden regnet fra grunnvannstandsni vået.*

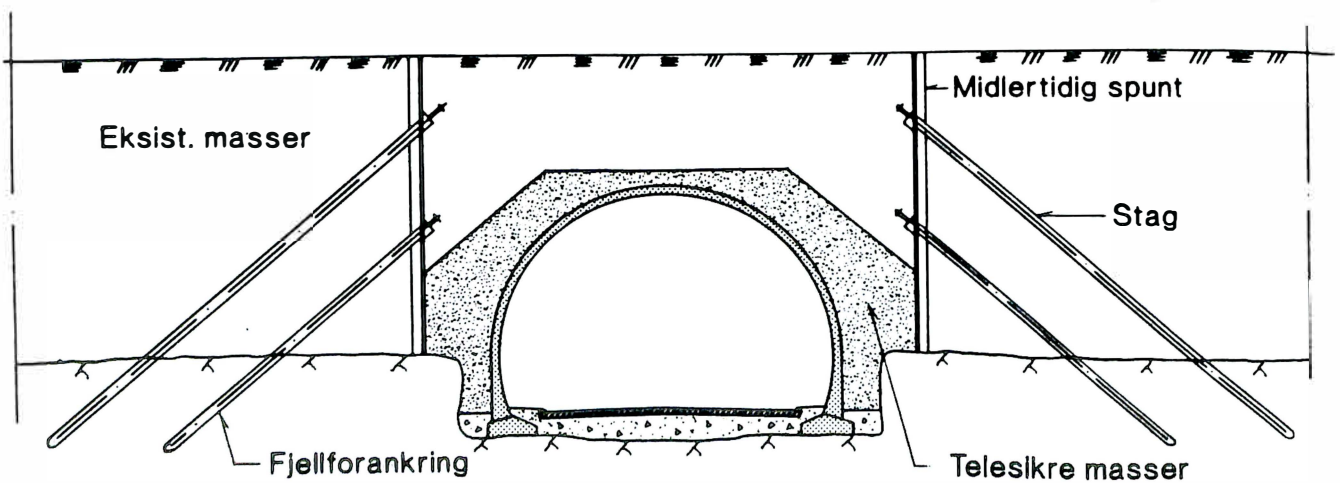
*I figur 13.3 er vist en alternativ løsning med tunnel utført som betongbue på stripefundamenter hvor spunt er benyttet for å etablere byggegrop for tunnelen.*

*I eksemplet er det forutsatt drenert løsning.*

*I eksempel 13.2 og 13.3 etableres byggegropa ved hjelp av stålspunt til fjell. Spunten avstives i takt med utgravingene ved stag forankret i fjell. Tunnelen utføres som plass-støpt slakkarmert betongtunnel. Begge løsninger kan kreve tiltak for å redusere deforma- sjonene i støttekonstruksjonen. For løsningen som er vist på figur 13.2, kan det i tillegg kreves spesielle tiltak for å opprettholde grunnvann- standen.*



Figur 13.2 Eksempel på 2-feltstunnel under grunnvannstands-nivå



Figur 13.3 Eksempel på drenert tunnel, utført som bue på stripefundamenter

**1302 Spesielle forhold ved bygging av  
betongtunneler i løsmasser****1302.1 Krav til tett byggegrop i byggeperioden.**

En byggegrop etablert ved hjelp av midlertidig stålsjunt vil uten spesielle tiltak medføre senking av grunnvannsstanden i byggeperioden.

Tekniske løsninger og valg av utførelsesmetoder skal sikre at skadelige lekkasjer ikke oppstår.

Mulige lekkasjepunkter er:

- spuntlåser
- stag
- staggjennomføringer
- spuntfot
- traubunn

Spuntlåser tettes ved sveising eller påsmøring av fett eller bitumen. Videre må det påses at spuntens lås er låst.

Ved stagsetting skal det hindres at det oppstår vannlekkasje via foringsrørene for stagene. Spesielt hvis det er permeable lag over fjell kan det oppstå lekkasjer gjennom foringsrør for stag. Lekkasjene hindres ved at foringsrørene proppes. Videre tettes staggjennomføringene ved påsveising av plater.

Lekkasjer fra underkant foringsrør tettes eventuelt ved spesiell injeksjon med sement eller kjemiske midler.

Hvis spuntfot avdekkes tettes bør overgangen mellom fjell og spuntfot med en betongdrager langs spuntfoten.

*Traubunn med tilstrekkelig tykt leirlag over fjell vil normalt ikke gi særlige lekkasje problemer. Ved tynnere leirlag kan det være fare for hydraulisk splitting med etterfølgende lekkasjer. En sikring mot dette kan være å etablere en tetteskjerm ved hjelp av injeksjon rundt byggegropa. Skjermen må i tillegg til fjellet også tette et eventuelt permeabelt lag over fjell.*



1302.2 Tiltak for å redusere setninger på grunn av deformasjoner i støttekonstruksjoner.

Ved valg av tekniske løsninger skal det tas hensyn til setningsfare på nabobebyggelse og konstruksjoner som følge av deformasjon i støttekonstruksjoner.

