

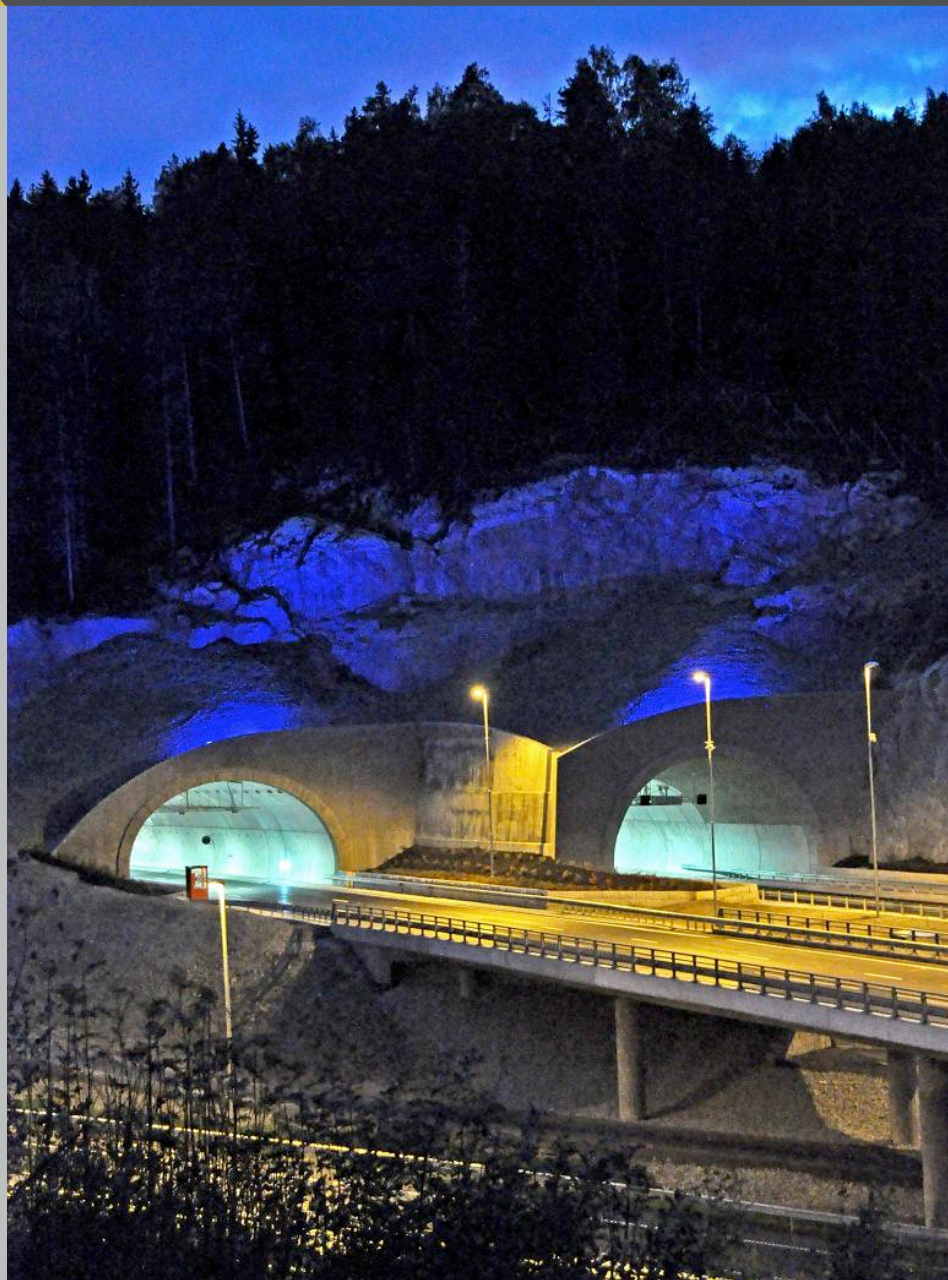


Statens vegvesen

# Vegtunneler

NORMALER

Håndbok 021



## Forord

Statens vegvesens normaler er gitt med hjemmel i forskrifter etter vegloven §13 vedrørende anlegg av veg.

Håndbok 021 gjelder alle typer vegtunneler. Normalen gjelder for nye tunneler, den skal også legges til grunn ved oppgradering av utstyr i eksisterende tunneler.

Håndboken er avstemt i forhold til forslag til tunnelsikkerhetsforskrift som er sendt på offentlig høring.

Normalen erstatter utgaven fra 2006. Normalen omfatter alle forhold ved gjennomføringen av et vegtunnelprosjekt, fra tidlig planlegging til ferdig produkt, samt drift og vedlikehold. Tunneler utgjør en betydelig del av vegnettet i Norge. Det er lagt vekt på forholdet til omgivelsene, i samsvar med de krav som stilles til å ivareta natur- og bymiljø.

Bygging av tunneler medfører et langsiktig vedlikeholdsansvar. Det er derfor nødvendig at valg av løsninger og teknisk utstyr blir gjort på bakgrunn av levetidsbetraktninger der også drifts- og vedlikeholdskostnader er vurdert.

En del av emnene i håndboka som faller utenfor begrepet normalstoff er tatt med her av hensyn til tilgjengeligheten. Det er ellers henvist til andre normaler og retningslinjer i stedet for å gjenta teksten her.

Forskjellen mellom krav og anbefalinger, og hvem som har fraviksmyndighet fremgår av tabell 0.1. Før rette myndighet godtar å fravike kravene, skal konsekvensene vurderes.

*Tabell 0.1 Bruk av skal, bør og kan. Myndighet til å fravike krav*

Verb	Betydning	Fravik
Skal	Krav	Vegdirektoratet kan fravike tekniske krav. Fravik skal begrunnes. Følgende krav/forhold skal ikke fravikes: <ul style="list-style-type: none"><li>• Krav om hjemmel i lover, regelverk og forskrifter</li><li>• Forhold som er av en slik karakter at de åpenbart ikke vil være gjenstand for diskusjon</li></ul>
Bør	Krav	Vegdirektoratet gir regionvegsjefen fullmakt til å fravike tekniske krav. Fravik skal begrunnes, og Vegdirektoratet skal ha melding med mulighet til å gå mot dispensasjonen innen 3 uker (6 uker i perioden 1. juni – 31. august).
Kan	Anbefaling	Kan fravikes. Krever ikke at Vegdirektoratet blir informert, men regionvegsjefen bør informeres.

Håndbok 021 er tilgjengelig på Statens vegvesens intranettsider og internettsider.

Ansvarlig avdeling: Veg- og transportavdelingen.

Statens vegvesen Vegdirektoratet, mars 2010.

<b>1</b>	<b>EN KORT OVERSIKT OVER AKTUELLE LOVER OG FORSKRIFTER.....</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>GEOLOGISKE FORUNDERSØKELSER .....</b>	<b>7</b>
2.1	GENERELT .....	7
2.2	VURDERING AV GJENNOMFØRBARHET .....	8
2.3	OVERSIKTSPLAN (FYLKESDELPLAN/KOMMUNEDELPLAN) .....	9
2.4	REGULERINGSPLAN .....	9
2.5	KONKURRANSEGRUNNLAG.....	10
<b>2.5.1</b>	<b>Supplerende grunnundersøkelser.....</b>	<b>10</b>
<b>2.5.2</b>	<b>Geologisk og geoteknisk rapport for konkurransegrunnlag.....</b>	<b>10</b>
<b>3</b>	<b>HENSYNET TIL OMGIVELSENE, ESTETIKK .....</b>	<b>12</b>
3.1	GENERELT .....	12
3.2	KRAV OG RESTRIKSJONER .....	12
3.3	REGISTRERINGER OG MÅLEPROGRAMMER.....	12
3.4	VIBRASJONER OG BYGNINGSBESIKTIGELSE .....	13
3.5	KRAV TIL BEGRENSNING AV LEKKASJER .....	13
<b>3.5.1</b>	<b>Tetthetskrav .....</b>	<b>13</b>
<b>3.5.2</b>	<b>Metoder for å oppnå tetthetskravene. Organisering av arbeidene.....</b>	<b>13</b>
3.6	MIDLERTIDIG UTSLIPP AV VANN.....	14
<b>3.6.1</b>	<b>Generelt.....</b>	<b>14</b>
<b>3.6.2</b>	<b>Søknadens innhold .....</b>	<b>14</b>
<b>3.6.3</b>	<b>Kontroll og tilsyn.....</b>	<b>15</b>
3.7	PERMANENT UTSLIPP AV VANN .....	15
3.8	BRUK AV KJEMIKALIER I TUNNELARBEIDER .....	15
3.9	UTSLIPP AV GASSER OG PARTIKLER.....	16
<b>3.9.1</b>	<b>Konsekvensvurderinger av utslipp.....</b>	<b>16</b>
<b>3.9.2</b>	<b>Anbefalte luftkvalitetskriterier .....</b>	<b>16</b>
<b>3.9.3</b>	<b>Utslipp gjennom ventilasjonstårn .....</b>	<b>16</b>
3.10	STØY NÆR TUNNELÅPNINGER.....	16
3.11	ESTETIKK .....	17
<b>3.11.1</b>	<b>Estetikk og kjøreopplevelse, overordnede mål.....</b>	<b>17</b>
<b>3.11.2</b>	<b>Estetisk utforming av dagsonene.....</b>	<b>17</b>
<b>3.11.3</b>	<b>Estetisk utforming av tunnelen.....</b>	<b>22</b>
<b>4</b>	<b>GEOMETRISK UTFORMING.....</b>	<b>23</b>
4.1	GENERELT .....	23
4.2	LINJEFØRING .....	23
<b>4.2.1</b>	<b>Generelt.....</b>	<b>23</b>
<b>4.2.2</b>	<b>Horisontalkurvatur.....</b>	<b>24</b>
<b>4.2.3</b>	<b>Vertikalkurvatur.....</b>	<b>25</b>
<b>4.2.4</b>	<b>Forbikjøringsmuligheter .....</b>	<b>25</b>
4.3	OVERGANGSSONE MELLOM VEG I DAGEN OG VEG I TUNNEL.....	25
<b>4.3.1</b>	<b>Utforming av overgangssone utenfor tunnelåpningen.....</b>	<b>25</b>
<b>4.3.2</b>	<b>Portaler.....</b>	<b>27</b>
4.4	VALG AV TUNNELKLASSE.....	29
4.5	TUNNELPROFILER.....	30
<b>4.5.1</b>	<b>Generelt.....</b>	<b>30</b>
<b>4.5.2</b>	<b>Geometriske mål .....</b>	<b>38</b>
<b>4.5.3</b>	<b>Senterlinje i ettløps- og toløpstunneler.....</b>	<b>40</b>
<b>4.5.4</b>	<b>Tilpasninger av geometriske mål ved overganger og ved endret normalprofil .....</b>	<b>40</b>
<b>4.5.5</b>	<b>Gang- og sykkeltrafikk .....</b>	<b>42</b>
<b>4.5.6</b>	<b>Skulder.....</b>	<b>43</b>
<b>4.5.7</b>	<b>Veggelementer og føringskant av betong.....</b>	<b>43</b>
<b>4.5.8</b>	<b>Tunnelprofil for betongtunneler.....</b>	<b>43</b>
4.6	UTVIDELSE FOR NISJER.....	43
<b>4.6.1</b>	<b>Havarinisjer, snunisjer og møteplasser .....</b>	<b>43</b>
<b>4.6.2</b>	<b>Nisjer for tekniske rom.....</b>	<b>45</b>
<b>4.6.3</b>	<b>Utforming av nisje for nødstasjon .....</b>	<b>45</b>

4.6.4	Utforming av pumpestasjon .....	46
4.7	NØDUTGANGER .....	46
4.8	KRYSS I FORBINDELSE MED TUNNEL .....	47
4.8.1	Kryss i tunnel .....	47
4.8.2	Kryss utenfor tunnelåpningen .....	47
<b>5</b>	<b>TRAFIKK- OG BRANNSIKKERHET .....</b>	<b>48</b>
5.1	GENERELT .....	48
5.2	SIKKERHETSTILTAK OG SIKKERHETSUTRUSTNING .....	49
5.2.1	Tiltak for å sikre minimum sikkerhetsnivå i tunneler .....	49
5.2.2	Krav til utstyr som inngår i sikkerhetsutrustningen .....	52
5.2.3	Radiokommunikasjon og kringkastingsanlegg, mobiltelefon .....	55
5.2.4	Sikkerhetsmessig oppgradering av eksisterende tunneler .....	56
5.3	TRAFIKKSTYRING OG HENDELSESDETEKTERING .....	56
5.3.1	Behovsanalyse .....	56
5.3.2	Hovedtyper av trafikkstyringssystemer .....	57
5.3.3	Hendelsesdetektering – tekniske løsninger .....	59
5.4	KRAV TIL BRANNSIKRING .....	59
5.4.1	Generelt .....	59
5.4.2	Brannmotstand. Krav til konstruksjoner .....	59
5.5	TRANSPORT AV FARLIG GODS I TUNNEL .....	60
5.6	BEREDSKAPSPLAN .....	61
<b>6</b>	<b>TRAFIKKSKILT, TRAFIKKSIGNALANLEGG OG VEGOPPMERKING .....</b>	<b>62</b>
6.1	GENERELT .....	62
6.2	TRAFIKKSKILT FOR TUNNELER .....	62
6.2.1	Trafikkskilt utenfor tunnel .....	62
6.2.2	Trafikkskilt i tunnel .....	66
6.3	TRAFIKKSIGNALANLEGG FOR TUNNELER .....	67
6.4	VEGOPPMERKING OG VISUELL FØRING .....	68
<b>7</b>	<b>ARBEIDER FORAN STUFF, STABILITETSSIKRING OG VANN- OG FROSTSIKRING.....</b>	<b>70</b>
7.1	ETABLERING AV FORSKJÆRING OG PÅHUGG .....	70
7.2	ARBEIDER FORAN STUFF .....	70
7.2.1	Sonderboring, kjerneboring og boreparametertolkning .....	70
7.2.2	Føring .....	71
7.2.3	Sprengning .....	72
7.3	STABILITETSSIKRING .....	72
7.3.1	Generelt .....	72
7.3.2	Grunnlag for bestemmelse av permanent sikring – fastsettelse av sikringsklasse .....	72
7.3.3	Metoder .....	74
7.4	KRAV TIL UTSTYR OG BEREDSKAP VED DRIVING AV UNDERSJØISKE TUNNELER .....	74
7.5	FROSTINNTRENGNING I TUNNELER .....	75
7.5.1	Generelt .....	75
7.5.2	Frostinntrengning .....	75
7.6	VANN- OG FROSTSIKRING VED AVSKJERMING .....	76
7.6.1	Generelt .....	76
7.6.2	Valg av konstruksjon .....	76
7.6.3	Tilrettelegging for inspeksjon bak vann-/frostsikringshvelv .....	76
<b>8</b>	<b>DRENERING .....</b>	<b>77</b>
8.1	GENERELT .....	77
8.2	DRENSSYSTEM .....	77
8.3	GRØFTER .....	77
8.4	SYSTEM FOR OPPSAMLING AV OVERFLATEVANN OG VASKEVANN .....	79
8.5	KUMMER FOR SLOKKEVANN .....	79
8.6	PUMPESTASJONER, PUMPELEDNINGER .....	80
<b>9</b>	<b>VEGFUNDAMENT OG VEGDEKKE .....</b>	<b>81</b>
9.1	GENERELT .....	81

9.2	TRAUBUNN.....	81
9.3	OVERBYGNING VED $F_{10T} \leq 10\ 000\ H^{\circ}C$ .....	81
9.3.1	<b>Forsterkningslag</b> .....	81
9.3.2	<b>Bærelag, bindlag og slitelag</b> .....	82
9.4	OVERBYGNING VED $F_{10T} > 10\ 000\ H^{\circ}C$ .....	82
9.4.1	<b>Finrensket tunnelsåle</b> .....	82
9.4.2	<b>Frostsikring med isolasjonsplater av ekstrudert polystyren (XPS)</b> .....	83
9.4.3	<b>Bindlag og slitelag</b> .....	84
<b>10</b>	<b>TEKNISKE ANLEGG</b> .....	<b>85</b>
10.1	KRAV TIL TEKNISK UTSTYR.....	85
10.1.1	<b>Generelle krav til elektrotekniske anlegg</b> .....	85
10.1.2	<b>Korrosjonsbeskyttelse av teknisk utrustning</b> .....	85
10.1.3	<b>Kapslingsgrad</b> .....	85
10.1.4	<b>Kabler</b> .....	85
10.1.5	<b>Tekniske rom</b> .....	86
10.2	STRØMFORSYNING.....	86
10.3	BELYSNING.....	86
10.3.1	<b>Generelt</b> .....	86
10.3.2	<b>Lysforhold utenfor tunnel – adaptasjonsluminansen</b> .....	86
10.3.3	<b>Belysning i tunnel</b> .....	87
10.3.4	<b>Armatravstand</b> .....	89
10.3.5	<b>Armaturer</b> .....	89
10.3.6	<b>Sikkerhetsbelysning</b> .....	89
10.4	VENTILASJON.....	90
10.4.1	<b>Generelt</b> .....	90
10.4.2	<b>Krav til luftkvalitet i tunneler</b> .....	90
10.4.3	<b>Mekanisk ventilasjon</b> .....	91
10.4.4	<b>Brannventilasjon</b> .....	91
10.4.5	<b>Krav til ventilatorer</b> .....	92
<b>11</b>	<b>TILRETTELEGGING FOR DRIFT OG VEDLIKEHOLD</b> .....	<b>93</b>
<b>12</b>	<b>KRAV TIL DOKUMENTASJON</b> .....	<b>94</b>
<b>A</b>	<b>VURDERING OG BEREGNING AV LUFTFORURENSNING FRA VEGTUNNELER</b> .....	<b>96</b>
<b>B</b>	<b>BEREGNING AV STØYUTSTRÅLING FRA VEGTUNNELER</b> .....	<b>99</b>
<b>C</b>	<b>VENTILASJON</b> .....	<b>101</b>
C.1	BEREGNING AV NØDVENDIG FRISKLIFTBEHOV OG KONTROLL AV LUFTKVALITET.....	101
C.2	BEREGNING AV NØDVENDIG SKYVKRAFT VED LANGSLUFTING.....	104
C.3	STYRING AV VENTILASJONSANLEGG.....	107
<b>D</b>	<b>BEREGNINGSMODELL FOR BRANNVENTILASJON</b> .....	<b>108</b>
<b>E</b>	<b>ÅRSMIDDELTEMPERATUR OG FROSTMENGDER</b> .....	<b>130</b>

# 1 EN KORT OVERSIKT OVER AKTUELLE LOVER OG FORSKRIFTER

## **Tunnelsikkerhetsforskriften**

Tunnelsikkerhetsforskriften er innarbeidet i håndbok 269 Sikkerhetsforvaltning av vegtunneler og håndbok 021. Disse håndbøkene skal derfor legges til grunn ved planlegging, bygging, drift og vedlikehold av vegtunneler.

## **Plan- og bygningsloven**

Formell avklaring for offentlige veganlegg, herunder også tunneler, skjer i første rekke etter plan- og bygningsloven (PBL). Rammene for et vegprosjekt blir som regel lagt i en oversiktsplan etter PBL. Ved oversiktsplanlegging av veg- og transportanlegg brukes vanligvis kommunedelplan. For oversiktsplaner etter PBL skal det gjennomføres konsekvensutredning som en del av planarbeidet. Avklaring av detaljer om utforming og beliggenhet av et veganlegg skjer gjennom reguleringsplan etter PBL. Reguleringsplanen skal blant annet gi rettsgrunnlag for gjennomføring av grunnverv og anlegg og drift av vegen.

I ny plan- og bygningslov som trådte i kraft 1. juli 2009 er det blant annet stilt et generelt krav om at det skal gjennomføres risiko- og sårbarhetsanalyse ved utarbeiding av planer for utbygging. For planer som omfattes av kravene til konsekvensutredning forutsettes det at risiko- og sårbarhetsanalysen som hovedregel inngår som en del av konsekvensutredningen.

Nærmere anvisning om planlegging av vegprosjekter etter PBL er gitt i håndbok 151 Styring av utbyggings-, drifts- og vedlikeholdsprosjekter og i Kvalitetssystemet i Statens vegvesen.

I tillegg til behandlingen etter PBL vil det for tunnelanlegg også være nødvendig med avklaring etter bestemmelser i andre lover. Viktige særlover som kommer inn ved planlegging av tunneler omtales nedenfor.

## **Forurensningsloven**

I forhold til nye anlegg vil forurensningsloven gjelde for forurensning fra anleggsvirksomheten og forurensning forårsaket av selve vegkonstruksjonen.

For forurensning som kan oppstå i anleggsfasen vil det som hovedregel være nødvendig med tillatelse fra forurensningsmyndigheten (som regel Fylkesmannen) etter forurensningsloven § 11. Tillatelse etter denne bestemmelsen er blant annet nødvendig for virksomhet som overskrider ” vanlig forurensning fra midlertidig anleggsvirksomhet”.

Det kan også bli krevd tillatelse for permanent utslipp til luft, vann eller til grunnen forårsaket av selve vegkonstruksjonen. Videre er det gjennom forskrift etter forurensningsloven § 9, fastsatt av Miljøverndepartementet 3. april 1989, bestemt at bakkeplanering i forbindelse med deponering av tunnelmasser er søknadspliktig etter forurensningsloven.

Spørsmålet om behov for tillatelse etter forurensningsloven bør avklares med forurensningsmyndighetene i en tidlig fase av planleggingen, for eksempel i forbindelse med behandling av oversiktsplan for veganlegget.

For øvrig henvises det til kapittel 3 Hensynet til omgivelsene, estetikk.

## **Lov om vassdrag og grunnvann (vannressursloven)**

For veganlegg som faller inn under definisjonen av vassdragstiltak i vannressursloven § 3 kan det være nødvendig med konsesjon etter vannressursloven § 8. Etter § 8, første ledd, kreves det konsesjon fra vassdragsmyndigheten for å ”iverksette vassdragstiltak som kan være til nevneverdig skade eller ulempe for noen almene interesser i vassdraget eller sjøen”. I utgangspunktet er det tiltakshaver som må vurdere om det foreligger konsesjonsplikt. Dessuten kan vassdragsmyndigheten (NVE), ved forskrift eller enkeltvedtak, fastsette om et vassdragstiltak er konsesjonspliktig. Også rådighet over eller påvirkning av grunnvann er konsesjonspliktig dersom vassdragsmyndigheten har bestemt det i forskrift eller i det enkelte tilfelle. Siden det ikke er fastsatt noen forskrift med nærmere bestemmelser om hvilke tiltak som er konsesjonspliktige må en i stor grad basere seg på at vassdragsmyndigheten avgjør spørsmålet om konsesjonsplikt for veganlegg i det enkelte tilfelle. Avklaring av om konsesjonsbehandling er nødvendig eller ikke bør skje på et tidlig tidspunkt i planarbeidet, helst i forbindelse med oversiktsplanprosessen for veganlegget.

**Kulturminneloven**

Veganlegg som kommer i konflikt med kulturminner som er vedtatt fredet etter kulturminneloven §§ 15, 19 eller 20, kan ikke gjennomføres uten at Riksantikvaren først fatter et vedtak om dispensasjon eller unntak fra fredningsbestemmelsene i kulturminneloven. Forholdet til automatisk fredete kulturminner, blant annet ivaretagelse av undersøkelsesplikten etter kulturminneloven § 9, forutsettes avklart i forbindelse med planleggingsprosessen etter plan- og bygningsloven.

**Naturmangfoldloven**

Veganlegg som er i konflikt med vernede områder etter naturmangfoldloven (landskapsvernområde, nasjonalpark, naturreservat eller naturminne) vil ikke kunne gjennomføres uten at det blir fattet vedtak om unntak fra vernebestemmelsene etter naturmangfoldloven § 23. I utgangspunktet er det Regjeringen som har myndighet til å gjøre unntak, men myndigheten til å gjøre unntak er i visse tilfeller delegert til Fylkesmannen.

**Brann- og eksplosjonsvernloven**

Lov om vern mot brann, eksplosjon og ulykker med farlig stoff og om brannvesenets redningsoppgaver gjelder for tunneler i drift, og gir blant annet brannvernmyndigheten i kommunen hjemmel til å gi pålegg om brannsikringstiltak (jf. brann- og eksplosjonsvernloven § 37). I Retningslinjer for saksbehandling og ivaretagelse av brannsikkerhet i vegtunneler (2009) utarbeidet av Vegdirektoratet og Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap, legges det opp til at brannsikkerheten i nye tunneler avklares i forbindelse med reguleringsplanlegging etter plan- og bygningsloven.

**Lover som omhandler elektriske anlegg og elektrisk utstyr**

Alle elektriske anlegg skal installeres og drives etter:

- Lov om tilsyn med elektriske anlegg og elektrisk utstyr
- Lov om elektronisk kommunikasjon

Normer og standarder kan fravikes dersom det kan verifiseres at den valgte løsning er minst like sikker som den normerte.

For installasjoner og utstyr i lavspenningsanlegg benyttes normer fra Norsk elektroteknisk komite (NEK).

**Andre særlover**

Andre særlover som kan få betydning ved planlegging av tunnelanlegg er blant annet:

Havne- og farvannsloven  
Kommunehelsetjenesteloven  
Viltloven  
Lakse- og innlandsfiskekloven  
Reindrifftsloven  
Jordloven  
Skogbruksloven

Generelt bør det på et tidlig stadium i planleggingen av et tiltak etter plan- og bygningsloven tas kontakt med aktuelle særlovmyndigheter, med sikte på å få deres vurdering av hvorvidt og i hvilken grad det vil være nødvendig med særlovsbehandling av tiltaket i tillegg til avklaring etter plan- og bygningsloven.

## 2 GEOLOGISKE FORUNDERSØKELSER

### 2.1 Generelt

Det stilles spesielle krav til de geologiske undersøkelsene for tunnel, forskjæringer og påhuggsområder. Forundersøkelsene for tunnelprosjekter skal avklare alternativer og totalkostnader, samt sikkerhetsmessige, samfunnmessige og miljømessige forhold knyttet til prosjektene iht. håndbok 054 Oversiktsplanlegging, håndbok 140 Konsekvensanalyser og håndbok 151 Styring av utbygging-, drifts- og vedlikeholdsprosjekter.

Geologiske undersøkelser skal blant annet omfatte detaljert geologisk og ingeniørgeologisk kartlegging. Denne kartleggingen suppleres ofte av geotekniske, hydrogeologiske, og geofysiske undersøkelser. For geotekniske undersøkelser vises det til håndbok 016 Geoteknikk i vegbygging.

En kvalitetsmessig og rasjonell gjennomføring krever at undersøkelsene utføres systematisk og trinnvis, og at resultatene vurderes grundig før neste planfase. Omfanget av forundersøkelsene skal tilpasses det aktuelle plannivået.

Gjennomføring og rapportering av undersøkelsene skal utføres slik at overføring av data fra en planfase til neste er sikret.

#### **Bergmasseklassifisering**

Et bergmasseklassifiseringssystem (Q-systemet) skal brukes ved feltkartlegging og eventuell kjernelogging i alle faser av tunnelprosjekter. Sammenhengen mellom bergmasseklasser og stabilitetssikring er gitt i kapittel 7, tabell 7.1.

#### **Geofysiske undersøkelser**

For tunneltraséer med løsmasseoverdekning over områder med ukjente geologiske forhold og/eller usikker bergoverdekning skal det utføres refraksjonsseismiske / geofysiske undersøkelser. For undersjøiske tunneler skal seismiske undersøkelser i tillegg utføres for hele den undersjøiske delen av traséen og overgangssonene mellom land og sjø.

#### **Kontroll i henhold til Norsk Standard 3480 Geoteknisk prosjektering**

Med utgangspunkt i Norsk Standard NS3480 *Geoteknisk prosjektering* sammen med registrert bergkvalitet fra geologiske undersøkelser, skal det som en del av kvalitetsplanen utarbeides et kontrollomfang for tunnelprosjekter i alle faser. Fra 2010 benyttes NS-EN1997-1 Eurocode 7: Geoteknisk prosjektering.

NS3480 angir kontrollnivå i forhold til skadekonsekvens og vanskelighetsgrad for bergteknisk prosjektering og kontroll.

Kontroll etter NS3480 deles inn i tre prosjektklasser med tilhørende kontrollnivå. Ifølge NS3480 vil alle tunnelprosjekter i utgangspunktet ligge i prosjektklasse 3 på grunn av faren for personskader og ulykker med døden til følge (skadekonsekvens). Dette betyr ikke at alle aspekter ved tunnelprosjektene skal ligge i prosjektklasse 3. I klassifiseringen ligger det også muligheter til å variere prosjektklassen innenfor forskjellige deler av prosjektet og i ulike faser av prosjektet. For tunneler der forundersøkelsene viser godt og forutsigbart berg kan det være aktuelt å benytte prosjektklasse 2. Ingen deler av tunnelprosjekter skal ligge i prosjektklasse 1.

For å bestemme riktig prosjektklasse og omfang av geologiske undersøkelser kan Publikasjon nr. 101: Riktig omfang av undersøkelser for berganlegg, benyttes.

Prosjektklassene danner grunnlag for kontrollomfang som i NS3480:

- klasse (2):**        **vanlig kontroll** : annen bergteknisk kyndig person kontrollerer  
**klasse (3):**        **skjerpet kontroll** : kontroll utført av person eller organisasjon som er uavhengig av den bergteknisk prosjekterende, i tillegg til vanlig kontroll.

Tverrfaglig kontroll utføres på vanlig måte i tillegg.



Kontroll etter NS3480 skal omfatte planleggings - og prosjekteringsforutsetninger, omfang av geologiske forundersøkelser, sikkerhetsnivå, beregninger, beskrivelse, tegninger, kontrollplaner etc.

Kontroll etter NS3480 initieres i forbindelse med de første geologiske forundersøkelsene og planleggingsarbeidene, og følger deretter prosjektet gjennom prosjektering, utbygging og inn i driftsfasen.

Kontroll etter NS3480 skal utføres for alle prosjekter og for alle planfaser og under bygging.

For prosjekter som krever skjerpet kontroll kan det i tillegg opprettes uavhengige, rådgivende kvalitetsgrupper.

Geologisk rapport for de ulike planfasene skal gi en oversikt over antatt sikringsmengde og aktuelle sikringsmetoder, basert på de geologiske forholdene som kan forventes.

I tillegg skal geologisk rapport for reguleringsplanfasen inneholde forslag om bemanning, nødvendig kompetanse og erfaring til de som skal følge opp i byggefasen, ut fra forventede geologiske utfordringer.

## 2.2 Vurdering av gjennomførbarhet

Forundersøkelsene skal gi grunnlag for å vurdere det geologiske grunnlaget for gjennomførbarheten av prosjektet. Særlig viktig er det å oppnå en forståelse av de regionalgeologiske forhold.

Følgende vurderinger skal inngå:

- Lokalisere egnede tunnelstrekninger
- Kartlegge hvilke områder som kan være kritiske for kostnader og sikkerhet og dermed gjennomførbarheten av de alternative tunnelstrekninger.

Undersjøiske tunnelprosjekter skal planlegges ut fra et krav til minste bergoverdekning på 50 m. For fravik fra dette gjelder spesielle krav, se punkt 2.4.

Det skal legges spesiell vekt på plassering og utforming av påhugg og innkjøringssoner i forhold til skredfare (stein, snø, is). Påhugg som kan bli oversvømmet plasseres slik at traubunn (planum) er minimum 3 m over høyeste nivå for registrert eller beregnet stormflo. Påhugg kan imidlertid plasseres på et lavere nivå der det finnes en tilstrekkelig terskel mot sjøen.

Forundersøkelsene skal som et minimum omfatte:

- Innsamling og vurdering av eksisterende informasjon. Geologiske og topografiske kart, publikasjoner (NGU, NGI etc.) og eventuelle rapporter fra tidligere utførte undersøkelser.
- Økonomisk kart (1:5 000), og ev. studie av flyfoto (M = 1:15 000 – 1:30 000)
- Befaring i marken. Geologisk kartlegging i målestokk 1 : 5000. Se håndbok 015 Feltundersøkelser
- Vurdering av områder som kan være spesielt utsatt for påvirkning fra tunnelen. Dette gjelder forhold som drenering, setninger, rystelser, utslipp mv.
- Kart som angir antatt løsmassemekktighet
- Vurdering av usikkerhet vedrørende bergoverdekning.

Forundersøkelsene skal sammenstilles i en rapport som i tillegg skal inneholde:

- En oversikt over områdets geologi, og en beskrivelse av strukturgeologiske og hydrogeologiske forhold som kan være av betydning for gjennomførbarhet og valg mellom alternativer
- Oversikt over områder som krever spesielle tiltak i forbindelse med gjennomføringen
- Vurdering av gjennomførbarhet
- Forslag til plan for videre forundersøkelser.

## 2.3 Oversiktsplan (fylkesdelplan/kommunedelplan)

Forundersøkelsene på dette plannivået skal danne det geologiske grunnlaget for valg av veglinjealternativ.

Forundersøkelsene skal baseres på utførte forundersøkelser under vurdering av gjennomførbarhet (punkt 2.2), og skal som et minimum omfatte:

- Kartlegging ved bruk av beste tilgjengelige kartgrunnlag. Det vil si topografiske kart, fortrinnsvis laserscannete kart (M = 1:1000 - 1:5 000), sammenholdt med flyfotostudier basert på stereoskopiske foto (M = 1:6 000 – 1:15 000). På basis av disse kartlegges løsmasser og berg i dagen, svakhetssoner og strukturetninger i berget.
- Felt- og grunnundersøkelser. Undersøkelsene og vurderingene skal omfatte følgende:
  - Løsmasser, typer og mektighet. For undersjøiske tunneler angis også vanndybder / sjøbunnstopografi
  - Bergarter og bergartsgrenser. For undersjøiske tunneler angis også bergarter på landsidene, med påhuggsområdene
  - Lagdeling og foliasjon
  - Sprekkemønster og sprekke tetthet
  - Svakhetssoner
  - Bergoverdekning
  - Hydrologiske og hydrogeologiske registreringer:
    - Måleprogram for grunnvannsnivå og poretrykk der dette er nødvendig, inkludert registrering av vannreservoarer og myrområder samt årtidsvariasjoner for disse
    - Sårbarhet i forhold til flora og fauna
    - Kartlegging av setningsømfintlige områder
    - Krav til begrenning av innlekkasje i de ulike deler av tunnelen
  - Kvalitet på steinmaterialer med tanke på eventuell bruk i vegbyggingen
  - Grunnundersøkelser for aktuelle deponier
  - Påhuggsmuligheter, forskjæringer, skredfare
  - Behov for og gjennomføring av geofysiske undersøkelser.
  - Behov for og gjennomføring av kjerneboringer eller andre typer borehullsinspeksjoner

Der det er igangsatt et måleprogram for grunnvannstand og poretrykk skal det foretas hyppige registreringer for å dokumentere de naturlige variasjoner over tid (f.eks. med månedlige intervaller).

Grunnundersøkelser skal sikre at de tekniske løsningene som foreslås er gjennomførbare og videre danne grunnlag for mengdeanslag.

Etter at forundersøkelsene er utført skal det utarbeides en rapport med et detaljeringsnivå som er tilpasset plannivået.

Det skal skilles mellom måleresultater, faktiske observasjoner og tolkninger.

## 2.4 Reguleringsplan

Sammen med undersøkelsene fra oversiktsplan danner forundersøkelsene i reguleringsplan grunnlaget for prosjektering og utarbeidelse av konkurransegrunnlag.

Tunnelens innvirkninger på influensområdet skal undersøkes og vurderes i detalj. I prinsippet skal alle undersøkelser være utført i løpet av dette planstadiet.

Følgende skal gjennomgås og utføres:

- Gjennomgang av resultatene fra tidligere undersøkelser
- Planlegging og gjennomføring av supplerende grunnundersøkelser inkludert verifikasjon av tidligere konklusjoner
- Rystelser

Grenser for tillatte rystelser innen influensområdet fastlegges, og det planlegges et måleprogram for oppfølging. Plan for bygningsbesiktigelse, registrering av setninger og skader samt tidspunkt for iverksettelse avklares.

Grunnvann, poretrykk og setninger

Med utgangspunkt i undersøkelser utført i forbindelse med kommunedelplan foretas en vurdering av hvilke skader som kan oppstå og hvilke tiltak som er nødvendige for å sikre omgivelsene. Det skal også vurderes om det skal søkes om konsesjon for regulering av vann, utdrenering mv. som alternativ til en omfattende gjennomføring av tettarbeider.

Følgende forhold skal blant annet utredes:

- influensområder
- kartlegging av tykkelse og setningsømfintlighet til løsmasser
- registrering av fundamenteringsforhold for byggverk
- fastlegging av tillatte innlekkasjer langs tunneltraseen
- vurdering av aktuelle tiltak for å oppfylle fastsatte lekkasjekrav.

For undersjøiske tunneler gjelder spesielt:

Bergoverdekning mindre enn 50 m kan bare aksepteres i tilfeller der det er særskilt godt dokumentert at dette er forsvarlig. Overdekning mindre enn 50 m skal godkjennes av Vegdirektoratet.

### **Rapporter**

Det utarbeides egne rapporter til bruk i forbindelse med reguleringsplanarbeidet, med et detaljeringsnivå som er tilpasset plannivået.

Rapportene skal inneholde all relevant informasjon, eventuelt med henvisning til grunnlagsdata i rapporter fra tidlige planfaser (se punkt 2.3).

Det skal skilles mellom måleresultater, faktiske observasjoner og tolkninger.

## **2.5 Konkurransesgrunnlag**

I prosjekteringsfasen skal prosjektet bearbeides frem til ferdige konkurransegrunnlag.

### **2.5.1 Supplerende grunnundersøkelser**

Det kan være aktuelt med supplerende grunnundersøkelser for å bekrefte mengdeanslagene eller som følge av andre forhold som avdekkes under prosjekteringen, som for eksempel detaljer ved portalområder/forskjæringer som er vesentlige for etablering av påhugg.

Det kan i tillegg være aktuelt å justere planlagt omfang av kartlegging og overvåkning av omgivelsene, blant annet basert på de måleresultater som foreligger.

### **2.5.2 Geologisk og geoteknisk rapport for konkurransegrunnlag**

Det skal utarbeides en egen rapport for konkurransegrunnlaget. Rapporten utarbeides på grunnlag av foreliggende undersøkelser. Arbeidsbeskrivelser knyttet til tetting, driving, sikring, komplettering etc. behandles andre steder i konkurransegrunnlaget og er ikke en del av geologisk og geoteknisk rapport.

Ansvarlig for de geologiske undersøkelsene skal kvalitetssikre at konkurransegrunnlaget (Kap. E) gjenspeiler de geologiske utfordringene vedrørende sikringsmengder, sikringsmetoder etc., som kan forventes i forbindelse med gjennomføring av tunnelen.

Geologisk rapport skal inneholde relevante opplysninger i en faktadel. I tillegg bør rapporten inneholde geologiske vurderinger som tas inn i en tolkningsdel, slik at den utførende får best mulig informasjon om bergforholdene for egne vurderinger og tolkninger.

**Del 1:** Faktarapporten skal inneholde:

- Geologisk kart og profil av traséen (1:1 000 – 1:5 000).
- Geologisk kart og profiler av påhuggsområdene (1:1 000)
- Beskrivelse av bergarter, foliasjon, strukturer.
- Analyse av sprekke tetthet og sprekkeorientering. Sprekkediagram.
- Resultater av eventuelle kjerneboringer med fotografier av kjerne kasser og RQD-tall samt registreringer av eventuelle svellende mineraler.
- Resultater av eventuelle geofysiske undersøkelser. Vist på kart og profil i forhold til tunneltraséen.
- Resultater av eventuelle andre undersøkelser og målinger. Vist på kart og profil i forhold til tunneltraséen.
- Spesielle lokale forhold det bør varsles om (f.eks. brønner)
- Referanseliste over alle rapporter og annet som rapporten bygger på.

**Del 2:** Tolkningsdelen bør inneholde:

- Eventuelle tolkninger av de geologiske forholdene langs tunneltraseen: bergartsgrenser, bruddstrukturer og svakhetssoner og mulig lokalisering i tunneltraséen
  - Usikkerhet mht. bergoverdekning
  - Bergmasseklassifisering (Q-verdier) i felt og fra ev. kjernelogging
  - Løsmasser og geotekniske forhold. Konsekvenser for rasfare, setninger og miljø
  - Hydrogeologiske forhold, eventuelle brønner og vannmagasiner
  - Målesteder/resultater/metoder, med overslag over usikkerhet
  - Sannsynligheten for å påtreffe vann som kan skape driftsproblemer
  - Krav til lekkasje og omfang av injeksjonsarbeider
  - Påpekning av eventuelle forhold som kan ha betydning for borsynk og brytning, mulige strekninger med bore- og ladevansker og fare for boreavvik
  - Sannsynlighet for å påtreffe bergspenninger
  - Påpekning av usikkerheter eller spesielle risikoer
- etc.

## 3 HENSYNET TIL OMGIVELSENE, ESTETIKK

### 3.1 Generelt

Det er byggherrens ansvar å gjennomføre en vurdering av risiko for ytre miljø og sørge for at arbeidene gjennomføres i henhold til gjeldende lover og forskrifter.

### 3.2 Krav og restriksjoner

Byggefasen skal gjennomføres slik at de krav som er satt i forbindelse med utarbeidelsen av planene og gjennom godkjenning av prosjektet oppfylles.

Kravene vil blant annet omfatte følgende forhold:

- setninger, rystelser, luftsjokk, støy, utslipp
- naturmiljø, vannbalanse
- forutsetninger i vedtatte planer (spesielt reguleringsplan)
- søknads- og meldeplikt i henhold til plan- og bygningsloven og andre lover og forskrifter
- arbeidstidsbegrensninger
- nabokontakt og nærinformasjon.