*Deformasjoner i støttekonstruksjonene gir terrengsetninger. Terrengsetninger like inntil byggegropa på 1-2% av utgravningsdybden er ikke uvanlig. Aktuelle setningsreduserende tiltak kan være:*

- *velge støttevegg med tilstrekkelig stivhet*
- *sikre forankringspunktene mot vesentlige forskyvninger*
- *forspenne stag/stivere*
- *forsterke bløt leire ved hjelp av kalkpeler*
- *seksjonsvis utførelse*

1302.3 Tetting av betongkonstruksjonen

For løsmassetunneler hvor det stilles krav til tetthet skal følgende være ivaretatt:

- Det skal benyttes betong med lav permeabilitet
- Strekkspenninger og rissvidder skal begrenses
- Det skal velges geometri og dimensjoner som muliggjør god utstøping
- Det stilles krav til minimumsarmering
- Det stilles spesielle krav til betongens materialsammensetning, støpemetoder og temperaturgradienter under herdeprosessen

Faren for lekkasjer er i hovedtrekk konsentrert til støpeskjøter og gjennomgående riss.

## 1302.4 Fuger

Generelt har man to typer fuger i forbindelse med løsmassetunneler:

- støpeskjøter
- bevegselsfuger eller dilatasjonsfuger

Under prosjekteringen skal det tilstrebtes å begrense antall fuger ved å optimalisere konstruksjonsløsningene og støpeavsnittene. På denne måten begrenses antall potensielle lekkasjepunkter. I figur 13.4 er vist en typisk støpeskjøt som benyttes i vannrette konstruksjoner.

For å få en tett støpeskjøt bør skjøten injiseres med et kjemisk injeksjonsmiddel etter at betongen har herdnet. Den ekspanderende fugelisten som er vist på figuren skal hindre injeksjonsmassen fra slangen i å trenge ut bak konstruksjonen. For støpeskjøter mellom bunnplateseksjoner vil normalt faren for at fugemasse trenger ut være mindre, slik at den ekspanderende listen kan sløyfes. Normalt skal innstøpt seksjonslengde av injeksjonsslange ikke overstige ca. 6 m. Slangene legges med overlapping som vist på figur 13.4.

Før slangene monteres bør skjøtene rengjøres for sementslam, oljerester etc. Dette kan gjøres med sandblåsing eller høytrykksspyling.

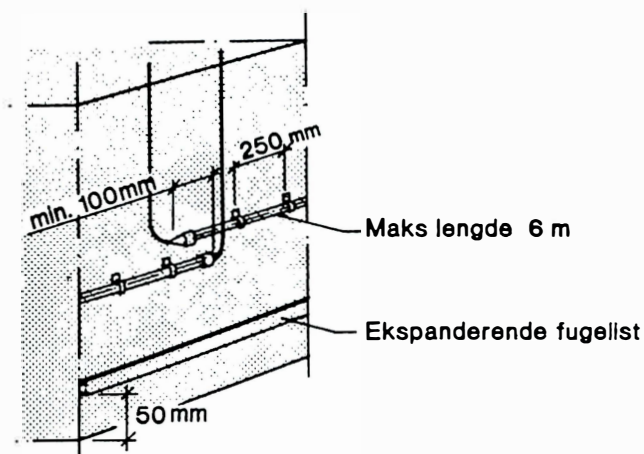
Bevegselsfugene bør tettes ved hjelp av en egnet vann-sperre. Typisk fuge med vannsperre er vist i figur 13.5.

For å sikre tette bevegselsfuger må det legges særlig vekt på utførelsen. Fugebåndet må festes godt i forskalingen slik at det ikke forskyves under utstøping.

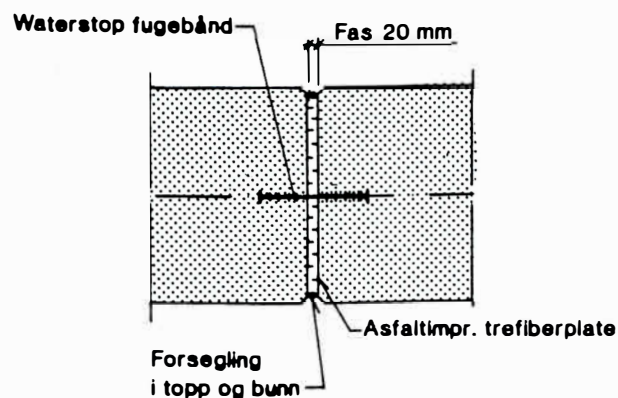
Sidene på fugebåndene bindes opp til armeringen for at en skal kunne sikre plasseringen. Under utstøpingen må en påse at betongen komprimeres godt inntil fugen slik at all luft rundt fugebåndet evakueres.