### 3.3 Registreringer og måleprogrammer

Basert på utført kartlegging av forholdene og de gitte krav, foretas en vurdering av hvilke registreringer og måleprogrammer som er nødvendige for å sikre gjennomføringen.

Dette omfatter blant annet:

- behov for og omfang av bygningsbesiktigelse
- program for vibrasjonsmålinger
- behov for setningsbolter for registrering og senere kontrollmålinger
- behov for registrering av grunnvannsnivå (se punkt 2.3 og 2.4)
- målinger for dokumentasjon av vannlekkasjer i tunnel i forhold til fastsatte innlekkasjekrav
- vannkvalitet for utslippsvann fra tunnel etter forutsatt rensing
- oppfølging av vannkvalitet i resipienten
- støymålinger/beregninger for dokumentasjon av at fastsatte krav holdes i byggefasen for bygge- og anleggsstøy og i driftsfasen for vegtrafikkstøy og støy fra tekniske installasjoner (iht støyretningslinje T-1442 og klasse C i NS8175).

Basert på vurderinger som legges til grunn skal det utarbeides et detaljert måleprogram. Det skal også tas stilling til hvem som skal ha ansvaret for gjennomføring av de ulike målingene.

Vanlig ansvarsdeling mellom byggherre og den som utfører arbeidet er:

Byggherreansvar:

- fastsette nødvendige restriksjoner og krav
- eiendomsbesiktigelser
- måleprogrammer
- skadeoppgjør

Den utførendes ansvar:

- utførelse i henhold til gitte krav
- målinger der det er definert at den utførende har dokumentasjonsansvaret
- skadeansvar hvis fastsatt krav ikke er oppfylt

## 3.4 Vibrasjoner og bygningsbesiktigelse

Det skal fastsettes grenseverdier for sprengningsinduserte vibrasjoner. Metoden for å fastsette veiledende grenseverdier er gitt i NS 8141 Vibrasjoner og støt - Måling av svingehastighet og beregning av veiledende grenseverdier, for å unngå skade på byggverk.

Grenseverdiene settes for å unngå mulige skader og gjelder vibrasjoner på byggverkets fundament.

Grenseverdien angis som toppverdien for vertikal svingehastighet i mm/sek og bestemmes på bakgrunn av følgende forhold:

- grunnforhold der byggverket står
- type byggverk og tilstand av anvendte byggematerialer
- fundamenteringsmåte
- avstand til vibrasjonskilden
- type vibrasjonskilde (sprengning, riving, peling, etc.)

Ved spesielle grunnforhold, ved avstander kortere enn 5 m mellom vibrasjonskilden og berørte byggverk, og under andre spesielle forhold, bør det foretas egen risikoanalyse.

Besiktigelse og registrering av bygninger skal skje sammen med eier og utføres av en nøytral fagkyndig. Beskrivelsen suppleres med fotografier eller videoopptak.

I områder hvor det er fastsatt grenseverdier skal det alltid utføres vibrasjonsmålinger. Veiledningen i NS 8141 angir krav til måleutstyr og hvorledes måling av vibrasjoner skal utføres og rapporteres. Målingene skal sikre nødvendig dokumentasjon og gi grunnlag for løpende justeringer av salveopplegg.

Forhold som ikke er omfattet av bestemmelsene i NS 8141 gjelder eventuell fare for skadelige deformasjoner/setninger i undergrunnen på grunn av vibrasjonsinduserende virksomhet som skal vurderes spesielt. Dette gjelder også mulig skade på rystelsesutsatt inventar, dataanlegg etc. og eventuell sjenanse for beboere.

## 3.5 Krav til begrensnings av lekkasjer

### 3.5.1 Tetthetskrav

Kartlegging og vurdering av konsekvenser for omgivelsene som følge av innlekkasjer i tunnelen skal utføres som en del av forundersøkelsene, kfr. kapittel 2 Geologiske forundersøkelser.

Basert på disse skal det vurderes om det skal settes definerte krav til tetthet for tunnelen. Kravene kan variere langs tunneltraséen avhengig av forhold som influensområde, setningsømfintlighet og risiko for skadelige virkninger på omgivelsene.

### 3.5.2 Metoder for å oppnå tetthetskravene. Organisering av arbeidene

For tunneler der det er satt krav til tetthet for hele eller deler av tunnelen, er det flere forhold som krever kontinuerlig oppfølging for å sikre at kravene oppnås.

Forinjeksjon er normal tettemetode under tunneldriving (se punkt 7.2.2).

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

Der det er fare for at tetthetskravene ikke kan oppnås med systematisk forinjeksjon skal de aktuelle deler av tunnelen i tillegg kunne tettes med en membranisolert eller vanntett betongutføring dimensjonert for det aktuelle vanntrykket. Dette medfører forberedelse, for eksempel ved valg av tunnelprofil, i forbindelse med drivingen.

Vanninfiltrasjon fra terreng eller fra tunnelen kan bidra til å holde grunnvannstanden og poretrykket oppe i anleggsperioden. Effekten av vanninfiltrasjon er imidlertid vanskelig å forutsi. Vanninfiltrasjon krever også løpende ettersyn og vedlikehold. Metoden er derfor bare unntaksvis aktuell som permanent tiltak.

For å kunne utføre forinjeksjon basert på systematisk sonderboring, skal det settes kriterier for når injeksjon skal utføres basert på målte lekkasjer fra sonderingene.

For i tilstrekkelig grad å avdekke behovet for injeksjon bør antall sonderhull vurderes nøye. I en startfase bør antall sonderhull økes i forhold til det som normalt anses nødvendig.

I tillegg skal det vurderes hvilke forhold som parallelt skal følges opp for å kunne styre og justere tettearbeidene i tunnelen, slik at det ikke oppstår uforutsette konsekvenser. Dette gjelder forhold som:

- lekkasjemålinger i tunnelen. Disse utføres ved at det måles totallekkasjer ut av tunnelen og over seksjoner
- målinger av grunnvannstand, poretrykk og setninger
- registrering av vannstand i ev. vann og myrer
- inngang av vann i ev. infiltrasjonsbrønner.

All informasjon som registreres skal vurderes samlet.

## 3.6 Midlertidig utslipp av vann

### 3.6.1 *Generelt*

Det skal søkes om utslippstillatelse for midlertidige utslipp som følge av anleggsarbeidene.

De ulike utslipp kan deles inn i følgende kategorier:

Kategori A: Avløp fra sanitæranlegg i forbindelse med brakkeforlegning, kontorer mv.

Kategori B: Avløp fra verksted og vaskeplasser

Kategori C: Utslipp av driftsvann og drensvann under bygging av tunnelen (se håndbok 261 Vannbeskyttelse i vegplanlegging og vegbygging).

Søknad om midlertidig utslipp behandles av Fylkesmannens miljøvernavdeling.

Mindre anlegg av kategori A og B behandles av kommunen. Mindre anlegg kan defineres som anlegg med en belastning på mindre enn 25 personekvivalenter.

Utslipp som følge av bruk av eventuelle kjemiske injeksjonsmidler skal behandles som egen sak.

### 3.6.2 *Søknadens innhold*

1. Opplysninger om søker

Vanligvis vil søker være byggherren. Hvis andre skal stå som søker (f.eks. entreprenør) skal dette avklares med Fylkesmannens miljøvernavdeling på forhånd.

2. Orientering om prosjektet

Beskrivelse av prosjektet med angivelse av omfang og varighet. I tillegg angis riggarealer, massedeponier mv. Orienteringen skal inneholde nødvendige kartbilag.

3. Omfang av søknaden

Beskrivelse av de ulike typer utslipp med angivelse av forventet omfang, vannmengde og vannkvalitet. Når det gjelder driftsvann og drensvann under tunneldriften angis innhold av suspendert materiale, nitrogen fra sprengstoff og pH som følge av bruk av sementprodukter.

4. Beskrivelse av resipienten

Beskrivelse av vannkvalitet og vannføring over året for resipienten.

5. Rensetiltak

- Planlagte rensetiltak beskrives.

- Tiltak for avløp fra verksted og vaskeplasser dimensjoneres etter Forskrift om utslipp av oljeholdig vann; T-1043.
- Tiltak for sanitæravløp dimensjoneres etter Forskrift om utslipp fra separate avløpsanlegg; T-616.
- Driftsvann og drensvann fra tunneldriften. Normal rensemetode vil være bruk av oljeutskiller og sedimenteringsbasseng. Ved svært sårbar resipient kan ytterligere rensing utføres med sandfilter.

6. Vurdering av utslippet (miljøriskovurdering)

Det gis en oversikt over brukerinteressene for resipienten samt en vurdering av mulige effekter av utslippet.

7. Øvrige opplysninger:

Følgende forhold skal også omtales i søknaden:

- sivevann fra massedeponi
- rutiner for tømming av slam og olje fra oljeavskiller
- sikring av olje- og drivstofflager.

### **3.6.3 Kontroll og tilsyn**

Vanligvis kreves et program for overvåking av vannkvaliteten på avløpsvannet etter rensing og en tilsvarende oppfølging av vannkvaliteten i resipienten.

Sammen med utslippssøknaden skal det vedlegges et forslag til et kontroll- og overvåkingsprogram som har til hensikt å sikre at rensetiltakene fungerer som forutsatt.

## **3.7 Permanent utslipp av vann**

Det er ikke krav om søknad for permanent utslipp av drensvann.

Ved planlegging av tunnelen skal det tas hensyn til hvilke forutsetninger som vil bli lagt til grunn når det gjelder renhold som del av drift og vedlikehold.

Som hovedregel skal det legges opp til en vaskefrekvens som sikrer at det ikke kreves spesielle tiltak for å samle opp vaskevannet utenfor tunnelen.

For tunneler med lange intervaller mellom vasking eller spesielt store trafikkmengder, skal det vurderes om vaskevannet kan bli så forurenset at det er nødvendig at utslippssystemet utenfor tunnelen utformes slik at eventuelt miljøfarlig vaskevann kan håndteres.

## **3.8 Bruk av kjemikalier i tunnelarbeider**

Ved bruk av kjemiske injeksjonsmidler eller andre kjemikalier, er produsent, importør og/eller omsetter av slike stoffer pålagt å utarbeide og utlevere dokumentasjon (HMS-datablad). Produktdataene skal blant annet angi kjemisk sammensetning, helse- og miljøfare og forebyggende tiltak.

Prosedyre for anskaffelse av helse- og miljøfarlige kjemikalier er gitt i håndbok 214 Helse, miljø og sikkerhet (HMS). Dersom kjemiske stoffer med negative miljøeffekter brukes skal i henhold til produktkontrollloven det minst miljøskadelige alternativet velges dersom det ikke medfører urimelig ulempe eller kostnad.

Forholdene i resipienten skal kartlegges med hensyn til vannmengder, og på grunnlag av dette beregnes eventuelle fortyngninger. I tillegg kartlegges brukerinteresser, biologiske forhold mv. i resipienten.

Vurdering av miljørisiko ved å benytte de aktuelle stoffene foretas av fagkyndig personell.

Viser miljørisikovurderingen at det er fare for forurensning av det ytre miljø, skal byggherren sørge for å innhente nødvendig tillatelse fra forurensningsmyndighetene.



## 3.9 Utslipp av gasser og partikler

### 3.9.1 Konsekvensvurderinger av utslipp

I vegtunneler er ventilasjonsløsningen av avgjørende betydning for mengden av utslipp og utslippssted. I forbindelse med reguleringsplanarbeidet skal det utføres en konsekvensvurdering av tunnelventilasjon, herunder en vurdering av eventuelle behov for og plassering av ventilasjonstårn, rensetiltak mv.

I konsekvensvurderingen beregnes luftforurensningsnivå ved boliger i forhold til Statens forurensningstilsyns anbefalte luftkvalitetskriterier. Det skal samtidig sikres at ikke grenseverdiene i forskrift til forurensningsloven om lokal luftforurensning og støy overskrides.

Ut fra beregnet forurensningskonsentrasjon i utslippet skal graden av luftforurensning på de nærmeste omgivelsene vurderes. Med grad av luftforurensning menes en sammenligning basert på luftforurensningsnivå og Statens forurensningstilsyns anbefalte luftkvalitetskriterier (se tabell 3.1).

For vurdering og beregning av luftforurensning fra vegtunneler, se vedlegg A.

Det må sikres at ventilasjonsløsningen ikke overskrider krav til lydnivå fra tekniske installasjoner i klasse C i NS 8175 i forhold til nærliggende bygg.

### 3.9.2 Anbefalte luftkvalitetskriterier

**Tabell 3.1** Anbefalte luftkvalitetskriterier for luft utenfor tunnel

Grenseverdier	Måleenhet	Midlingstid *	
		1 time	24 timer
NO <sub>2</sub>	µg/m <sup>3</sup>	100	-
Svevestøv PM <sub>10</sub>	µg/m <sup>3</sup>	-	35
Svevestøv PM <sub>2,5</sub>	µg/m <sup>3</sup>	-	20

\* Midlingstid er det tidsrom som det gjennomsnittlige forurensningsnivået skal beregnes for. (Fra rapport TA-2251/2007: Helseeffekter av luftforurensning i byer og tettsteder i Norge.)

### 3.9.3 Utslipp gjennom ventilasjonstårn

Dersom det er vanskelig å oppnå de anbefalte luftkvalitetskriteriene 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. Ventilasjonsluftens jetstrøm rettes vertikalt oppover. Dette innebærer at forurensningene blir tynnet ut før de når bakken.

Høyde og tverrsnitt på tårn bestemmes av luftmengde og krav til luftkvalitet på bakkenivå. I tillegg skal det tas hensyn til fare for støy fra ventilasjonstårnet, ventilasjonsvifter etc., spesielt ved høye lufthastigheter.

## 3.10 Støy nær tunnelåpninger

I nærheten av tunnelportaler finnes to bidrag til støynivået:

- støy fra åpen vegstrekning utenfor tunnelen
- støy fra selve tunnelen/tunnelåpningen

Miljøverndepartementets rundskriv T-1442 Retningslinje for behandling av støy i arealplanlegging angir veiledende grenseverdier for støy ved nyanlegg og anlegg som krever nye planer iht. plan- og bygningsloven.

En enkel metode for beregning av støyutstråling fra vegtunneler som er egnet for å vurdere behovet for tiltak er vist i vedlegg B. Metoden gir beregnet lydnivå fra tunnelåpningen. Summert med bidraget fra vegstrekningen utenfor tunnelen, gir dette totalt lydnivå i mottakerpunktet. Totalnivået sammenlignet med veiledende retningslinjer avgjør om det er behov for å gjennomføre støyreduserende tiltak.

## 3.11 Estetikk

### 3.11.1 Estetikk og kjøreopplevelse, overordnede mål

Som regel er tunneler en del av et mer omfattende veganlegg som igjen er en del av en vegrute. Tunnelprosjekter planlegges som en sekvens av vegruten den inngår i. Lengre tunneler kan deles inn i flere sekvenser.

Kjøreopplevelsen i bil består av bevegelse og rom som blir opplevd i en kontinuerlig rekke sekvenser. Tunnelprosjekter kan lokaliseres og utformes slik at:

- reisen blir en sammenhengende og positiv opplevelse
- dagsonene får en god landskapsarkitektonisk utforming i forhold til omgivelsene.

For lengre tunneler vurderes i tillegg at de:

- opprettholder kontinuiteten i reiseopplevelsen
- gir den vegfarende mulighet til å lokalisere seg i forhold til hovedfenomenene i det landskapet tunnelen går gjennom
- gir en forståelse av eller kunnskap om området den går gjennom
- har kontraster med gode overganger samt rytme og balanse i linjeføringen
- består av flere delmål.

### 3.11.2 Estetisk utforming av dagsonene

#### 3.11.2.1 Generelt

Dagsonen omfatter hele området som blir berørt ved etablering av påhugg. Det vil si forskjæring i jord/berg, vegetasjon, påhugg mv. Dagsonen utformes som en del av omgivelsene, og slik at den inngår som en positiv del av kjøreopplevelsen.

Forskjæringer og tunnelpåhugg vil ofte medføre vesentlige landskapsinngrep. Dette stiller spesielt store krav til både lokalisering og utforming av dagsonen. Skredfare og flomfare skal vurderes spesielt, se kapittel 2 Geologiske forundersøkelser og kapittel 7 Arbeider foran stuff, stabilitetssikring og vann- og frostsikring.

Tunnelpåhugget skal lokaliseres slik at dagsonene gir minst mulig inngrep i terrenget. Sår i landskapet som følge av uheldig lokalisering skal rettes opp med nødvendige tiltak. Visuelle kontraster som er skjemmende bør ikke forekomme.

Dagsonene kan lokaliseres og utformes på to prinsipielt ulike måter. Anleggene kan:

- gis en formmessig forankring i eksisterende landskapsform
- fremstå som en positiv visuell kontrast til landskapsformen.

Positiv kontrast vil i de fleste tilfeller si at dagsoneanlegget behandles og utformes ut fra en formmessig idé som spiller opp mot det overordnede landskapsrommet på en positiv måte uten at dagsoneanlegget underordnes formmessig eller forsøkes gjemt bort. Et slikt byggverk/terrengform bør ha:

- god utforming
- god håndverksmessig utførelse
- materialer som gir tidløs kvalitet.

Se eksempel i figur 3.1.

For vurderinger av lysforhold utenfor tunnelen, se punkt 10.3.2.



**Figur 3.1** Tunnel på riksveg 15. Eksempel på selvstendig byggverk som visuelt inngår på en positiv måte i det store landskapsrommet. Byggverket er utformet med materialer og håndverk som gir en tidløs kvalitet (Foto: Astrid Taklo).

### 3.11.2.2 Lokalisering

Lokalisering av dagsonen til terreng som skifter relativt brått fra slakt til bratt er best egnet ut fra estetiske synspunkt. Slake terrengformasjoner gir lange forskjæringer og store sår i landskapet (figur 3.2). Det er svært kostnadskrevende å støpe lange portaler, slake av sideterreng (figur 3.3) eller gjøre andre tiltak for å sette området i stand.

Såfremt det er mulig lokaliseres tunnelpåhugget slik at:

- retningen på dagsonen følger retningen på landskapsformen
- vegen kommer vinkelrett inn mot den naturlige bergoverflaten i påhuggsområdet
- forskjæringene i jord/berg blir minst mulig.



**Figur 3.2** Dagsone i terreng med slak helling. Forskjæringene blir lange og dype, og gir en lite positiv opplevelse av inngangen til tunnelen. Ill.: Ingeborg Langeland Degnes.

Lange forskjæringer i dalsider bør i unngås fordi de som regel vil ligge svært eksponert. For anlegg som må ligge i dalsider vurderes fjernvirkningen spesielt.

I byer og tettsteder bør det tilstrebes å lokalisere dagsonene til områder som ikke har visuell kontakt med den tette og middels tette bebyggelsen. Der dette ikke er mulig, tas utgangspunkt i eksisterende bebyggelse og gatestruktur, slik at portalområdet bryter minst mulig med denne strukturen. I tettbebyggelse bør dagsonene begrenses i størst mulig grad.



**Figur 3.3** Dagsone i terreng med slak helling. For å unngå sjaktfølelsen ved innkjøringen til tunnelen, er terrenget sterkt bearbeidet. Ill.: Ingeborg Langeland Degnes.

### 3.11.2.3 Utforming

#### Utforming av terreng og bygningsmessige konstruksjoner

Dagsonen inklusive tunnelportalen utformes med utgangspunkt i omgivelsenes karakter. Det vil si at den gis en formmessig forankring i eksisterende landskapsform. Terreng og/eller bygningsmessige konstruksjoner som portaler og lignende formes bevisst ut fra en formmessig idé som kan fremstå som et positivt bidrag til landskapsbildet.

I landskapstyper hvor dagsonen er lokalisert til en dalside stilles det spesielle krav til utforming av denne sonen. I mange tilfeller vil utforming som gir en formmessig positiv kontrast være aktuell i slike situasjoner.

Når dagsonene skal gis en forankring i landskapsformen bør den i størst mulig grad se ut som en naturlig del av landskapet. Utformingen skal omfatte:

- plassering av påhugg
- lengden på portalen
- sidearealene inn mot portalåpningen
- portalbygget.

Tunnelen bør ikke begynne i en vertikalkurve.

Sidearealene inn mot portalåpningen bør gis et mest mulig rolig og harmonisk uttrykk. I større trafikklanskap kan terrengformer og beplantning brukes til å dele landskapet inn i mindre landskapsrom.

Terrengformingen bør i størst mulig grad:

- gi dagsoneanlegget et åpent preg
- begrense synlige bergskjæringer.

Dagsonene i relativt slakt terreng krever ofte en mer omfattende bearbeiding for at kjøreopplevelsen skal bli god.

### Eksisterende og ny vegetasjon

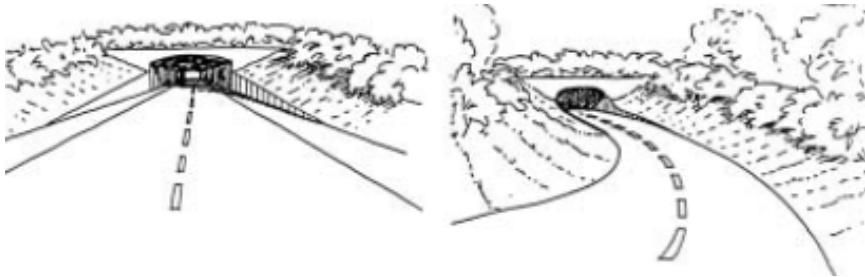
Ved etablering av tunnelpårugg bør bevaring av eksisterende vegetasjon vektlegges spesielt. Vegetasjonsområdene kan sikres slik at den enkelte grunneier ikke feller trær som er av visuell betydning for portalområdet. Dette kan gjøres enten ved hjelp av grunnerverv eller skriftlig avtale med grunneier.

I tillegg vurderes behovet for ny vegetasjon. Ny vegetasjon kan etableres slik at den inngår som en naturlig del av landskapet for øvrig, som regel ved å bygge videre på det eksisterende overordnede vegetasjonsmønsteret. I tillegg kan solitærtrær eller treklynger brukes som enkeltelementer. Denne type vegetasjon kan gi trafikanten en ekstra opplevelse på turen. For øvrig er det gitt generelle prinsipper for etablering av vegetasjon i håndbok 017 Veg- og gateutforming.

Vegetasjon er spesielt viktig i portalområdene, fordi den kan bidra til å dempe og innordne inngrepet i resten av landskapet (figur 3.4). Bevisst bruk av vegetasjon kan dempe noe av inntrykket av nødvendig teknisk utstyr i dagsonen, for eksempel brukt som bakgrunn for skilt og annet utstyr.

Vegetasjonen i området planlegges både på kort og lang sikt. Før eksisterende vegetasjon hogges kan det for eksempel etableres nye vegetasjonsområder som etter hvert tar over for den eksisterende.

Ved tunnelåpninger vil det ofte være trekk og urolig luft. Det bør derfor velges arter tilpasset det spesielle lokalmiljøet.



**Figur 3.4** Eksempler på utforming av tunnelportal med beplantning

### Utforming av tunnelportal og andre konstruksjoner

Den praktiske funksjonen til en tunnelportal er å skjerme vegen mot nedfall av stein og blokker, samt sikre mot snø, is og vann (se punkt 4.3.2).

Den estetiske funksjonen til en tunnelportal er å formidle overgangen fra landskapsrommet til tunnelrommet, ved at formen på portalen harmonerer både med landskapets linjer og med tunnelprofilet. I naturlandskapet vil en myk form som regel være riktig.

Portalene kan utformes rett eller skrått avskåret. Dette avhenger av terrenget. Skrå avskjæring passer som regel best for portaler som skal overfylles. Portalen gis samme helling som de tilbakefylte massene. Hellingen på massene som tilbakefylles avhenger av terrenget rundt. Godt resultat oppnås lettest dersom hellingen på de tilbakefylte massene stemmer med hellingen på nytt terreng.

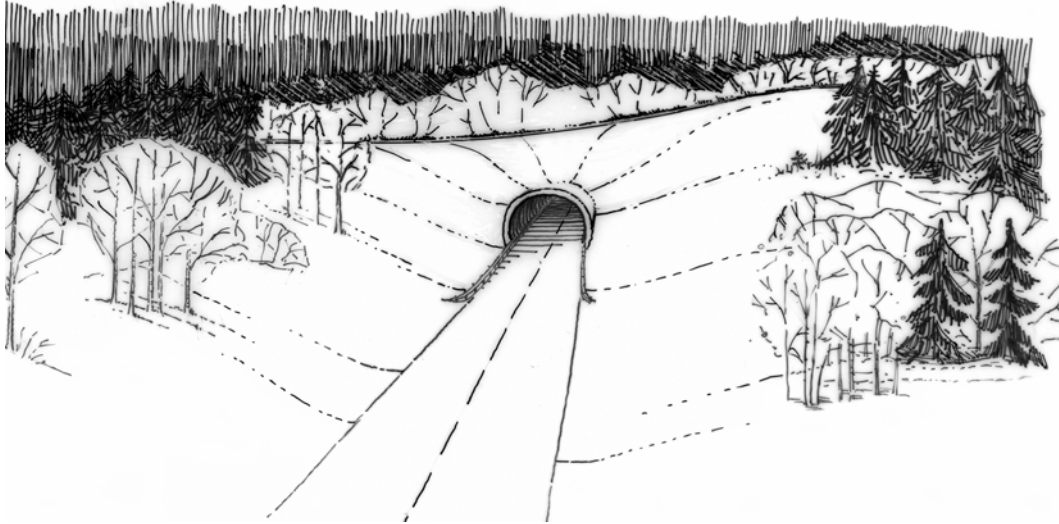
I en bymessig situasjon kan portalen gis en bevisst arkitektonisk utforming som har sammenheng med byrommet for øvrig. Eksisterende og planlagt bebyggelse og konstruksjoner er premissgiver for formgivning.

Sidevangene i en nedramping bør ikke legges høyere enn 1 meter 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.

Bruer og andre konstruksjoner foran tunnelen bør unngås. Der dette ikke kan unngås bør det være samsvar mellom formspråket for konstruksjon og tunnelportal. I tillegg bør konstruksjonens retning samsvare med retningen på tunnelportalen.

Skrålinjer som dannes av kryssende veger bak eller over portalen bør også unngås, se figur 3.5. Der en veg krysser nær tunnelportalen, kan det være bedre å legge vegtraséen over portalen istedet for i en bru rett foran

portalen. Portalen bør bygges lang nok til at det blir plass til en visuell skjerm mellom portalen og vegen som krysser over. En slik skjerm kan bygges opp ved hjelp av terrengformer eller vegetasjon, eller begge deler i samspill.



**Figur 3.5** Eksempel på uheldig løsning med kryssende skrålinje bak portal. III.: Ingeborg Langeland Degnes.

#### 3.11.2.4 Plassering av vegutstyr og skilt

I området foran en tunnel blir det som regel mye utstyr. For å unngå et visuelt kaos i disse områdene, bør mengden og størrelsen på skilt og utstyr reduseres mest mulig. Nødvendig skilt og utstyr plasseres i god avstand fra portalen. Den siste lysmasten før tunnelportalen bør ikke plasseres nærmere portalen enn halvparten av den normale masteavstanden.

Type og plassering av skilt og vegutstyr ses som en helhet og planlegges sammen med utformingen av portalen og portalområdet. Plasseringen av hvert enkelt element ses i forhold til øvrig utstyr. Overhengende skilt bør unngås foran portaler.

#### Master for kommunikasjon og kringkasting

Lokalisering av nye master og avstand til teknisk rom bestemmes ut fra radiotekniske målinger. Masten kan skjules eller dempes av for eksempel vegetasjon, men antennene i masten skal ha fri sikt i den retning de skal peke.

Ved eksponering av masten vurderes utforming og fargesetting av masten. Fargen avhenger av omgivelsene, men i de fleste tilfeller velges en mest mulig nøytral farge som demper inntrykket av masten. For eksempel vil masten, dersom den ses mot en mørk bakgrunn, dempes bedre med en mørk grønnlig farge enn en lys grå dersom den ikke fargesettes.

#### Sikringsgjerder

Gjerde rundt portalområdet bør trekkes så langt unna at det ikke blir visuell kontakt med portalen. Eventuell beplantning og/eller terrengforming kan benyttes som visuell skjerm.

#### Støyskjermer

Støyforhold utenfor tunnelåpningen er omtalt i punkt 3.10. Støyskjermen tilpasses portalen og omgivelsene når det gjelder materialbruk, formuttrykk og farge.

### ***3.11.3 Estetisk utforming av tunnelen***

#### *3.11.3.1 Generelle mål*

Tunnelrommet gis en bevisst utforming som utnytter:

- variasjonsmuligheter som gis av interiøret
- lys til å bryte monotonien
- variasjoner som linjeføring og geometri gir mulighet for.

For belysning i tunnel, se punkt 10.3.3.

#### *3.11.3.2 Estetikk og linjeføring*

Krav til linjeføring er gitt i punkt 4.2.

Vegens linjeføring kan danne grunnlag for en inndeling av tunnelen i sekvenser og rom som gir en god kjøreopplevelse, for eksempel ved å tilstrebe en kombinasjon av kurvepunktene i horisontal- og vertikalplanet som gir en markert romoppdeling. Lengden på rommene:

- ses i sammenheng med kurvens lengde og radius
- tilpasses lengden på inngangssonene, overgangssonene og den indre sonen
- tilpasses fartsnivået.

Den vegfarende legger merke til objekter som er rett frem i bilens retning. En kurvet tunnel vil således gjøre at man ser en større del av veggene enn i en rett tunnel.

#### *3.11.3.3 Utforming av tunnelrommet*

Tunnelrommet planlegges ut fra en formmessig idé som gir en annen type opplevelse enn veg i dagen. Utformingen blir et samspill mellom vegens linjeføring, belysning, form og farge og/eller overflatebehandling på vegger og tak samt plassering og form på inventaret som skilt og annet utstyr.

Det skal velges belysning med god fargegjengivelse (kapittel 10). Spesielt i lange tunneler er det aktuelt å legge vekt på å bryte monotonien ved å skape variasjon ved hjelp av lys. Havarinisjer og snunisjer skal belyses særskilt (punkt 10.3.3).

Ved særlig lange tunneler kan det tenkes at tverrsnittet bør varieres noe gjennom tunnelen, og bidra til å bryte den rommessige monotonien trafikantene blir utsatt for. Teknisk sett bør dette kunne løses gjennom en bearbeiding av planlagte elementer som havarinisjer, snunisjer mv.

## 4 GEOMETRISK UTFORMING

### 4.1 Generelt

Veg i tunnel skiller seg fra veg i dagen blant annet på grunn av:

- liten eller ingen sideaktivitet
- andre forhold vinterstid
- jevne lysforhold over døgnet og året, bortsett fra overgang inn og ut av tunnelen
- at det er vanskelig å bedømme stigning og fall
- at det er vanskelig å bedømme avstanden til neste kjøretøy
- andre forhold som vedrører sikkerhet, evakuering, redning etc.

Dette gjør at flere utformingslementer er annerledes enn for veg i dagen.

Viktige elementer i denne forbindelse er:

- valg av riktige konstruksjons- og utstyrløsninger i plan- og byggefasen med tanke på drift, vedlikehold og levetidskostnader
- å tilstrebe en ensartet standard for tunneler av samme type og trafikkmengde når tunnelene ligger på samme vegstrekning

Kravene til standard øker med økende trafikkmengde og tunnellengde. Tunnelene er derfor delt inn i tunnelklasser som er bestemmende for geometri og utrustning.

Vegens horisontale og vertikale profil og tverrsnittsgeometri i og utenfor tunnelen utformes spesielt med tanke på sikkerhet, da dette har stor innvirkning på sannsynligheten for ulykker og for hvor alvorlige de blir.

Støtpute eller andre godkjente rekkverksløsninger skal benyttes ved avramper og andre utforminger som gir farlige sidehinder (se håndbok 231 Rekkverk).

Endeavslutning på utstøping skal utformes slik at sikkerhet ved påkjørsel er ivaretatt. Dette oppnås ved skrå avslutning 1:10 i minimum 0,9 meter over kjørebanelnivå.

For utforming under vegbanenivå henvises til kapittel 8 Drenering, og kapittel 9 Vegfundament og vegdekke.

Alle nybygg i Statens vegvesens regi skal være basert på prinsipper for universell utforming. Ved oppgradering av eksisterende tunneler skal mulige tiltak knyttet til universell utforming vurderes (kfr. håndbok 278 Veileder i universell utforming).

Ved geometrisk oppgradering av eksisterende tunneler bør fri høyde legges på minimum 4,2 m og kjørefeltbredder følge standard krav for nye tunneler. Dette vurderes spesielt i hvert tilfelle ut fra stedlige forhold samt nytte/kostnad for tiltakene.

En bør tilstrebe å begrense tunnellengden for bytunneler og motorvegtunneler til maksimum 4 km. En dagsone på 200 m eller mer vil være en effektiv sperre for spredning av røyk og ekstreme temperaturer i tunnelen ved en eventuell brann.

For branndimensjonering, se punkt 5.4.

### 4.2 Linjeføring

#### 4.2.1 Generelt

Antall kjørefelt i hver retning skal ikke reduseres inne i tunnelen. Et forbikjøringsfelt som påbegynnes inne i tunnelen skal avsluttes utenfor. Avstanden fra tunnelåpningen til starten på innsnevringen skal være minst den lengde et kjøretøy tilbakelegger på 10 sekunder når det kjører i høyeste tillatte fart. Dersom dette ikke er mulig



skal det treffes ekstra og/eller forsterkede tiltak for å forbedre sikkerheten. Tiltak dokumenteres gjennom en risikoanalyse.

Kravene til linjeføring i tunneler bygger på det samme teoretiske grunnlag som for veg i dagen. På grunn av tunnelveggen nært inn til kjørebanelen blir imidlertid rutinene for prosjektering av horisontalkurvatur i tunnel noe annerledes enn for veg i dagen (se punkt 4.2.2).

En veks linjeføring bestemmes ut fra:

- Vegens funksjon
- Dimensjonerende trafikkmengde
- Fartsgrense med tilhørende siktkrav

Med dette som utgangspunkt er det definert et antall dimensjoneringsklasser for veg i dagen i håndbok 017 Veg- og gateutforming. Veg i tunnel skal dimensjoneres med de samme forutsetninger når det gjelder linjeføringskravene som veg i dagen. Geometriskravene finnes i håndbok 017 for dimensjoneringsklassen som er fastsatt for strekningen den aktuelle tunnelen er del av.

## 4.2.2 Horisontalkurvatur

Som absolutt minimum skal kravene til horisontalkurvatur, ut fra friksjon og overhøyde for fri veg også tilfredsstilles i tunnel. I et normalt tunnelprofil vil tunnelveggen utgjøre et sikthinder og krav til sikt vil normalt bli dimensjonerende for horisontalkurveradius i tunneler.

Siktkravene varierer med dimensjoneringsklasse og stigning. Kravene finnes i håndbok 017 for aktuell dimensjoneringsklasse. For toløps tunneler vil krav til stoppsikt bestemme minste horisontalkurveradius for hvert av løpene. For enfeltstunneler med toveis trafikk (tunnelklasse A) skal krav til møtesikt tilfredsstilles.

Krav til breddeutvidelse er som for veg i dagen.

Dersom det er nødvendig eller ønskelig med horisontalradius mindre enn at krav til sikt tilfredsstilles, skal tunnelbredden utvides i innerkurve.

Sammenhengen mellom horisontalkurveradius (R), siktkrav ( $L_S$ ) og avstand fra bilførerens øye til tunnelveggen (B) er gitt ved formelen:  $R = L_S^2 / 8B$  [m]. Krav til sikt avhenger av dimensjoneringsklasse for tilstøtende veg og framgår av tabell 4.1. Se figur 4.1.

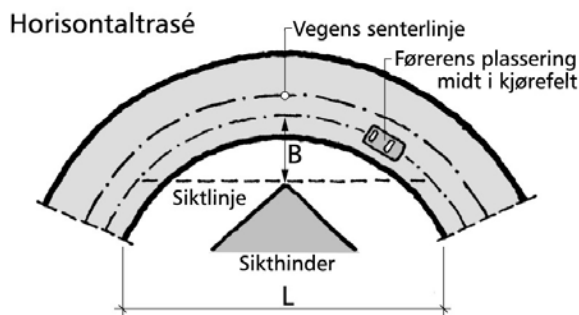
**Tabell 4.1** Dimensjoneringsklasse etter håndbok 017 og siktkrav i tunnel

Dimensjoneringsklasse (hb 017)	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
Stoppsiktkrav ( $L_S$ ) i meter	63	105	147	118	147	63	118	201	201

Øyepunktet forutsettes å ligge 1,1 m over kjørebanelen og midt i kjørefeltet.

Formelen over brukes for å beregne minste horisontalkurveradius i tunnel dimensjonert for sikt, og eventuell utvidelse av tunnelprofilen ved bruk av krappere horisontalkurver.

Se også håndbok 265 Linjeføringsteori.



**Figur 4.1** Prinsippskisse for siktkontroll, horisontalkurvatur (fra håndbok 265: figur 5.2).

I hver ende av tunnelen anbefales det å legge inn en kurve både for å hindre forbikjøring og unngå at dagslyset i åpningen forverrer synsforholdene for trafikantene. I spesielt lange tunneler (> 6 km) bør det legges inn lange, slake kurver for å bryte monotonien.

Horisontalkurvaturen bør velges konstant i 2/3 av stoppsikt innenfor og utenfor tunnelåpningen.

### 4.2.3 Vertikalkurvatur

Med unntak for undersjøiske tunneler skal ikke veg i tunnel bygges med mer enn 5 % stigning.

Veg i undersjøiske tunneler skal ikke overskride kravene til stigning gitt i tabell 4.2.

**Tabell 4.2** Maksimal stigning for veg i undersjøiske tunneler

ÅDT (20)	Toveis trafikk		Ensrettet trafikk	
	0 – 1 500	> 1 500	< 15 000	> 15 000
Maks. stigning	8 %	7 %	7 %	6 %

Se punkt 4.4 Valg av tunnelklasse for definisjon av årsgjennomsnittlig trafikk – ÅDT.

ÅDT-verdiene for ensrettet trafikk i tabell 4.2 gjelder begge tunnellop samlet.

ÅDT-verdiene i tabell 4.2 gjelder vegstrekninger med en normal trafikkfordeling over året og med en tungtrafikkandel jevnt fordelt over året på 10 – 15 %.

I bynære områder med typiske morgen- og ettermiddagsrush, hvor tungtrafikkandelen i maksimumstimen er mindre enn 7 %, kan ÅDT-verdiene i tabell 4.2 økes med 25 %.

Veg i undersjøiske tunneler, av lokal karakter og med små trafikkmengder, kan bygges med stigning opp til 10 %. Dette skal godkjennes av Vegdirektoratet i hvert enkelt tilfelle.

For vertikalkurveradius finnes kravene i håndbok 017. Tunneler med stigning mer enn 5 % skal skiltes spesielt, se punkt 6.2.

### 4.2.4 Forbikjøringsmuligheter

Krav til forbikjøring for veg i dagen er gitt i håndbok 017. Veg i tunnel unntas fra forbikjøringskravene i håndbok 017. Det kan likevel være aktuelt å legge til rette for forbikjøring i tunnel. Forbikjøringsmuligheter sikres ved å sørge for at sikten er tilstrekkelig eller ved å anlegge ekstra kjørefelt, se punkt 4.2.1. Behovet for forbikjøringsfelt i stigning vurderes på grunnlag av kapasitetsberegning.

I tunneler med toveisrafikk og med stigning  $\geq 5\%$  (se punkt 4.2.3) over en lengde mer enn 1 km, bør et eget forbikjøringsfelt anlegges når ÅDT er større enn 2 500. Feltet begynner senest der fartsdifferansen mellom tungt og lett kjøretøy blir 15 km/t eller mer, og bør være minst 1 km langt.

I tunneler hvor forbikjøringsmuligheter sikres med tilstrekkelig sikt, anbefales det å benytte meget slake kurver. Dette gjelder også for tunneler med forbikjøringsfelt i lange stigninger for å gi muligheter til forbikjøring for trafikken i retningen med kun ett felt (nedover).