## 1302.5 Membraner

Ved løsmassetunneler skal normalt membran benyttes som sikring mot fuktinntregning eller vannlekkasjer. Der det er mulig å velge løsninger som gir liten fare for riss kan membran sløyfes på deler eller hele profilet.



Figur 13.4    Typisk støpeskjøt



Figur 13.5    Typisk fuge med vannsperre

Membran beskyttes normalt med sand. Ved overdekning under 0,5 m skal membran beskyttes av påstøp.

*Følgende typer membran er mest vanlig:*

– *Membran av naturlig natriumbentonitt. Membranen er særlig aktuell ved tunneler under vanntrykk. Løsningen er rimelig og gir brukbar sikkerhet mot lekkasje som følge av skade*

– *Løstliggende armert plastfolie i flere lag med ett lag fiberduk på hver side*

*Løsningen er rimelig, men eventuelle skader er vanskelig å lokalisere, og løsningen bør kun nyttes på drenerte tunneler*

– *Løstliggende tykk PVC-folie med et lag av fiberduk på hver side*

*En ulempe med denne løsningen er vanskeligheten med å lokalisere en eventuell skade. Noe av ulempen kan elimineres ved at denne membranen kan seksjoneres ved hjelp av innstøpte utenpåliggende vannsperrer i egnet mønster. Skaden kan dermed lokaliseres til et konkret område på konstruksjonen.*

### 1303 Tunneler av korrugerte stålrør

*En løsning med hvelvbue av korrugerte stålprofiler er vist på figur 13.6.*

*Løsningen er egnet i spesielle tilfeller der terrengformen ligger til rette for det og/eller der det kreves kort byggetid.*

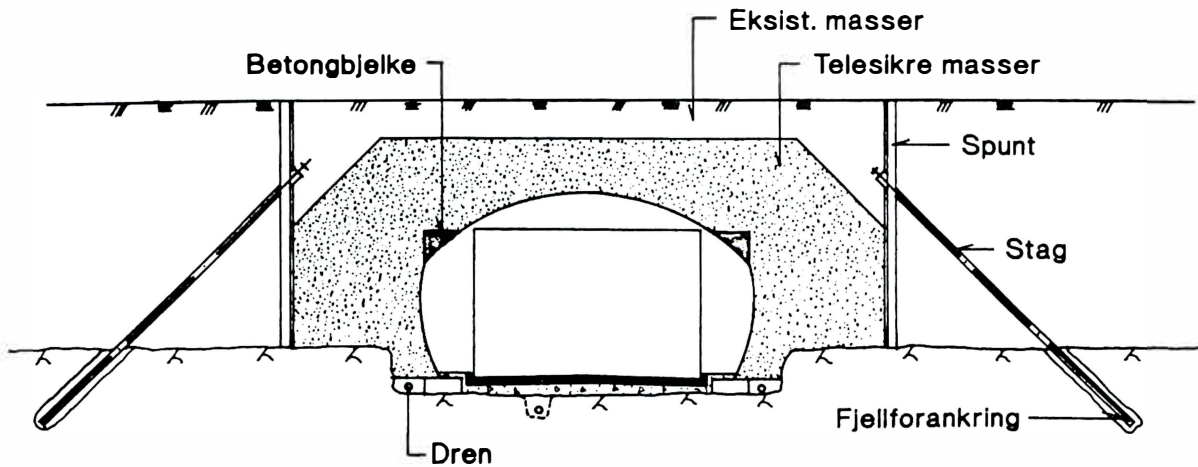
*Ved faste masser kan sonen med telesikre masser reduseres, dvs. at avstanden fra spuntveggen til spissen på hvelvbuen kan være fra 2–4 m avhengig av grunnforholdene.*

*Behov for spunt avhenger av dybde til fjell, grunnforhold og tilgjengelig plass.*

*De fleksible stålrørene er helt avhengige av en skikkelig omfylling med friksjonsmasser.*

*Oppfølging og kvalitetskontroll i anleggsfasen er derfor avgjørende for et vellykket resultat.*

*Stålrør dimensjoneres i henhold til Håndbok -016 Geoteknikk i vegbygging.*



Figur 13.6    Tunnel av stålrør (hvelvbue)