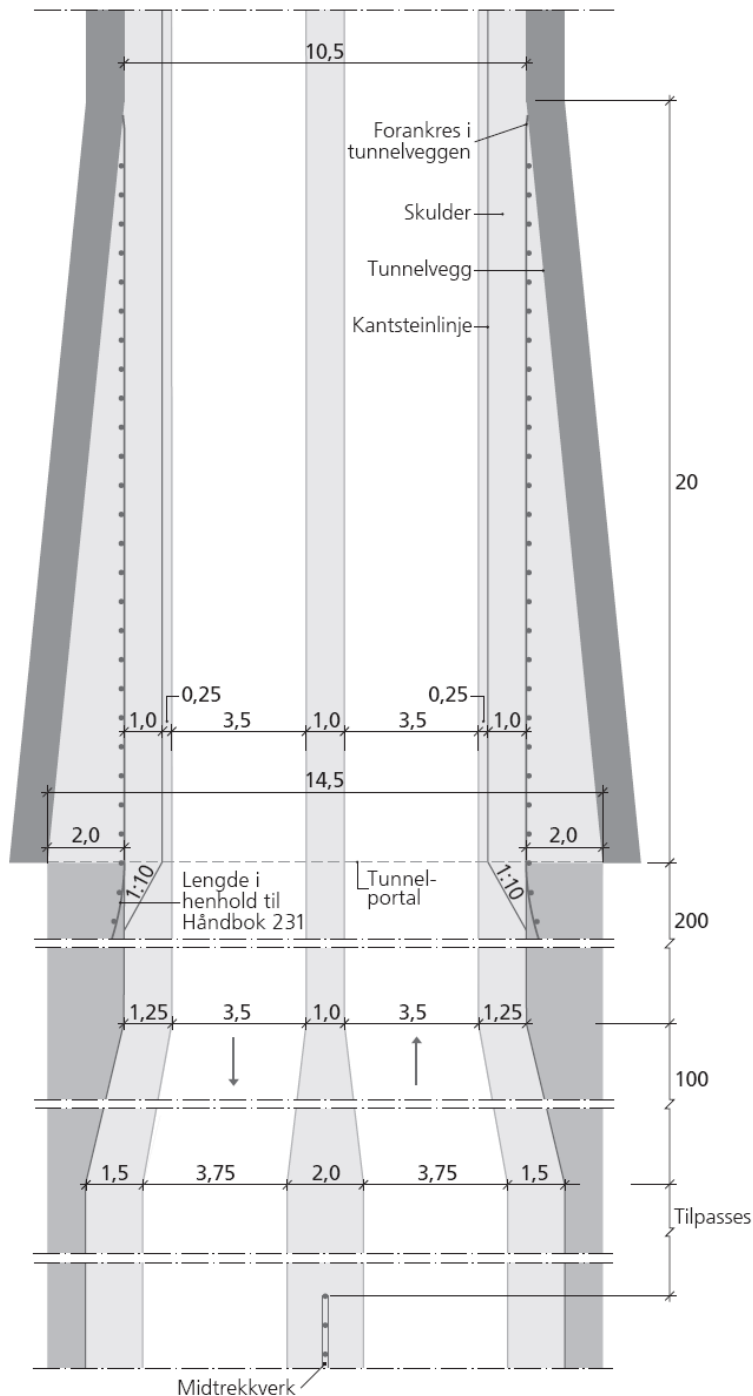
## 4.3 Overgangssone mellom veg i dagen og veg i tunnel

### 4.3.1 Utforming av overgangssone utenfor tunnelåpningen

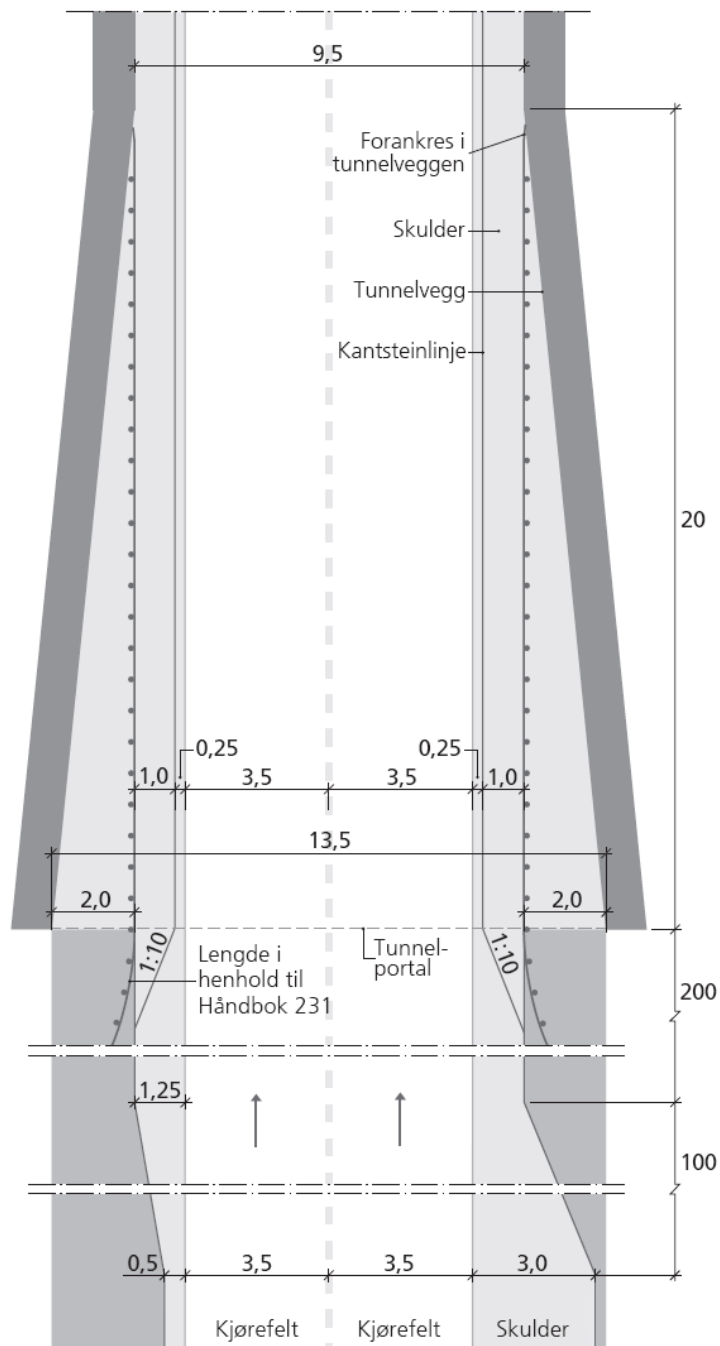
Det skal være en overgangssone mellom skulderbredden på veg i dagen og skulderbredden på vegen i tunnel. Overgangssonen skal være 100 m lang og være utformet som en lineær overgang. Overgangssonen skal være avsluttet 200 m før tunnelportalen.

Overgangssonen mellom T10,5 i tunnel og dimensjoneringsklasse S5 i dagen (veg med midtrekkverk) skal utformes på følgende måte: Regnet utover fra tunnelåpningen bygges de første 200 m med bredde 10 m (1 - 3,5 - 1 - 3,5 - 1 m) uten midtrekkverk. Over de neste 100 m bygges overgang til 12,5 m bredde (1,5 - 3,75 - 2 - 3,75 - 1,5 m). Deretter følger midtmarkører, støtabsorbering og midtrekkverk (se figur 4.2). Strekningen fra tunnelen til midtrekkverket skal ha minimum 450 m horisontalkurveradius. Trafikk som kommer ut av tunnelen skal ha stoppsikt mot starten på midtrekkverket. Fartsgrense i slik tunnel vil normalt være 80 km/t eller hva som følger av fartsgrensekriteriene. Fartsgrense på veg med midtrekkverk vil normalt være 90 km/t. Dagsone mindre enn 1 km mellom tunneler bør ikke ha midtrekkverk, her bygges 10 m bredde gjennomgående.

Skisse av overgangssone for toløpstunneler er vist i figur 4.3.



**Figur 4.2** Overgangssone mellom tunnel (tunnelprofil T10,5) og veg i dagen med midtrekkverk.



Figur 4.3 Overgangssone mellom tunnel og veg i dagen for toløpstunneler.

### 4.3.2 Portaler

For å eliminere trafikkfare ved utrasing av blokker eller stein, ved snøskred, nedfallende is eller liknende og for å hindre at vann renner ut over påhugget og ned i vegbanen, skal det bygges portaler i tunnelmunningene. Portalen føres tilstrekkelig langt ut fra påhugget slik at den tar imot nedfall av stein og is.

I tillegg skal det sikres at forskjøringen inn mot portalen har tilstrekkelig bredde ut fra plassbehov ved mulig nedfall av is, snø eller stein (se håndbok 018 Vegbygging) og plassbehov for portalstøp.

Lengden på portalen utenfor tilbakefyllingsmasser bør være 1 - 2 meter. Portalen skal avsluttes med en oppstikkende krage på minimum 300 mm.

Portalene utføres i plasstøpt betong eller ved bruk av betongelementer og består av en kontaktstøpt del og en frittstående del.

Av trafikksikkerhetsmessige grunner skal det legges særlig vekt på vanntett utførelse.

Vanntett utførelse av selve portalen ivaretas i hovedtrekk som følger:

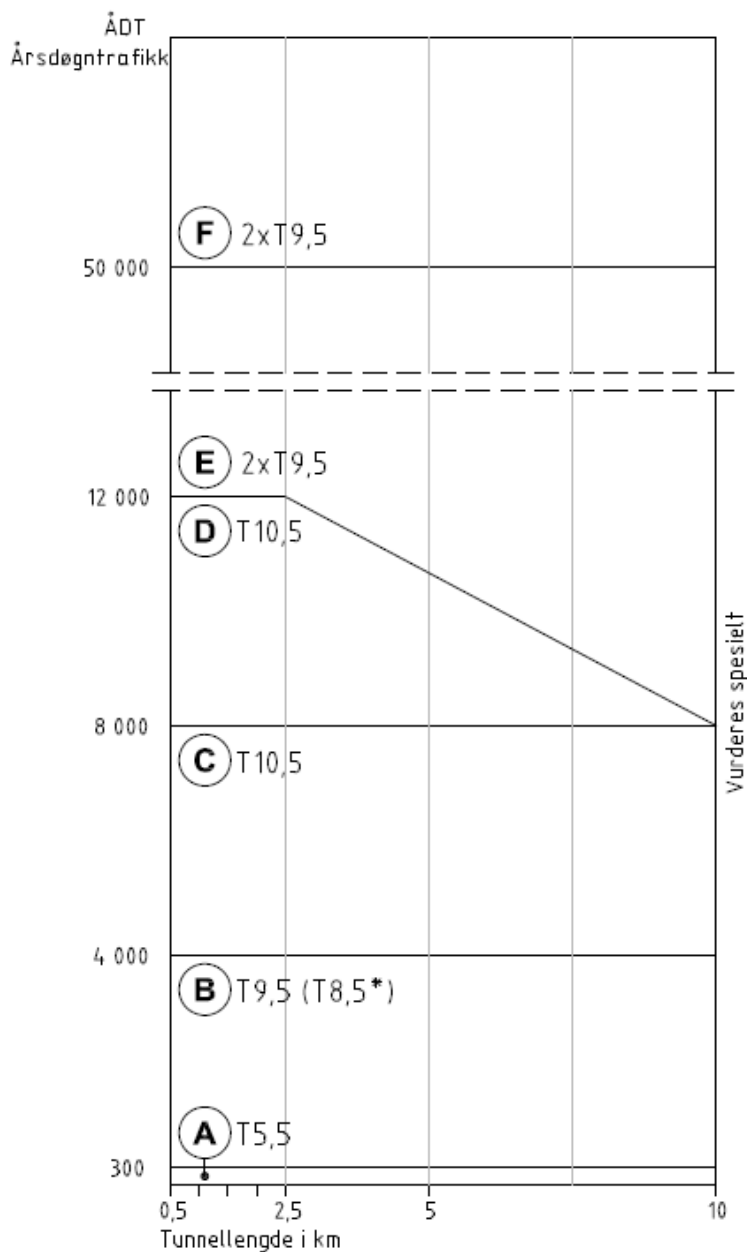
- Kontaktstøpt del skal støpes mot en membran som føres ned til drenasjenivå i tunnelsålen
- Det benyttes utvendig membran på frittstående del
- Ved risiko for nedfall og skred på portal vurderes behov for beskyttelse/støtpute i hvert enkelt tilfelle
- Støpeskjøter sikres ekstra ved at det legges inn slanger for eventuell injeksjon.

Tunnelportaler bør bygges med traktform for å redusere påkjørselsskaden. For alle tunneler skal portalkanter i en høyde 0,9 m være skjermet med rekkverk som føres inn mot tunnelen med økende stivhet og forankres i portalenes innside.

For estetisk utforming av påhuggsområdet inkludert portaler henvises til punkt 3.11 Estetikk.

Behovet for portaler for rømningsstunneler og nødutganger til det fri (se tabell 5.1) vurderes spesielt.

## 4.4 Valg av tunnelklasse



**Figur 4.4** Tunnelklasser.

\* Tunnelklasse B: tunnelprofil T8,5 kan benyttes ved  $\text{ÅDT} \leq 1\,500$ , forutsatt at sikkerheten er ivaretatt.

Tunnelene inndeles i tunnelklasser basert på trafikkmengde og tunnellengde, se figur 4.4. Trafikkmengde angis som årsgjennomsnittlig døgntrafikk (ÅDT). ÅDT er total trafikkmengde pr. år dividert med 365 og angis som sum trafikk i begge retninger.

Tunnelklasse skal velges ut fra den trafikkmengde som kan forventes 20 år, ÅDT (20), etter at tunnelen er åpnet for trafikk.

Ved ujevn trafikkmengde over døgnet eller over året, eller hvis det er stor usikkerhet i beregningsgrunnlaget for ÅDT(20), anbefales tunnelklasse valgt ut fra en spesiell vurdering. En slik spesiell vurdering for valg av tunnelklasse skal være basert på risikoanalyse.

Høy tungtrafikkandel eller større døgnvariasjoner kan begrunne en annen standard for tunnel og veg sett under ett.

Tunnelklassene er utgangspunktet for å bestemme tunnelprofil, antall tunnellop, behov for havarinisjer, snunisjer, gangbare tverrforbindelser, nødutganger samt sikkerhetsutrustning. Når det gjelder krav til sikkerhetstiltak og sikkerhetsutrustning henvises til kapittel 5 Trafikk- og brannikkerhet.

Figur 4.5 gjelder for tunneler over 500 m. I utgangspunktet velges de samme tunnelprofiler også for tunneler under 500 m, men kan fravikes ved at skulderbredden i dagen føres uendret gjennom tunnelen.

For tunneler med ÅDT over 50 000 (tunnelklasse F) bør det vurderes å bygge tre kjørefelt i hver retning, og med kjørefeltbredde 3,5 m.

## 4.5 Tunnelprofiler

### 4.5.1 Generelt

Tunnelprofilene gis betegnelse etter total bredde i kjørebanelnivå, se figur 4.5.

Tunnelprofil T4 utformes med rette vegger.

Tunnelprofilene T5,5 - T14 i bergtunneler utformes med sirkulært profil over kjørebanelnivå.

Kravet til fri høyde i tunneler er 4,6 m med unntak av tunneler for gang- og sykkeltrafikk. Kravet til fri høyde gjelder vinkelrett på kjørebanelnivå, målt ved kantstein.

I normalprofilene er det lagt inn tillegg til høydekravet for å ivareta:

- ekstra klaring for senere justering av vegdekke
- normale toleranser for vegoverbygning og vann- og frostsikring / utstøping (samlet avvik = 0,1 m)

Tunnelprofilet skal gi rom for skilt og tekniske installasjoner. Eventuelt behov for lokale utvidelser vurderes i hvert enkelt tilfelle. Minimum høyde til teknisk utrustning skal være 4,8 m over kjørebanelnivå. For sidemontert utstyr som skilt og signalanlegg skal klaring til trafikkrommet vurderes spesielt. For krav til skilt se kapittel 6 Trafikkskilt, trafikksignalanlegg og vegoppmerking.

Tunnelklasse C og D skal ha et sperreområde med bredde 1 meter mellom kjørefeltene.

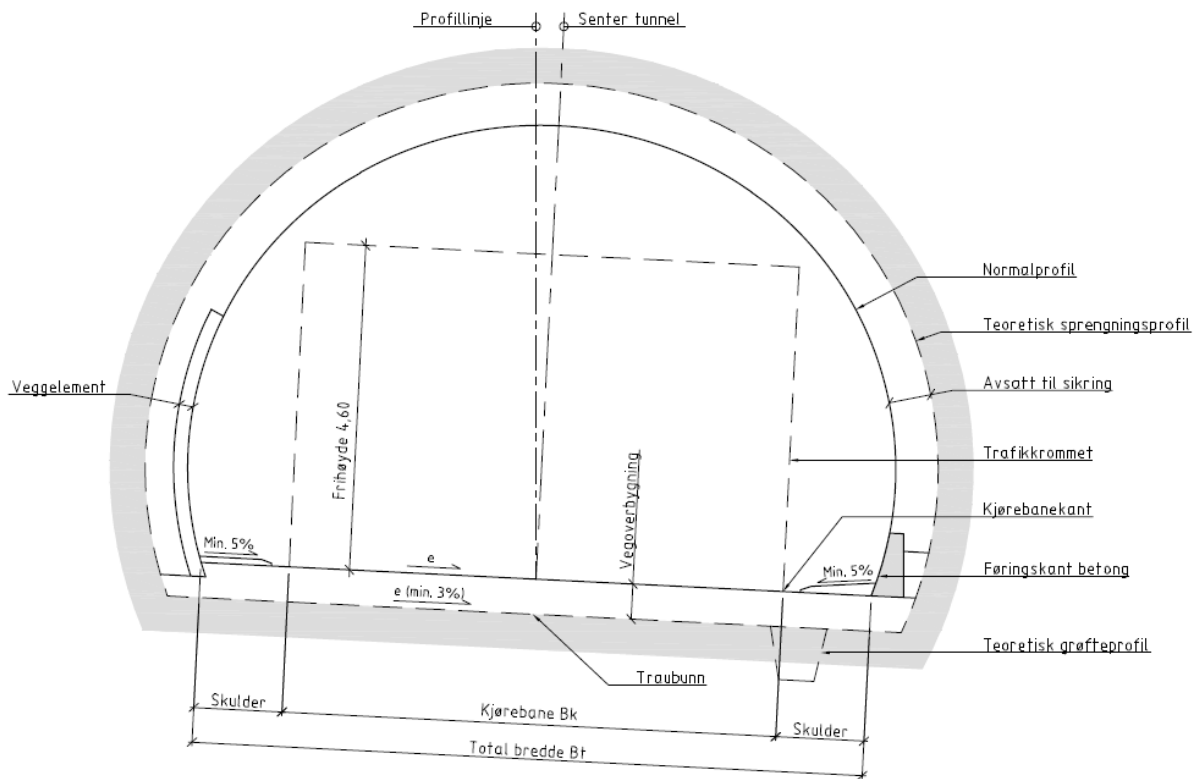
Tunneler skal bygges slik at det er tilrettelagt for å utføre inspeksjon og kontroll av bergforholdene og utført sikring bak frittstående vann- og frostsikringskonstruksjoner som blir montert i tunnelens normalprofil.

For å bedre tilgjengeligheten og muligheten for å utføre en tilfredsstillende inspeksjon avsettes 0,6 m til sikring, kontroll og inspeksjon mellom normalprofilet og teoretisk sprengningsprofil for tunnelklasse C, D, E og F.

For tunneler i tunnelklasse A og B med vann- og frostsikringskonstruksjon som tillates montert etter teoretisk sprengningsprofil (sturt profil trukket inn mot nærmeste knøl), skal det avsettes 0,4 m til sikring mellom normalprofil og sprengningsprofil. I dette tilfellet utføres inspeksjon fra trafikkrommet.

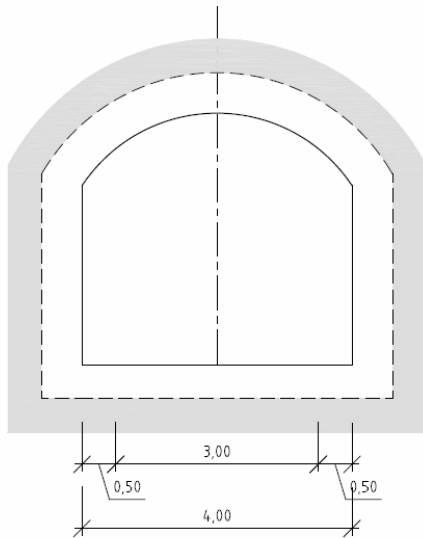
I høgfjellstunneler med fare for periodevis stengt veg, for eksempel ved kolonnekjøring, skal det vurderes å øke bredden for å oppnå økt sikkerhet ved oppstilling av kjøretøyer. En risikoanalyse skal ligge til grunn for å vise at oppstilling i tunnel er akseptabelt. Slike løsninger skal godkjennes av Vegdirektoratet for riksveger.

De enkelte tunnelprofilene med feltinndeling for to eller tre felt og feltinndeling ved havarinisje er vist i figurene 4.6 – 4.17. Geometriske mål for de ulike tunnelprofilene er gitt i punkt 4.5.2.



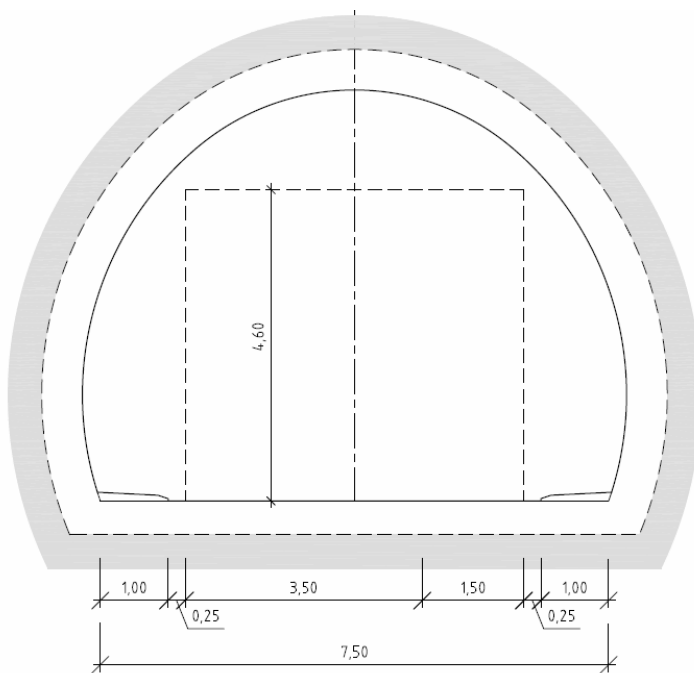
**Figur 4.5** Skjematisk tunnelprofil, vist med eksempel på veggelement og føringskant av betong.