### 1304 Senketunneler

#### 1304.1 Generelt

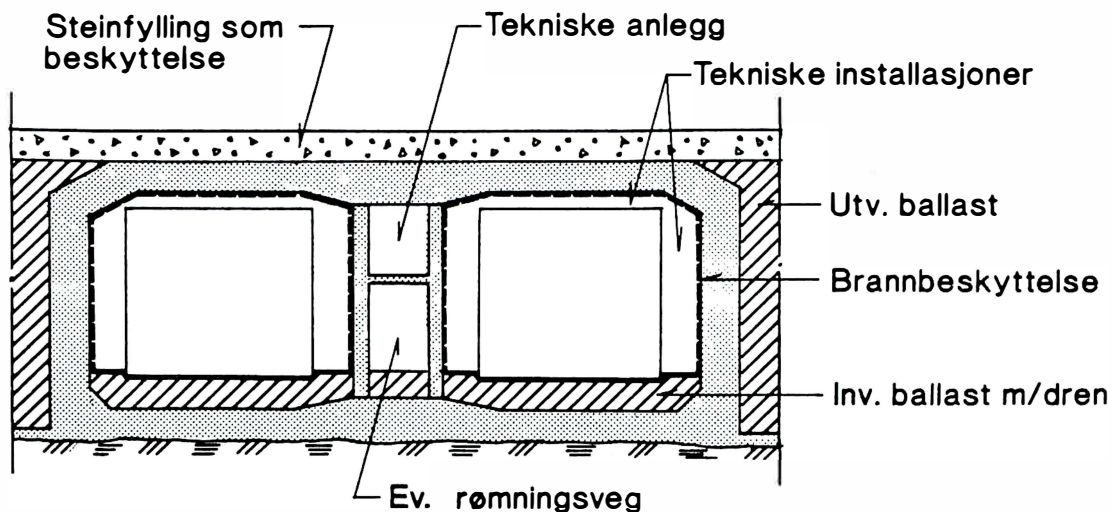
Senketunneler er en type undersjøisk tunnelkonstruksjon som prefabrikeres på land i segmenter. Disse senkes ned i sjøen og kobles sammen til en kontinuerlig tunnel.

Følgende stadier inngår:

- Prefabrikasjon av segmenter i tørrdøkk på land
- Fløting av segmenter til midlertidig lagerplass for testing av vanntetthet
- Ballasting, utrustning og klargjøring for fløting til krysningsstedet
- Eventuell sammenkobling av flere kortere rette segmenter til et lengre segment i flytende stilling
- Nedsenking på midlertidige eller permanente fundamenter
- Sammenkobling og midlertidig vanntetting i skjøtene
- Permanent vanntetting av skjøtene, ballasting til ferdig tilstand, eventuell fullføring av fundamentering
- Klargjøring og utrustning av ferdig tunnel

Senketunnelen er en konstruksjonstype der en overordnet vurdering av sikkerhet og risiko ved eventuelle trafikkulykker har stor betydning.

Ut fra overordnet sikkerhetsfilosofi bygges nye tunneler ofte med to løp adskilt med en dobbelt skillevegg som vist på figur 13.8. Dette gir sikker rømningsveg samt sikker fremføring av tekniske anlegg i den doble skilleveggen.



Figur 13.8 Senketunnel. Typisk tverrsnitt

#### 1304.2 Tekniske forundersøkelser

Følgende bør klarlegges på hovedplannivå:

- Fundamenteringsforhold. For kostnadsberegningene er det vesentlig å få klarlagt om tunnelen kan fundamenteres direkte eller om det må benyttes pele- eller pilarfundamentering
- Variasjonsgrenser for vannets tyngdetetthet og vannstand
- Strøm, og evt. bølger og is i montasjefasen
- Skipstrafikk
- Mulige byggeplasser for tunnelsegmenter

- Plassbehov for maritime operasjoner
- Eksisterende kabler og ledninger på krysningsstedet

### 1304.3 Krav til konstruksjonen

Senketunnelen skal dimensjoneres i henhold til Vegvesenets lastforskrifter og gjeldende norske standarder. Følgende spesielle forhold skal være ivarettatt:

- Tunnelen skal være vanntett
- Sikkerhet mot oppdrift i ferdig tilstand:  
  
Krav til stabiliserende overvekt ved min. tyngdetetthet for betongen, maksimal vannstand (for delvis nedsenkede deler) og maksimal tyngdetetthet for vann.  
  
Andel som skal tas av innvendig ballast.  
  
Andel som kan tas av utvendig ballast på utkragede plater utenfor tunnelen
- Min. fribord i flytefasen  
  
Krav til fribord i stille vann og krav til fribord ved bølger og/eller strøm.
- Min. eksplosjonstrykk innvendig
- Ulykkesgrensetilstanden skal dimensjoneres for full vanninntregning i tunnelen. (Dvs. at tunnelen skal være reparerbart.)
- Beskyttelse mot skipsanker, ev. synkende skip

### 1305 Neddykkede rørbruer

#### 1305.1 Generelt

*Neddykkede rørbruer er konstruksjoner som har mange felles trekk med senketunneler. I ferdigtilstanden er den største forskjellen at rørbruen ikke hviler på et fundament, men er omgitt av vann på alle kanter. Forankringen av rørbru er enten opp til overflaten med pongtonger, eller ned på bunnen med strekkestag.*

### 1305.2 Grunnleggende forutsetninger

*Ved rørbruer stilles store krav til forundersøkelser, spesielt gjelder det alle former for laster som vil ha innflytelse på konstruksjonen.*

*Slike laster kan være:*

- *vind og bølger*
- *strøm i forskjellige dybder*
- *variasjon i vannets tetthet og saltegehalt*
- *marin begroing*
- *kollisjon med skip og ubåt, ankerstøt og slep*
- *oppheking og belastning fra tråleredskap*
- *jordskjelv*
- *isforhold*
- *andre stedsspesifikke forhold*

*I tillegg til dette kommer de krav som stilles til andre tunnelkonstruksjoner.*

*Neddykket rørbru som konsept stiller også spesielle krav til beregningsverktøy og beregningsmetoder. Det er helt nødvendig å utføre omfattende modellforsøk med modeller som best mulig representerer det aktuelle konsept.*

*Det foreligger komplett gjennomgang av et konsept for neddykket rørbru over Høgsfjorden i Rogaland.*

*Denne gjennomgangen har blant annet vist et stort behov for instrumentering både i byggefasen og i driftsfasen. I tillegg er det nødvendig med instrumentering for verifikasjon av beregningsgrunnlaget.*

## Kapittel 14 Drift og vedlikehold

### 1401 Generelt

Vedlikeholdet skal sikre at standard og sikkerhet opprettholdes.

Sviktende vedlikehold i tunneler vil kunne gi alvorlige konsekvenser.

Basert på opplysninger om tunnelstandard og teknisk utrustning skal det lages rutiner for å sikre et riktig vedlikeholds nivå, både teknisk og økonomisk.

Tunnelvedlikeholdet skal omfatte selve tunnelanlegget med inngangspartier.

Beredskapsplaner skal foreligge ved åpningen av tunnelen. Se kapittel 4, Sikkerhet.

### 1402 Overtakelse

Ved overtakelsen av et tunnelanlegg skal det foreligge dokumentasjon på tunnelens oppbygging og kvalitet, en teknisk sluttrapport. Som en del av denne inngår tegninger av tunnelen og tegninger og spesifikasjoner av det tekniske utstyret. Det skal foreligge opplysninger om leverandørens garanti- forpliktelser og andre opplysninger av betydning for den som overtar tunnelen.

For å lette arbeidet med oppsett av senere arbeidsordrer skal leverandørene av teknisk utstyr levere en oversikt over de rutiner som anbefales. Rutinene bør omfatte følgende:

- Generelle opplysninger av betydningen for vedlikehold og drift
- Kontrollrutiner med angivelse av hva som skal kontrolleres og hvor ofte kontroll anbefales
- Servicerutiner med beskrivelse og intervall
- Spesielle krav til kompetanse og ev. spesialverktøy

For å lette det senere arbeidet bør opplysningene i tillegg leveres på et datalesbart medium (disketter e.l.). Det bør også vurderes om tegninger også skal leveres i form av datafiler.



### 1403 Systematisk vedlikehold

#### 1403.1 Generelt

Systematisk vedlikehold er den delen av det trafikkrettede og strukturelle vedlikeholdet som utføres periodisk i den hensikt å få en avbruddsfri drift av tunnelen.

Vedlikeholdsoppgavene kan deles i to grupper. Forebyggende periodisk vedlikehold og korrektivt vedlikehold som følge av oppgaver som fremkommer under inspeksjoner eller skader.

Det skal utarbeides en plan for systematisk vedlikehold av tunnelen. Hvordan dette skal utføres vil avhenge av tunnelklasse og utstyret som finnes i tunnelen.

Systemet kan enten være manuelt eller databasert.

I et systematisk vedlikehold skal det inngå regelmessig inspeksjon/kontroll og etterfølgende nødvendig vedlikehold og reparasjon. Utførte oppgaver skal kvitteres og registreres.

Hyppigheten og omfanget avgjøres på grunnlag av opplysninger gitt av leverandør/produzent som nevnt under pkt 1402. Etterfølgende punkter bør inngå i det systematiske vedlikeholdet.

#### 1403.2 Inspeksjon og kontroll

Inspeksjon og kontroll skal utføres av selve tunnelen og alt teknisk utstyr som er montert i den.

I tunnelen skal normalt følgende bygningsmessige punkter kontrolleres/registreres:

- lekkasjer/ isdannelser
- kontroll av stabilitet
- behov for rensk
- fjellforsterkning og vannsikring
- kummer og dressystem
- rengjøring
- dekketilstand

Videre skal alt utstyret som er montert i tunnelen kontrolleres. Ved feil eller skader skal disse repareres så snart som mulig. Når utstyr som berører sikkerheten er ute av drift, skal vegmesteren varsles, og det skal vurderes om spesielle tiltak skal settes i verk. Avhengig av hvilket utstyr det dreier seg om, skal utrykningsetatene også varsles.