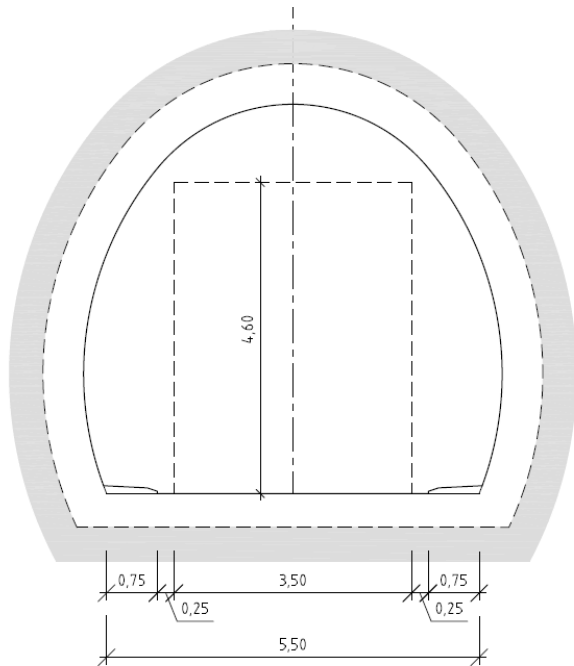
**Figur 4.6** Tunnelprofil T4 (mål i m)

T4 brukes for gang- og sykkelveger. Krav til fri høyde er 3,0 m. T4 brukes for gangbare tverrforbindelser mellom tunnelløp og for nødutganger ut av tunnel.



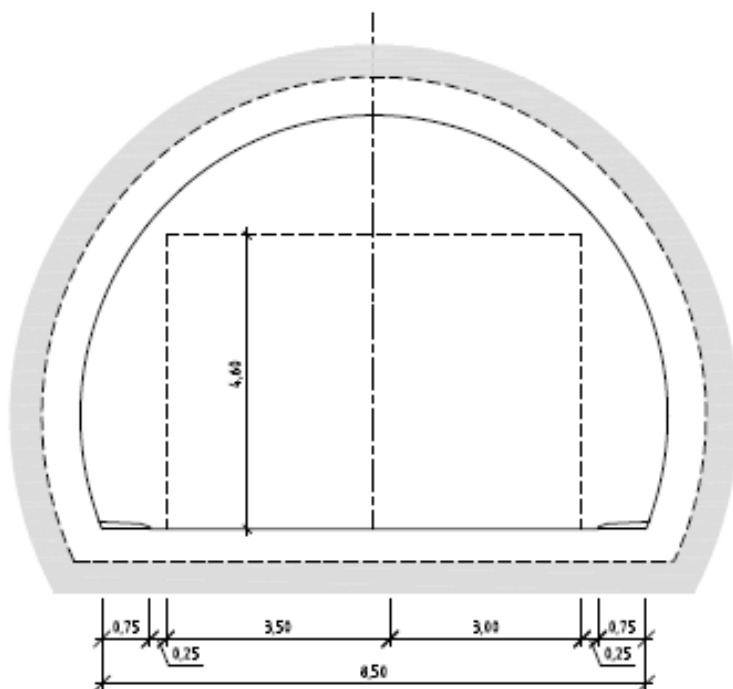
**Figur 4.7** Tunnelprofil T7,5 (mål i m)

T7,5 skal brukes for av- og påkjøringsramper med ett kjørefelt der havarert kjøretøy skal kunne passeres. Kjørebanebredde 5,0 m gir mulighet for å passere kjøretøy som har fått stans. Kjørebanen merkes med kjørefelt 3,5 m og havarifelt på 1,5 m. Havarifeltet inngår i breddeutvidelsen for å ivareta siktkrav.



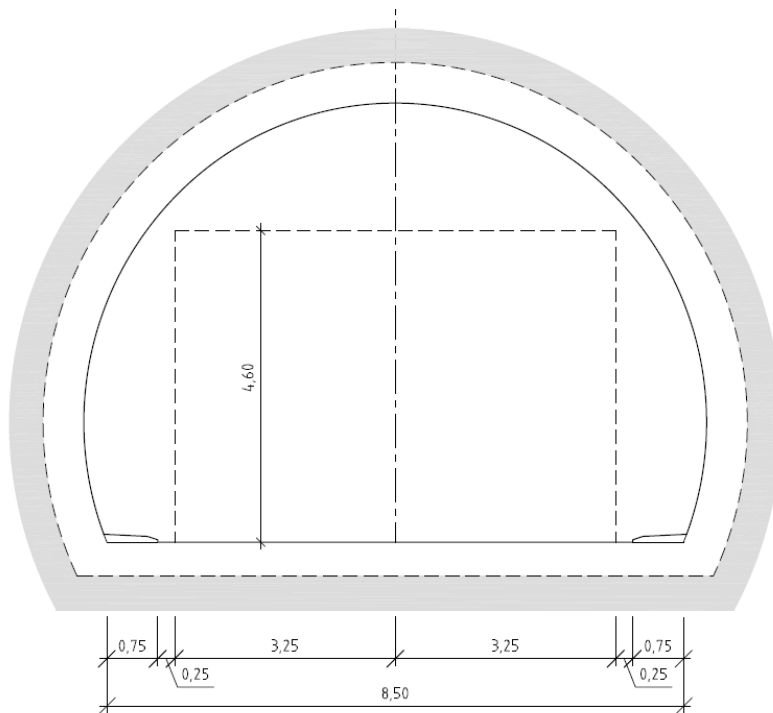
**Figur 4.8** Tunnelprofil T5,5 (mål i m)

T5,5 brukes for enfeltsgveg med møteplasser i tunnelklasse A. Rette vegger kan alternativt benyttes i enfeltstunneler. T5,5 skal brukes for av- og påkjøringsramper med ett kjørefelt uten krav til at et annet kjøretøy skal kunne passeres. T5,5 brukes for rømningstunnel.



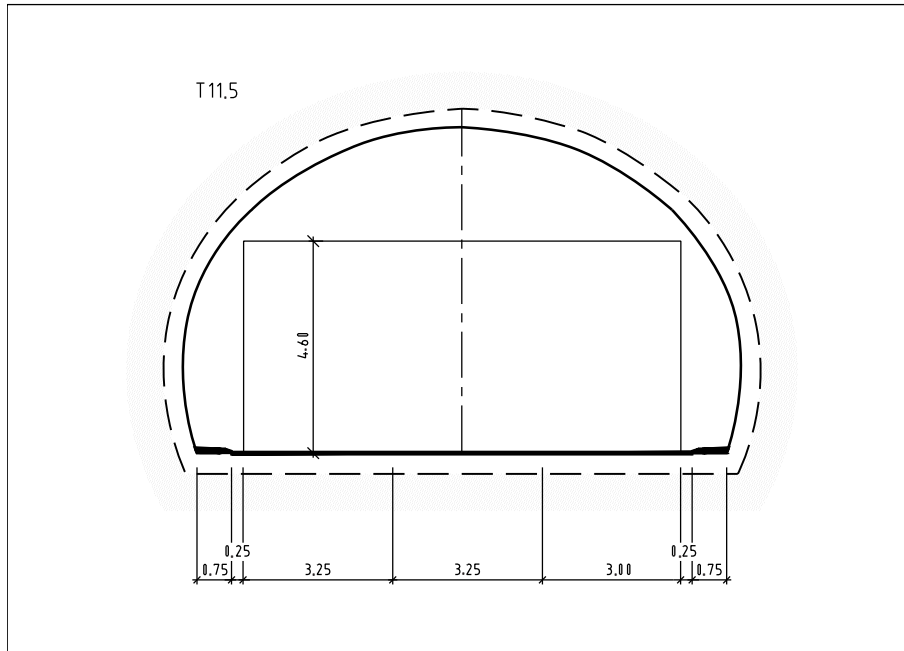
**Figur 4.9** Tunnelprofil T8,5 (mål i m).

T8,5 skal brukes der det er behov for møteplasser i enfeltstunneler (tunnelklasse A).



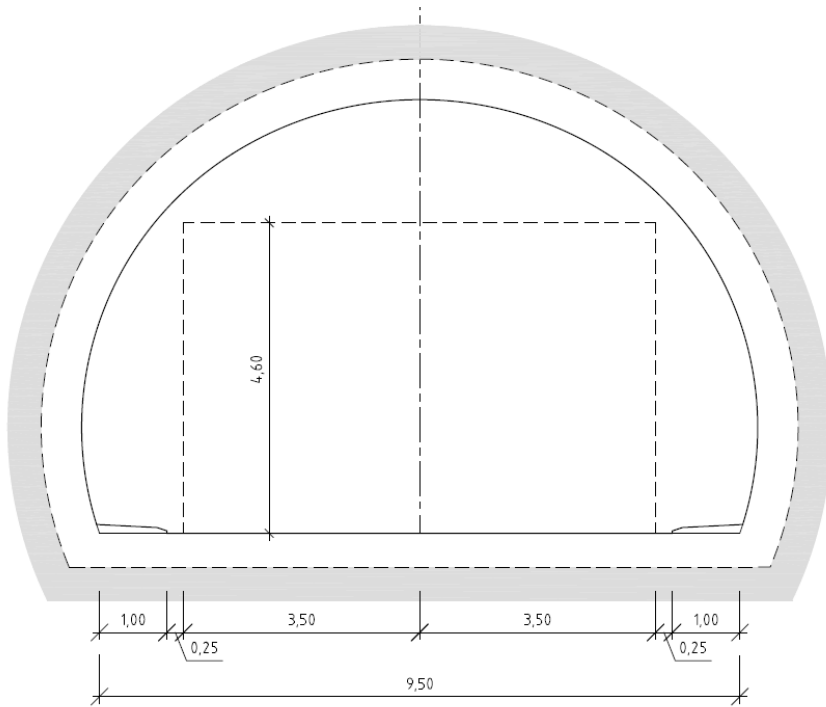
**Figur 4.10** Tunnelprofil T8,5 (mål i m).

Tunnelprofil T8,5 (med kjørefeltbredde 3,25 m) kan alternativt benyttes for tunneler i tunnelklasse B med  $\text{ÅDT} \leq 1\ 500$



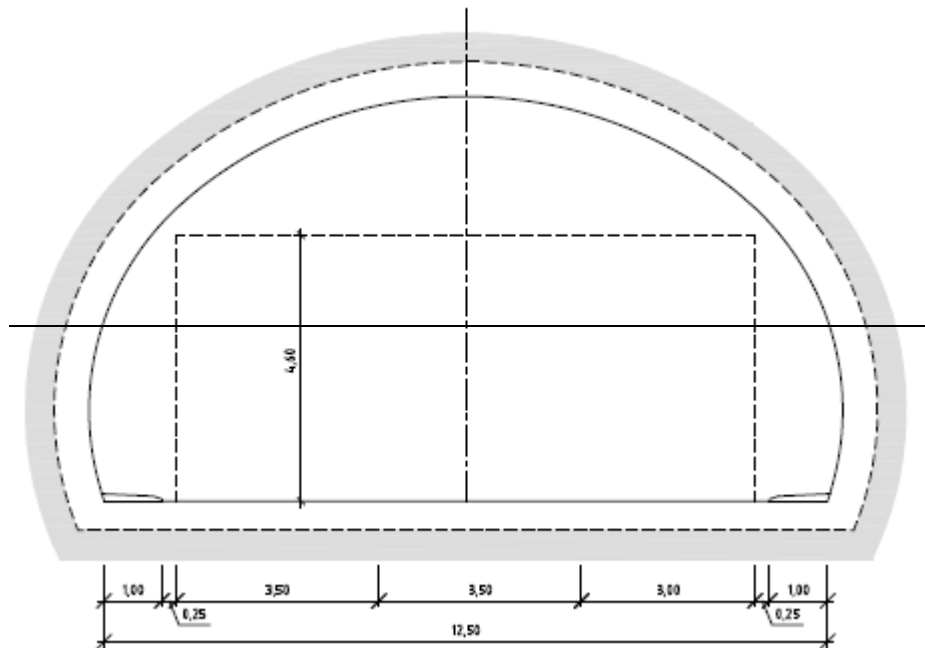
**Figur 4.11** Tunnelprofil T11,5 (mål i m).

Tunnelprofil T11,5 brukes der det er behov for havarinisje i tunneler i tunnelklasse B med  $\text{ÅDT} \leq 1\ 500$  som alternativt bygges med profil T8,5 (figur 4.10).



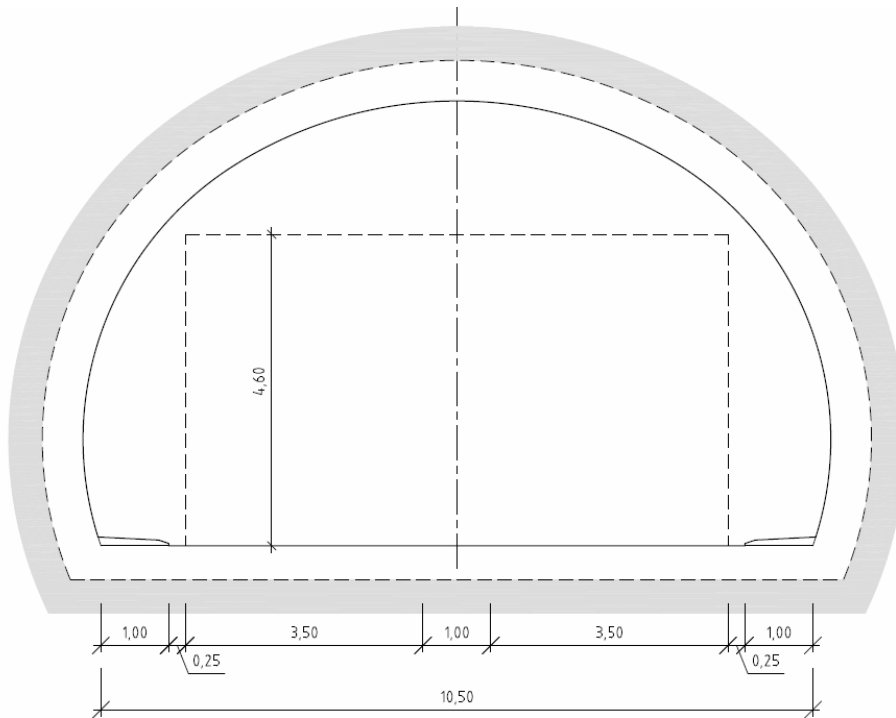
**Figur 4.12** Tunnelprofil T9,5 (mål i m)

T9,5 skal brukes for tunneler i tunnelklasse B og for hvert løp i tunnelklasse E og F.

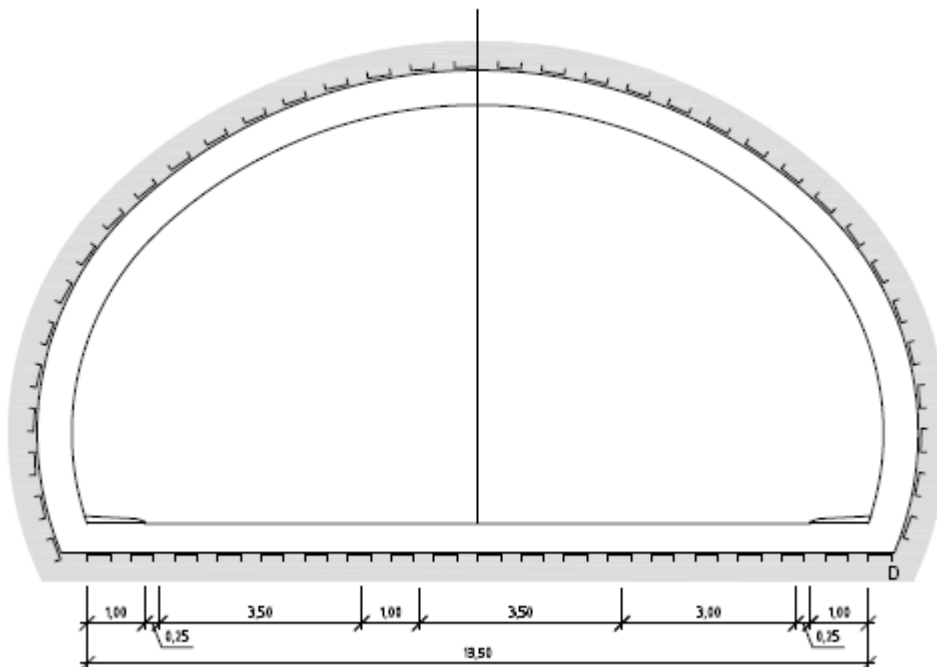


**Figur 4.13** Tunnelprofil T12,5 (mål i m)

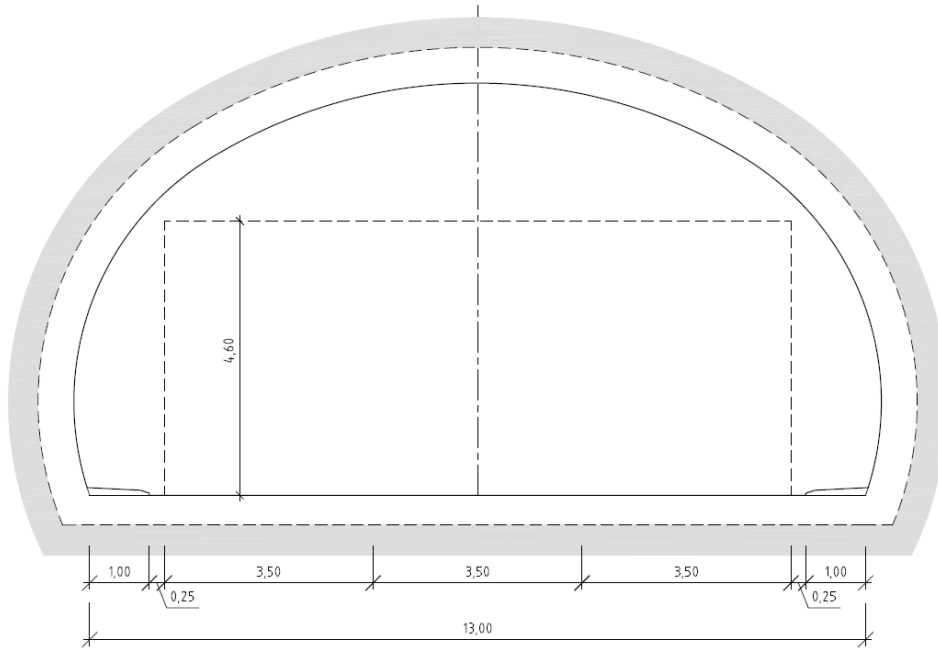
T12,5 skal brukes der det er behov for havarinisjer i tunnelklasse B og i tunnelklasse E og F. Profilet gir også rom for to kjørefelt og en gang- og sykkelveg adskilt med betongrekkverk i tunnelklasse B (se figur 4.21).



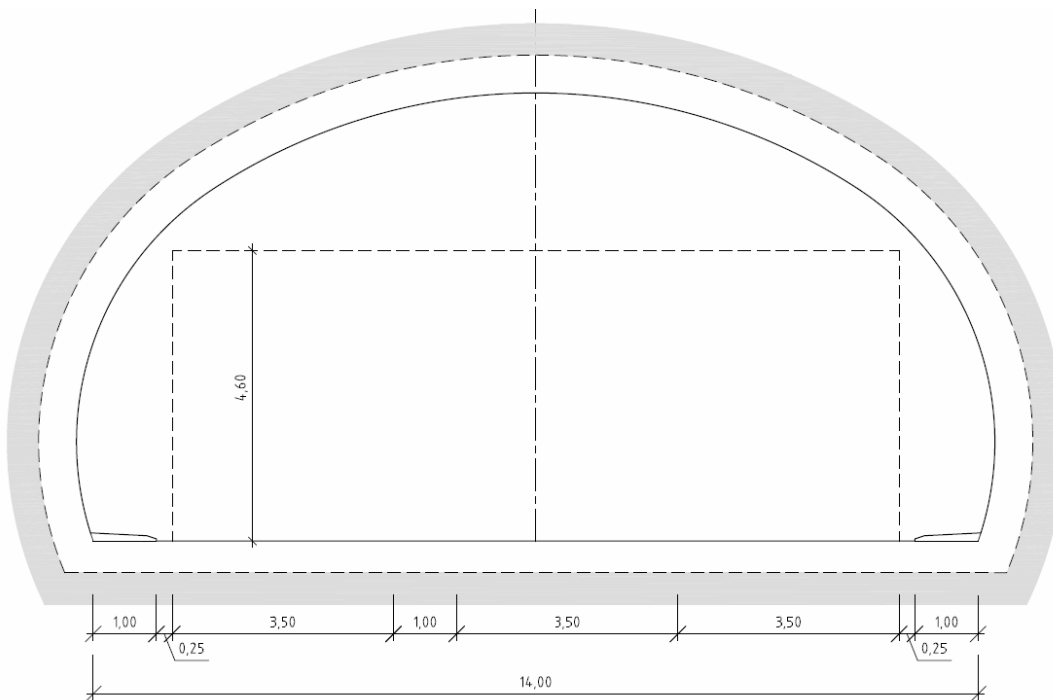
**Figur 4.14** Tunnelprofil T10,5 (mål i m)  
T10,5 skal brukes for tunneler med toveistrafikk i tunnelklasse C og D.