Det henvises for øvrig til Håndbok-111, Vedlikeholdsstandard, som flere av punktene nedenfor er hentet fra.

|            |   | Uke | mnd | 2 mnd | 6 mnd | 1. år | 1 1/2. år | 3 år | 5 år |
|------------|---|-----|-----|-------|-------|-------|-----------|------|------|
| VIFTER     | Avlesing av timeteller for lys og vifter            |     | x   |       |       |       |           |      |      |
|            | Prøvekjøring av vifter                              |     | x   |       |       |       |           |      |      |
|            | Kontroll av festestag                               |     |     |       |       |       |           |      |      |
|            | Kontroll av dreiemoment forfestebolter og vifteblad |     |     |       | x     |       |           |      |      |
|            | Undersøke unormal støy eller lugging i lager        |     |     |       | x     |       |           |      |      |
| CO-MÅLER   | Skifte støvfilter for målepunkt (742)               |     | x   |       |       |       |           |      |      |
|            | Skifte filterpatron for støvfilter                  |     |     |       | x     |       |           |      |      |
|            | Kontroll av driftslampe, luftmengde mm.             | x   |     |       |       |       |           |      |      |
|            | Skifte av målepatron (etterfylles)                  |     |     |       | x     |       |           |      |      |
|            | Kalibrering   |     | x   |       |       |       |           |      |      |
| LYSKILDER  | Kontroll av omkjøringsskilt og lyssignal            |     | x   |       |       |       |           |      |      |
|            | Rengjøring av lamper utvendig                       |     |     |       | x     |       |           |      |      |
|            | Skifte av lavtrykksnatriumlampe 35W m/tenner        |     |     |       |       | x     |           |      |      |
|            | Skifte av høytrykksnatriumlampe 400w m/tenner       |     |     |       |       |       |           | x    |      |
|            | 250 w m/tenner                                      |     |     |       |       |       |           | x    |      |
|            | Skifte av lamper i kontinuerlig drift               |     |     |       |       |       | x         |      |      |
|            | Rengjøring av fotoceller                            |     |     |       | x     |       |           |      |      |
| NØDTELEFON | Kontroll av nødtelefon og førstehjelpsskrin         | x   |     |       |       |       |           |      |      |
|            | Skifte av lysrør i nødtelefon og førstehjelpsskap   |     |     |       |       | x     |           |      |      |
|            | Rengjøring av nødtelefon og førstehjelpsskrin       |     | x   |       |       |       |           |      |      |
| RENHOLD    | Vask / rengjøring av tunnel                         |     |     |       | x     |       |           |      |      |
|            | Feing i tunnel                                      |     |     | x     |       |       |           |      |      |
|            | Rengjøring i tekniske rom                           |     | x   |       |       |       |           |      |      |

Figur 14.1 Tabell for vedlikeholdsintervall. eksempel

### 1403.3 Kontroll og vedlikehold av stabilitet, rensk og vannsikring

Rensk

---

Tunnelens tak og vegger kontrolleres med spett.  
Rensk utføres etter behov.

Løst fjell i tak eller vegger skal fjernes eller boltes.

Mekanisk rensk skal ikke benyttes. Benyttes spylerensk, skal den etterfølges av manuell kontroll.

Ved spylerensk skal det sikres mot at miljøet utenfor tunnelen forurenses. Om nødvendig må vannet renses før det slippes ut. Se forøvrig under pkt 1404.2, Vasking/slamsuging og pkt 1407, Sikkerhet ved velikeholdsarbeid.

#### Bolter

-----

Bolter skal kontrolleres med visuell inspeksjon.

Hvert femte år skal stikkprøvekontroll av boltene forankring utføres.

#### Sprøytebetong

-----

Sprøytebetong vil være særlig utsatt i lekkasjepartier og spesielt i saltvann. I slike kritiske partier skal kjerner utbores hvert 5 år for dokumentasjon av kvalitet.

Ved begynnende oppsmuldring må supplerende sikring utføres.

#### Vann- og frostsikring

-----

Følgende skal kontrolleres:

- Lekkasjer
- Korrosjon
- Festedetaljer

Registrerte skader av betydning repareres.

#### Fester for teknisk utstyr

-----

Festebolter og stag for vifter og andre tyngre komponenter skal kontrolleres hvert år.

En hovedinspeksjon med ekstra nøye kontroll bør gjennomføres hvert 5 år.

#### 1403.4 Vedlikehold av teknisk utstyr

##### Vifter

-----

Kontroll av aksler, vifteblad og fester og nødvendig rengjøring og smøring skal utføres etter leverandørens spesifikasjoner.

##### Lys

--

Pærer som er sløknet skal skiftes i løpet av en uke. Systematisk pæreskift skal foretas når gjennomsnittlig lysstyrke er sunket til 70% av normal lysstyrke. Systematisk pæreskift er erfaringsmessig nødvendig med et intervall på fra 1-3 år avhengig av lampetype.

##### Nødtelefoner

-----

Kontroll av nødtelefoner skal gjøres i samsvar med anbefalinger fra leverandørene. Funksjonskontroll bør skje hver måned.