**Figur 4.15** Tunnelprofil T13,5 (mål i m).  
T13,5 skal brukes der det er behov for havarinisjer i tunnelklasse C og D.



**Figur 4.16** Tunnelprofil T13 (mål i m).  
T13 skal brukes der det er behov for tre kjørefelt i tunnelklasse B.



**Figur 4.17** Tunnelprofil T14 (mål i m)  
T14 skal brukes der det er behov for tre kjørefelt i tunnelklasse C og D.

### 4.5.2 Geometriske mål

Geometriske mål er gitt i tabell 4.3 og vist i figur 4.18 og 4.19.

Tverrsnittsdata for tunnelprofilene under gitte forutsetninger fremgår av tabell 4.4 og figur 4.5.

Tabellene gjelder for tunnelprofiler med ensidig tverrfall. Ved ensidig tverrfall dreies profilet om senter vegbane. Tabellene gjelder derfor uavhengig av tverrfallets størrelse.

Takfall benyttes normalt ikke i tunnel.

**Tabell 4.3** Geometriske mål for de ulike tunnelprofilene (alle mål gitt i m)

Profil	Total bredde $B_T$	Kjørebane- bredde $B_K$	Senterhøyde veggradier $Y_V$	Veggradius $R_V$	Senteravstand veggradier $X$	Senterhøyde hengradius $Y_H$	Hengradius $R_H$
T4	4,00	3,00	-	-	-	1,330	2,400
T5,5	5,50	3,50	1,770	4,790	3,402	3,171	2,587
T8,5	8,50	6,50	1,770	4,790	0,402	1,981	4,500
T11,5	11,50	9,50	1,770	4,790	2,598	-0,258	7,199
T7,5	7,50	5,00	1,570	4,790	1,550	2,481	3,594
T9,5	9,50	7,00	1,570	4,790	0,450	1,213	5,212
T10,5	10,50	8,00	1,570	4,790	1,450	0,664	5,950
T12,5	12,50	10,00	1,570	4,790	3,450	-0,466	7,458
T13,0	13,00	10,50	1,570	4,790	3,950	-0,735	7,825
T13,5	13,50	11,00	1,570	4,790	4,450	-0,817	8,053
T14,0	14,00	11,50	1,570	4,790	4,950	-1,294	8,575

**Tabell 4.4** Tunneltverrsnittsdata for de ulike tunnelprofilene

Profil	Teoretisk sprengningsprofil		Normalprofil	
	Areal, $A_S$ $m^2$	Buelengde, $B_S$ m	Areal, $A_N$ $m^2$	Buelengde, $B_N$ m
T4	22,84	12,94	13,65	10,04
T5,5	42,59	17,73	29,72	14,79
T8,5	66,08	21,18	49,65	18,23
T11,5	90,72	24,36	70,87	21,42
T7,5	55,39	19,50	40,39	16,56
T9,5	70,89	21,66	53,60	18,72
T10,5	78,83	22,71	60,40	19,78
T12,5	96,24	24,93	75,48	22,00
T13,0	100,71	25,48	79,37	22,54
T13,5	105,66	26,08	83,72	23,14
T14,0	109,83	26,58	87,33	23,64

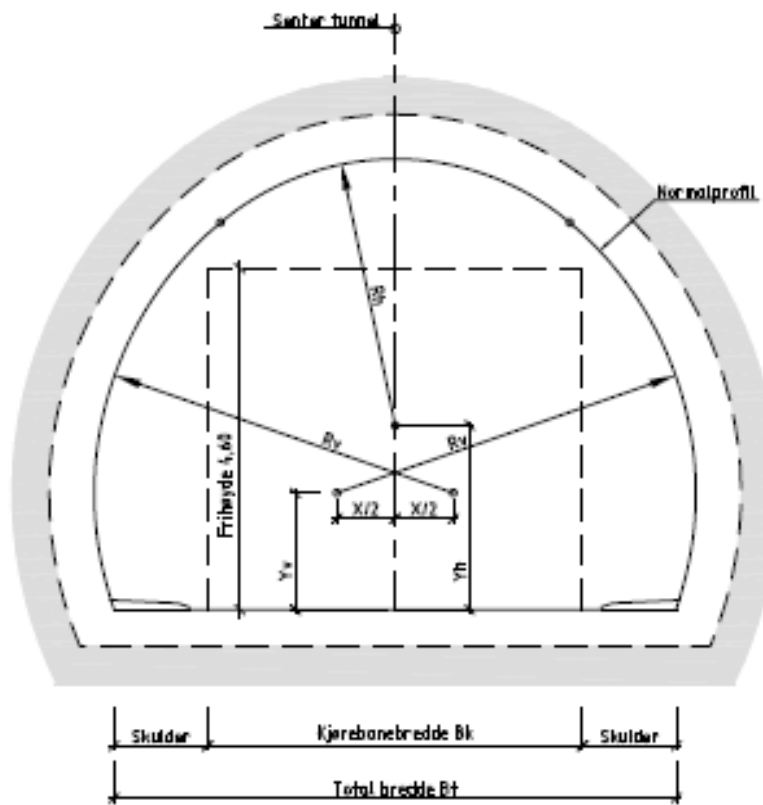
Data vil avhenge av valgt vegoverbygning og plass avsatt for sikring. I tabellen er følgende lagt til grunn:

$A_S$  = Areal regnet etter teoretisk sprengningsprofil. I verdiene i tabellen er det forutsatt 0,5 m vegoverbygning og 0,6 m avsatt til sikring (For tunnelklasse A og B avsettes 0,4 m til sikring).

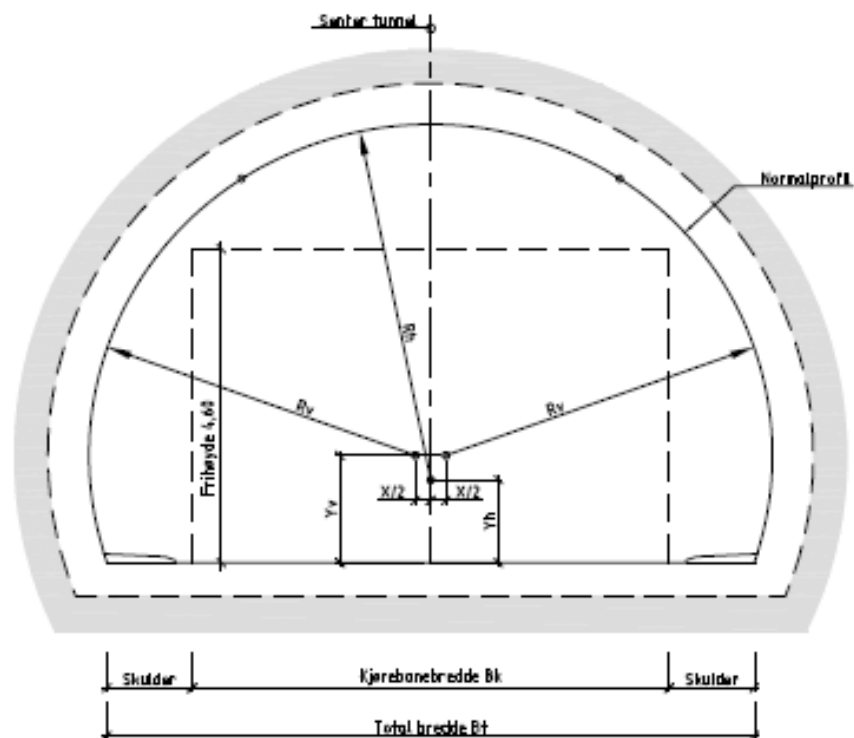
$A_N$  = Areal regnet etter normalprofilen over kjørebane og sideareal, forutsatt 5 % fall på skulder.

$B_S$  = Buelengde regnet etter teoretisk sprengningsprofil ned til nivå for traubunn forutsatt 0,5 m vegoverbygning og 0,6 m avsatt til sikring (For tunnelklasse A og B avsettes 0,4 m til sikring).

$B_N$  = Buelengde regnet etter normalprofil ned til nivå for kjørebane.



Figur 4.18 Geometriske mål for tunnelprofil T5,5 – T8,5 (målene er gitt i tabell 4.3)



Figur 4.19 Geometriske mål for tunnelprofil T9,5 – T14,0 (målene er gitt i tabell 4.3)



### **4.5.3 Senterlinje i ettløps- og toløpstunneler**

Tunnelprofilen i ettløpstunneler skal dreies om vegens senterlinje. I toløpstunneler skal det etableres en senterlinje for hvert løp. Senterlinjen gjennom tunnelen bør føres minst 100 m ut fra portal.

### **4.5.4 Tilpasninger av geometriske mål ved overganger og ved endret normalprofil**

#### *4.5.4.1 Tunnelprofiler ved overgang i nisjer og ved siktutvidelser*

Tunnelprofiler ved overgang til nisjer og siktutvidelser skal konstrueres ut fra hovedprinsippet at tangentene til sirkelbuene er parallelle i overgangspunkter i profilet. Radius i veggen holdes konstant i henhold til normalprofilene i tabell 4.3. Radius i hengen tilpasses slik at hengen får en jevn overgang. Konstruksjon av mellomliggende profiler skal dokumenteres slik at andre installasjoner som vegg og takelementer samt øvrig sikring får tilstrekkelig plass og bergmekaniske forhold er ivarettatt.

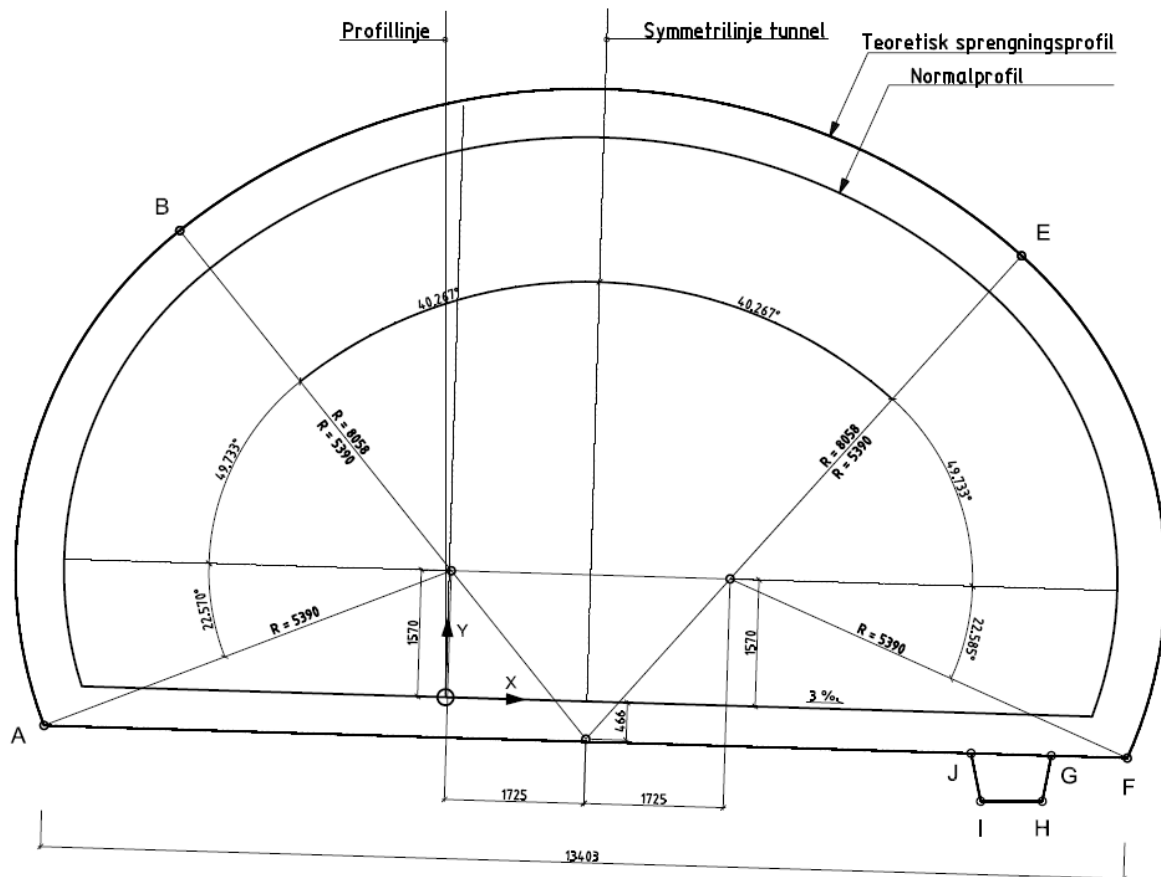
#### *4.5.4.2 Tunnelprofiler ved overgang til ramper*

Ved overgang i ramper kan det være slik at rampen har en vridning av tverrfallet og tunnelprofilet i forhold til hovedløpet i tilkoblingsområdet. Tilpasning av radius i hengen konstrueres slik at tangentene til sirkelbuene er parallelle i overgangspunkter samtidig som krav til høyder og rom for sikring og andre konstruksjoner blir tilfredsstillende. Beskrivelsen av profilet skal dokumenteres i forhold til veglinje i rampe og i forhold til veglinje i hovedløp.

#### *4.5.4.3 Unormerte tunnelprofiler*

Tunnelprofiler som ikke følger standard profiler skal dokumenteres med en entydig beskrivelse av kontur ved sirkelelementer og rette linjer. Dersom sprengningsprofilet ikke følger normalprofilet etter tabell 4.3 skal dette dokumenteres med særskilt beskrivelse.

Figur 4.20 viser et eksempel på målsatt profil der profilet er dreid.



Ⓐ TUNNELPROFIL - T12.5

1:25

Areal teoretisk sprengningsprofil = 96.735 m<sup>2</sup>

Koordinater kurvepunkter :      Koordinater grøft :

Koordinater kurvepunkter :

	X[m]	Y[m]
A	-4.941	-0.769
B	-3.523	5.759
E	7.023	5.759
F	8.441	-0.770

Koordinater grøft :

	X[m]	Y[m]
G	7.519	-0.770
H	7.423	-1.338
I	6.664	-1.361
J	6.527	-0.770

**Figur 4.20** Eksempel på målsatt tunnelprofil. Målsetting som er vist kan benyttes på alle typer profiler, også utenom de som er vist i tabell 4.3 og 4.4. I eksempelet er profilet dreid 3 %. Profilet er beskrevet med sirkelbuer og rette linjer. Overgangspunkt er målsatt med radius og vinkler. Tabeller under profilet viser koordinater for overgangspunktene i profilet og i grøft.

### 4.5.5 Gang- og sykkeltrafikk

Tilbud for gang- og sykkeltrafikk skal avklares i overordnet plan.

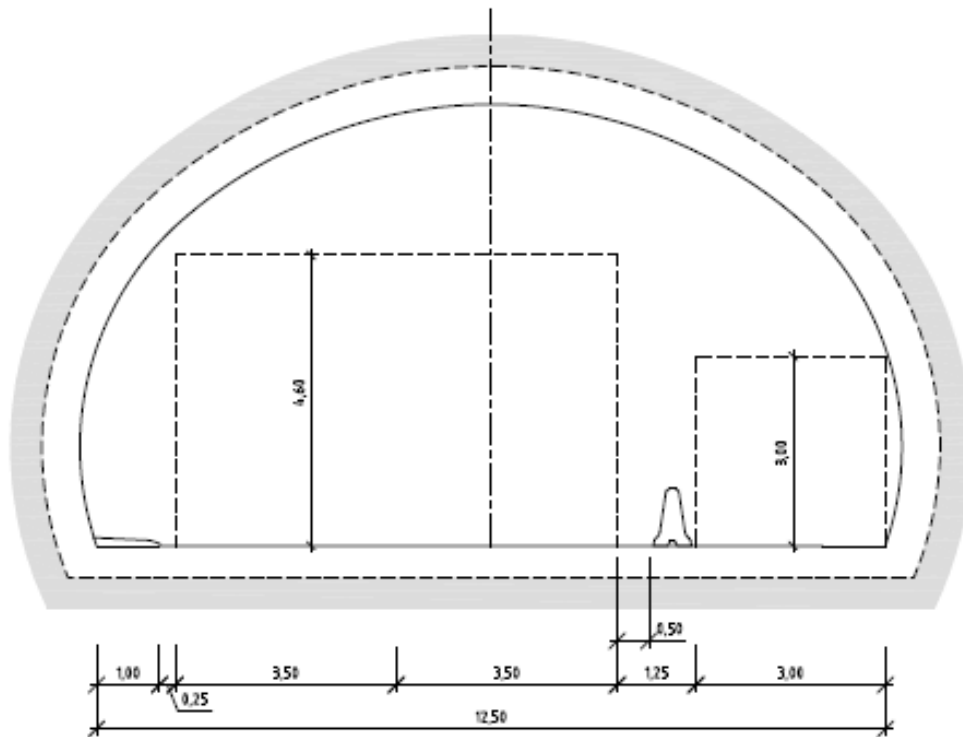
Gang- og sykkelveg føres i egen tunnel, alternativt i samme tunnel skilt med rekkverk fra biltrafikken, eller i trasé i dagen.

Gang- og sykkelveg i tunneler uten rekkverk mot kjørebanelen skal godkjennes av Vegdirektoratet når tunnelen er lengre enn 500 m. Gang- og sykkeltrafikk i tunneler lengre enn 4 km skal godkjennes av Vegdirektoratet. Det stilles spesielle krav til belysning og ventilasjon, kfr. kapittel 10 Tekniske anlegg.

Gang- og sykkelveg skilt fra kjørebanelen med rekkverk skal ha fri høyde minimum 3,0 m og bredde minimum 3,0 m mellom rekkverk og tunnelvegg.

Tunnelprofil 12,5 gir rom for gang- og sykkelveg, adskilt fra kjørebanelen med betongrekkverk, sammen med to kjørefelt i tunnelklasse B (figur 4.21).

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

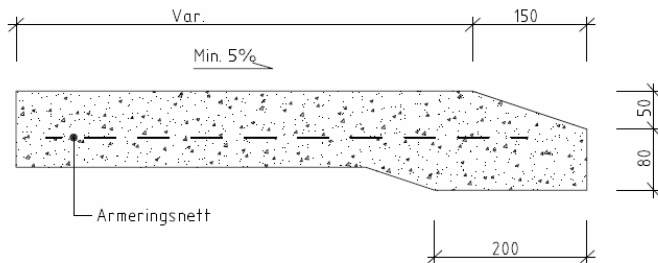


Figur 4.21 Gang- og sykkelveg i tofelts tunnel, tunnelklasse B og tunnelprofil T12,5 (mål i m).

### 4.5.6 Skulder

Skulder er betegnelsen på den del av vegarealet som ligger utenfor kantlinjen.

Opphøyd del av skulder skal utføres med kantstein og med asfalt eller betongdekke, med minimum 5 % fall mot kjørebanelen (figur 4.22). Kantstein skal være lav og ikke-avvisende og plasseres 0,25 m fra kjørebanelkant (se figur 4.5). Kantstein plasseres på bindlaget i vegoverbygningen.



**Figur 4.22** Eksempel på betongkantstein (her vist som plasstøpt løsning). Mål i mm.

### 4.5.7 Veggelementer og føringskant av betong

I tunnelens lengderetning monteres enten veggelementer av betong eller føringskant av betong, se punkt 7.6.

### 4.5.8 Tunnelprofil for betongtunneler

Valg av tunnelprofil for betongtunneler gjøres etter en samlet teknisk/økonomisk vurdering.

Eksempler på forhold som kan gi grunn for å fravike standard tunnelutforming kan være:

- Behov for å legge traséen grunt. Tunneltaket legges parallelt kjørebanelen mens det sirkulære profil beholdes for veggene
- Når det er ønskelig å redusere bredden på byggegropa
- For tunneler som må dimensjoneres for vanntrykk gir firkantprofil mindre volum og dermed mindre oppdrift.