##### Brannsløkningsutstyr

-----

Antallet kontrolleres, og det kontrolleres om forseglingen er brutt. Øvrig kontroll avhenger av typen. Etterfylling og utskifting skjer etter leverandørens anvisning.

##### Rømningsveier

-----

Rømningsveier kontrolleres med hensyn til fremkommelighet, funksjon av dører og porter, nødlys osv. en gang pr. måned.

##### Dreneringssystem

-----

Det skal kontrolleres at dreneringssystemet ikke har gått tett. I undersjøiske tunneler skal det kontrolleres spesielt for algevekst.

Tømming/slamsuging av kummer skal foretas før oppslammingen har nådd en høyde på 0,1 m under utløpet.

Drensledningen spyles samtidig med at kummene slamsuges. Der det er åpen drenering skal denne også renskes/ rengjøres samtidig med slamsugingen.

Pumper

-----

Pumper vedlikeholdes og prøvekjøres etter leverandørens anvisninger.

CO-målere

-----

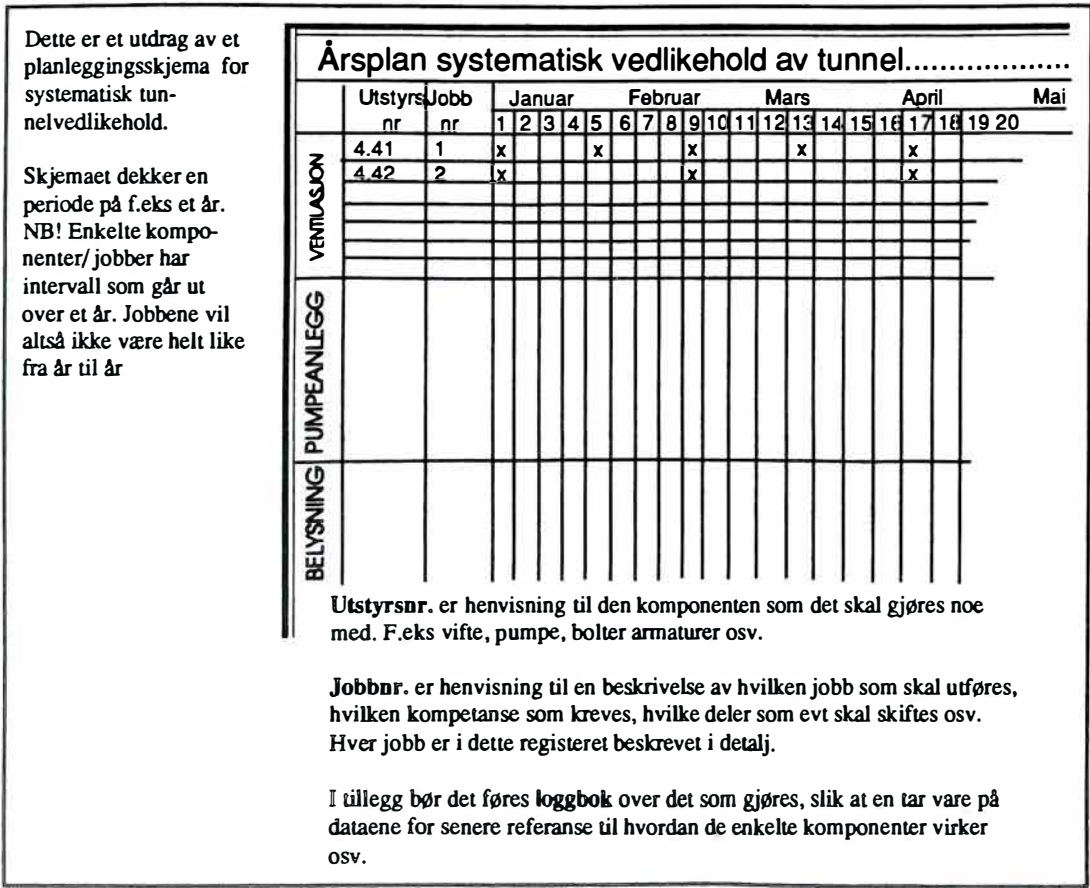
CO-målere skal vedlikeholdes etter leverandørens anvisninger.

Avhengig av type skal utstyret renses, og eventuelt skal filter byttes. Videre skal utstyret kalibreres.

Siktmålere

-----

Siktmålere skal kalibreres og rengjøres, og det skal ev. byttes lampe avhengig av type. Følg leverandørens anvisninger.



Figur 14.2 Planleggingsskjema for systematisk vedlikehold

## 1404 Øvrig trafikkrettet vedlikehold

### 1404.1 Generelt

I tillegg til det systematiske periodiske vedlikeholdet kommer det øvrige trafikkrettede vedlikehold.

Det trafikkrettede vedlikeholdet skal generelt følge samme rutiner som for veg i dagen. Spesielt for tunneller er imidlertid at det på grunn av store støvmengder kan kreves hyppigere renhold i en tunnel enn utenfor.

#### Vegoppmerking, reflektorer, veggmarkeringer mv.

-----

Skilter, reflektorer og veggmarkeringer skal kunne leses hele døgnet. Der det er praktisk mulig på grunn av linjeføringen i tunnelen skal de være lesbare på 100m der fartsgrensen er over 60 km/t, og på 50 meter der grensen er mindre enn eller lik 60 km/t.

Nymaling av kantstripe skal utføres med en nøyaktighet på  $\pm 20$  mm i forhold til teoretisk plassering. Se kapittel 3, Tunnelutforming.

Dette er viktig fordi det har betydning for den fri høyden opp til taket.

#### Variable skilter

-----

Variable skilter skal ved vasking kjøres til alle posisjoner og vaskes på alle flater. Det skal samtidig foretas en funksjonskontroll for å se at visningene blir riktige.

### 1404.2 Vasking/slamsuging

Avleiringene på tunnelvegger inneholder i tillegg til asfaltstøv med olje også bly og hydrokarboner. Dette er miljøgifter som det er viktig blir tatt hånd om på en forsvarlig måte.

Ved vasking av tunneler skal det derfor utvises spesiell aktsomhet.

Er det fare for forurensning, skal det før rengjøring starter, tas prøver av belegget på tunnelveggene for nærmere analyse.

Hvis vasking av tunneler gir farlig avfall skal følgende krav tilfredstilles:

- Alt avløpsvann fra tunnelen skal ledes til godkjente slamskillere på en forsvarlig måte
- Slamavskillerne skal tømmes når vasking er utført

I spesielle tilfeller kan det være nødvendig med hyppigere tømming

Dersom det blir dårlig utfelling/-sedimentering i kummene skal det tilsettes midler som får finstoffet til å binde seg lettere

Råd om midler som kan tilsettes ved vasking samt råd og avgjørelser om deponering av slam fås ved henvendelse til miljøavdelingen hos fylkesmannen.

#### **1405 Vintervedlikehold**

Istapper som følge av vanningsig skal fjernes raskt, slik at de ikke faller ned på kjørebanelen.

I vegtunneler er det inngangspartiene som oftest vil være de kritiske sikkerhetsmessige sett. Om vinteren er det derfor viktig at strekningene før tunnelene får et godt vedlikehold. Spesielt gjøres det oppmerksom på at kulden kan henge igjen i tunnelen om våren. Dette kan føre til farlige trafikkforhold med is på kjørebanelen i tunnelen selv om det er tørt på vegbanen ute.

Skjerpet beredskap vil være nødvendig for tunneler hvor slike forhold lett vil oppstå.

#### **1406 Vedlikehold av grøntareal**

I byer/tettbebyggelser inngår ofte grøntarealer som en viktig del av utformingen av portalområdet.

Det skal også utarbeides en plan for vedlikehold som dekker perioden fra planting frem til overtakelse, og tiden etter at anlegget er tatt i bruk.

Ved entreprisedrift skal garantitiden for grøntanlegg settes til 2 år, og det skal etableres detaljerte rutiner for entreprenørens vedlikehold i garantiperioden.

#### **1407 Sikkerhet i forbindelse med vedlikeholdsarbeid**

Ved vedlikeholdsarbeid i tunneler er det spesielt viktig med godt gjennomtenkt arbeidsvarsling og sperring. Det vises til Håndbok -051, Arbeidsvarsling, der det er vist eksempel på arbeidsvarsling for arbeid også i tunnel. God synlighet er påkrevd og belysningen bør alltid settes på dagnivå når arbeid pågår. I tunneler med luminansnivå under 1 cd/m<sup>2</sup> bør varslingen være belyst og blinklykter benyttes.

Det skal vurderes om tunnelen må stenges for å få forsvarlige arbeidsmiljøforhold for dem som skal arbeide inne i tunnelen. Dette gjelder både i forhold til avgasser og til støv. Der det finnes omkjøringsveg som ikke gir vesentlig omveg, bør tunnelen stenges helt ved arbeid.

I tunneler med to separate løp, og flere felt i begge løp, kan det vurderes om tovegstrafikk skal etableres i et løp mens det andre stenges for nødvendig arbeid.

Støv i tunneler kan inneholde giftige stoffer som bly og PAH.

Arbeidere som oppholder seg, og utfører arbeid i tunneler plikter å benytte nødvendig personlig verneutstyr slik det fremgår av den til enhver tid gjeldende instruks for denne type arbeid.





**Statens vegvesen**

**Vegdirektoratet  
Håndboksekretariatet  
Boks 8142 Dep.,  
0033 Oslo  
Tlf. 22 07 35 00  
Fax 22 07 36 79**

**ISBN 82-7207-316-1**

*En håndbok fra Vegvesenet*