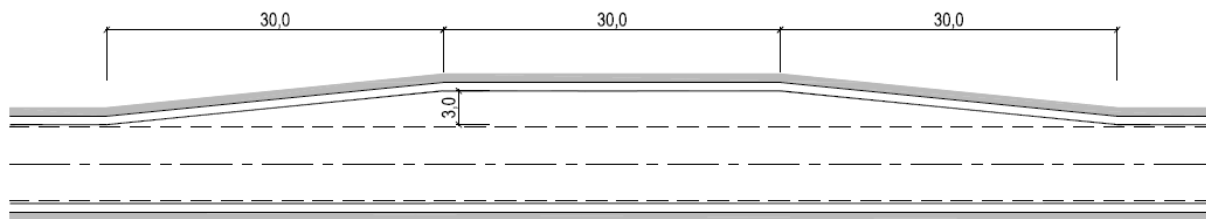
Der det er behov for å redusere høyden av betongtunneler kan teknisk utrustning og skilt plasseres over skulderen. Det kan da bli nødvendig å øke bredden på skulderen. Krav til fri høyde under skilt er gitt i kapittel 6 Trafikkskilt, trafikksignalanlegg og vegoppmerking.

## 4.6 Utvidelse for nisjer

### 4.6.1 Havarinisjer, snunisjer og møteplasser

Havarinisjer skal muliggjøre parkering utenfor kjørebanelen ved nødstop. Havarinisjer utformes som vist på figur 4.23. For tunnelprofil i havarinisjer, se punkt 4.4.

Normalavstand for nisjer fremgår av tabell 4.5. De gitte avstander er omtrentlige mål. Plassering skal tilpasses lokale forhold som bergforhold og geometri. Toleranse i plassering bør være innenfor  $\pm 50$  meter for havarinisjer og snunisjer. I tunnelklasse A, B, C og D med radius  $R < 5\,000$  skal havarinisjer plasseres i ytterkurve. I tunnelklasse E og F bør havarinisjer plasseres i ytterkurve ved radius  $R < 5\,000$ .



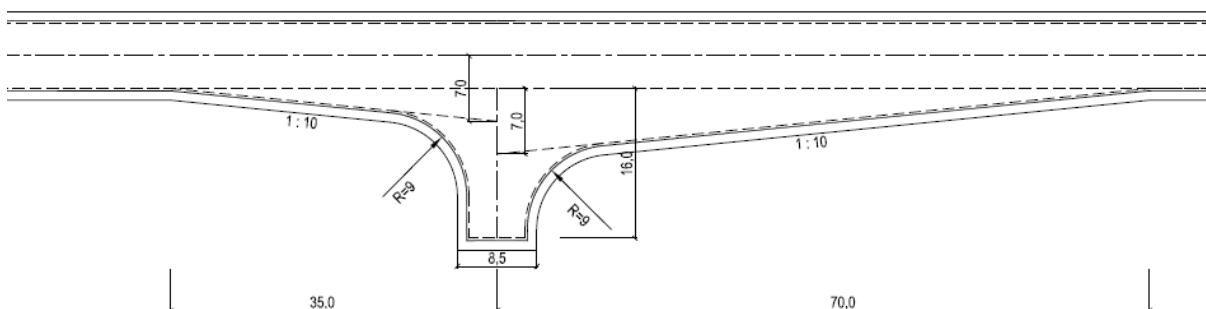
**Figur 4.23** Havarinisje

Videre skal det tas hensyn til mulighetene for å kombinere nisjene med nisjer for andre behov (f.eks. tekniske rom, pumpestasjon mv.).

Eksempel på plassering av havarinisjer er vist i kapittel 5 Trafikk- og brannsikkerhet (figur 5.1 – 5.5).

Første havarinisje i tilknytning til inngående kjørefelt skal plasseres minimum 250 m fra tunnelåpningen.

I tunneler i tunnelklasse B, C og D, over en viss lengde (tabell 4.5), anlegges det snunisjer for større kjøretøy. Snunisjer skal utformes slik at de ikke gir farlige sidehinder (jf. håndbok 231). Et eksempel på utforming er vist i figur 4.24. Ved behov for snunisje for brøytebil utformes denne som snunisje og plasseres etter behov. Havarinisjer vil også fungere som snunisjer for personbiler.



**Figur 4.24** Snunisje

**Tabell 4.5** Normalavstand for havari- og snunisjer

Tunnel-klasse	Normalavstand havarinisje	Normalavstand snunisje	Kommentar
A	–	–	Møteplasser
B	500 m	2 000 m	
C	375 m	1 500 m	
D	250 m	1 000 m	
E	500 m	–	Angitt avstand gjelder for hvert tunnellop
F	250 m	–	Angitt avstand gjelder for hvert tunnellop

Ved utarbeidelse av nisjeplan vil blant annet følgende forhold i tillegg være med å bestemme antall og plassering av nisjer:

- Snunisjer bygges i tunneler med lengde over 2 x normalavstanden for snunisjer i den aktuelle tunnelklassen
- Snunisjer skal ikke plasseres i innerkurve på grunn av siktforhold der  $R < 5\ 000$ .
- I tunneler med  $\text{ÅDT}(20) \leq 2\ 500$  og stigning  $\geq 5\%$  i en lengde over 1 km, bør det vurderes å legge inn en ekstra havarinisje pr. km i stigningen. I tunneler med  $\text{ÅDT}(20) > 2\ 500$  og med forbikjøringsfelt (kfr. punkt 4.2.4) er det ikke behov for ekstra nisje.

I enfeltstunneler med toveistrafikk (tunnelklasse A) skal det anlegges møteplasser. Avstanden mellom møteplassene skal maksimalt være 250 m, men aldri lenger enn at bilfører kan se fra en møteplass til den neste.

Møteplasser utformes som havarinisjer (figur 4.23).

### 4.6.2 Nisjer for tekniske rom

Teknisk rom skal plasseres i egen nisje med tett vegg mot trafikkrommet.

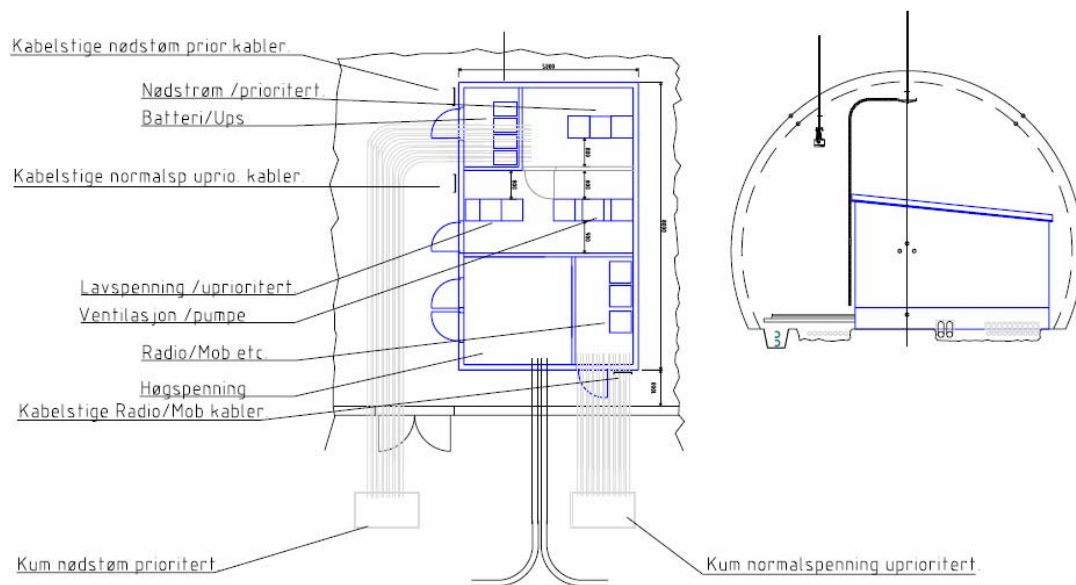
Nisjen skal plasseres i forbindelse med havarinisje.

Ut fra krav til kjøling og brannsikkerhet skal tekniske rom bygges i betong.

Der teknisk rom plasseres i tunnelens lavbrekk skal gulvet i teknisk rom være minimum 1 m over kjørebanelivå.

Dører inn til tekniske rom skal ha brannmotstand EI 60. Hvert av rommene i teknisk rom skal være egne brannceller.

Plassbehov for teknisk rom, med vurdering av fremtidige behov, avklares i plan-/prosjekteringsfasen. Figur 4.25 viser i prinsipp ulike rom det kan være behov for. For krav til teknisk utstyr se punkt 10.1.



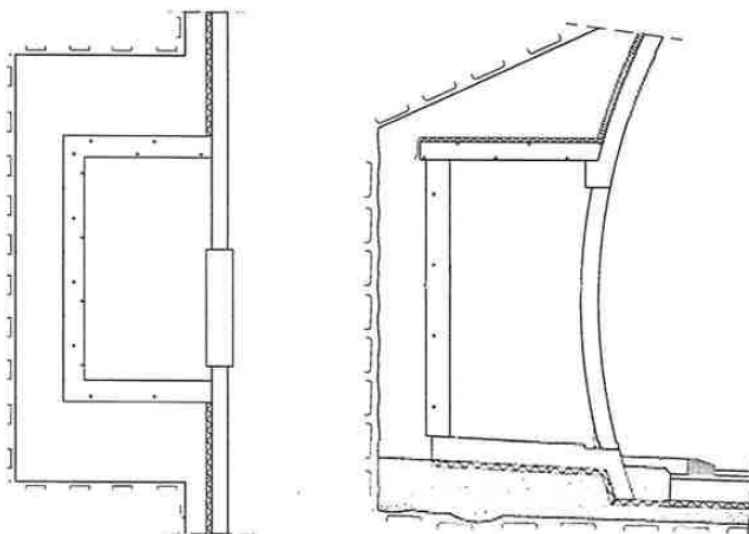
**Figur 4.25** Prinsippskisse for utforming av teknisk rom.

### 4.6.3 Utforming av nisje for nødstasjon

For nødstasjoner henvises til punkt 5.2.2.3.

Nødstasjon i tilknytning til havarinisjer monteres i støvtett kiosk med innvendig belysning. Eksempel på utforming av nisje med kiosk for nødstasjon er vist i figur 4.26. Døren skal være utstyrt med panikkbeslag på innsiden.

Nødstasjoner mellom havarinisjene plasseres i skap. Skapene kan plasseres på føringskant av betong eller innfelles i tunnelveggen. Av trafikksikkerhetshensyn skal framkant av skap være utenfor normalprofilen.



**Figur 4.26** Eksempel på utforming av nisje for kiosk for nødstasjon. Størrelsen på nisjen tilpasses innholdet.

#### 4.6.4 Utforming av pumpestasjon

I undersjøiske tunneler og i øvrige tunneler med lavbrekk der det er nødvendig å pumpe vannet ut av tunnelen, bygges pumpestasjon i lavbrekket. Størrelsen på pumpestasjon i lavbrekk dimensjoneres ut fra type og mengde av utstyr og beregnet lekkasjevolum, se punkt 8.6 Pumpestasjoner, pumpeledning.

Der pumpe systemet bygges etter prinsippet for trinnpumping anlegges to eller flere, mindre pumpestasjoner avhengig av løftehøyden (se punkt 8.6).

## 4.7 Nødutganger

Nødutganger gjør det mulig for trafikantene å forlate tunnelen og nå et trygt sted i tilfelle det oppstår en ulykke eller brann (se punkt 5.1). De gir også redningstjenestene adgang til tunnelen til fots.

Nødutganger bygges enten som tverrforbindelser mellom tunnellop, eller direkte utgang fra tunnelen til det fri.

I tunneler med to parallelle tunnellop skal det legges til rette for rømning via gangbare tverrforbindelser mellom tunnellopene. Disse plasseres med avstand maksimum 250 m. Tilstrekkelig evakueringskapasitet for tverrforbindelsene skal sikres spesielt.

I tunneler i tunnelklasse D (og eventuelt C) som bygges med nødutganger fra tunnelen til det fri (se punkt 5.1) eller rømningstunnel med gangbare tverrforbindelser til hovedløpet, skal avstanden mellom utgangene/ tverrforbindelsene ikke overstige 500 m.

Det skal bygges nødutgang fra ramper med lengde over 500 m i tunnelklasse D, E og F.

Gangbare tverrforbindelser bygges som regel med tunnelprofil T4. Nødutganger til det fri bygges med tunnelprofil T4. Rømningstunnel bygges med tunnelprofil T5,5.

Nødutganger bør sikres mot vann og is.

Behovet for portaler for rømningstunneler og nødutganger til det fri vurderes spesielt. Utgangene/portalene stenges med låsbare porter.

Krav til utforming av nødutganger:

- Helningsgraden på nødutgangen skal ikke være brattere enn maksimalt 5 % (1 : 20).
- Nødutgangen skal ha fast dekke.
- Atkomst til nødutgangen fra tunnelen skal være trinnfri. Dørene skal ha bredde minst 1,2 meter, som tillater rullestol.
- Det bør være nedsenka kantstein ved nødutganger i tunnel, utformet med 20 mm vis og helling 1:10 opp mot dør til nødutgang / tverrforbindelse.
- Dør til rømningsvei skal utføres og utstyres slik at den sikrer rask evakuering og slik at det ikke oppstår fare for oppstuvning. Dør til nødutgang til det fri, og til rømningstunnel skal slå ut i rømningsretningen, dører i tverrforbindelser (tunnelklasse E og F) bør slå inn fra trafikkrommet.
- Vegg mellom hovedtunnel og nødutgang skal ha brannmotstand minimum REI 120-M, ubrennbare materialer.
- Tverrforbindelser skal utføres som brannsluse med brannmotstand minimum EI 60 mot begge tunnellop og mot rømningstunnel.

For øvrig vises det til kapittel 5 Trafikk- og brannsikkerhet, punkt 6.2.2 om skilting av nødutganger, og punkt 10.3 for belysning.

## 4.8 Kryss i forbindelse med tunnel

### 4.8.1 *Kryss i tunnel*

Kryss i tunnel skal unngås. Unntak behandles som fravik i en tidlig planfase.

### 4.8.2 *Kryss utenfor tunnelåpningen*

Når vegen gjennom tunnelen er forkjøringsveg, skal plankryss (X-kryss, T-kryss og rundkjøring) ikke anlegges nærmere tunnelåpningen enn 2 x stoppsikt (LS). X-kryss bør signalreguleres.

Når trafikken fra tunnelen er vikeplikts- eller signalregulert, skal avstand fra tunnelåpning til vikepliktlinje, stopplinje eller gangfelt ikke være mindre enn stoppsikt.

Tilbakeblokkering av trafikk i tunnelen skal vurderes.

Når kryss plasseres nær tunnelåpningen, skal det legges spesiell vekt på å unngå blending fra sol ved utkjøring fra tunnelen.

Planskilt kryss ved tunnelåpning skal ikke ha kortere lengde på fartsendringfeltene enn angitt i håndbok 017. Akselerasjonsfelt skal være avsluttet før tunnelåpning.

Direkteført retardasjonsfelt skal ikke starte nærmere tunnelåpning enn stoppsikt. Parallellført retardasjonsfelt kan starte med overgangsstrekning ved tunnelåpningen, 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. Der det bygges retardasjonsfelt som starter inne i tunnelen skal det være plass til vegvisningsskilt over kjørebanelen.



## 5 TRAFIKK- OG BRANNSIKKERHET

### 5.1 Generelt

Sikkerhetsnivået i en tunnel skal være basert på en systematisk vurdering av alle sider ved tunnelen som omfattes av infrastrukturen, bruken, trafikantene og kjøretøyene.

Følgende parametre skal tas i betraktning:

- tunnellengde
- antall løp
- antall kjørefelt
- tverrsnittsgeometri
- vertikal og horisontal profil
- konstruksjonstype
- enveis- eller toveistrafikk
- trafikkmengde per løp (herunder fordeling i tid)
- risiko for trafikkork (per døgn eller sesongbestemt)
- atkomsttid for redningstjenestene
- nærvær og prosentandel av tunge lastebiler
- særtrekk ved atkomstveiene
- kjørefeltbredde
- fartsaspekter
- geografisk og meteorologisk miljø.

For alle tunneler lengre enn 500 m skal det utarbeides en risikoanalyse, jf. Veileder for risikoanalyse av vegtunneler (Vegdirektoratet). Analysen skal inngå i beredskapsplanene (se punkt 5.6 Beredskapsplan) og skal i tillegg fastslå om det er nødvendig med ytterligere sikkerhetstiltak og/eller tilleggsutstyr for å oppnå det sikkerhetsnivået som kreves i håndbok 021. Risikoanalysen skal omhandle mulige trafikkulykker, branner og andre uønskede hendelser, det vil si alle forhold som tydelig berører sikkerheten for trafikantene i tunnelen, og som vil kunne inntreffe i løpet av brukstiden. Det skal tas hensyn til type hendelse og størrelsesorden av de mulige konsekvensene av dem.

Tunnelklassene bestemmer kravene til sikkerhetstiltak og sikkerhetsutrustning i tunneler med lengde over 500 m. Tunnelklassene fremgår av figur 4.4. Se også kapittel 4 Geometrisk utforming. Disse tiltakene skal normalt gi en tunnel med høy sikkerhet. Risikoanalysen skal identifisere eventuelle avvik fra sikkerhetskravene og spesielle særtrekk ved parameterne nevnt over, vurdere hvilken risiko disse utgjør og foreslå eventuelle risikoreducerende tiltak. Dersom det er aktuelt med ytterligere sikkerhetstiltak bør kostnadseffektiviteten av disse dokumenteres gjennom risikoanalysen.

For ramper gjelder samme krav til sikkerhetsnivå som for hovedtunnelen.

Konsekvenser for trafikkavvikling og alternative kjøreruter skal utredes i tilfelle behov for stengning av tunnel over lengre tid.

Prinsippet for evakuering baserer seg på selvredningsprinsippet, det vil si at trafikantene skal ta seg ut enten til fots eller ved hjelp av eget kjøretøy. I tunneler med toveistrafikk skal det anlegges havarinisjer og snunisjer som angitt i punkt 4.6.

Tunneler i tunnelklasse D (antall kjøretøy pr kjørefelt over 4 000) og tunneler i tunnelklasse C som er lengre enn 10 km, skal anlegges med nødutganger / rømningstunnel (se punkt 4.7). For tunneler i tunnelklasse C som er kortere enn 10 km skal det utføres en risikoanalyse for å avgjøre om tilsvarende eller bedre sikkerhet kan oppnås med alternative tiltak.

I tunneler med to parallelle tunnellop skjer rømning via gangbare tverrforbindelser.

For tunneler med to parallelle tunnellop skal midtdelen foran portalene tilrettelegges slik at redningstjenestene gis atkomst til hvert løp, der dette er mulig.

## 5.2 Sikkerhetstiltak og sikkerhetsutrustning

Kravene gjelder for tunneler med lengde over 500 m.

### 5.2.1 Tiltak for å sikre minimum sikkerhetsnivå i tunneler

I tabell 5.1 er det angitt hvilke krav som stilles for å oppnå minimum sikkerhetsnivå i de ulike tunnelklasser.

En fylt sirkel betyr at tiltak skal etableres.

En åpen sirkel betyr at tiltaket skal vurderes. Utstyret skal bare installeres dersom det er spesielle forhold som gjør dette nødvendig, eller merknadsrubrikken angir spesielle forutsetninger.

I figurene 5.1 – 5.5 er plassering av havarinisjer og nødstasjoner, med nødtelefon og brannslukkere, vist skjematisk for de aktuelle tunnelklasser. I tillegg skal nødstasjon installeres utenfor hver tunnelmunning.

For utforming av nisjer, rømningsveger mv. henvises til kapittel 4 Geometrisk utforming.

I punkt 5.2.2 er det nærmere beskrevet hvilke krav som gjelder for de ulike installasjoner som inngår i sikkerhetsutrustningen.

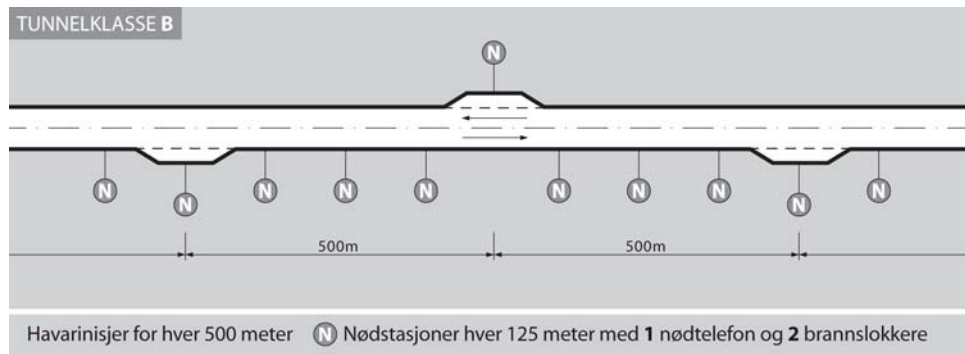
For skilt og signaler som inngår i sikkerhetsutrustningen henvises til kapittel 6 Trafikkskilt, trafikksignalanlegg og vegoppmerking.

For strømforsyning, belysning og ventilasjon henvises til kapittel 10 Tekniske anlegg.

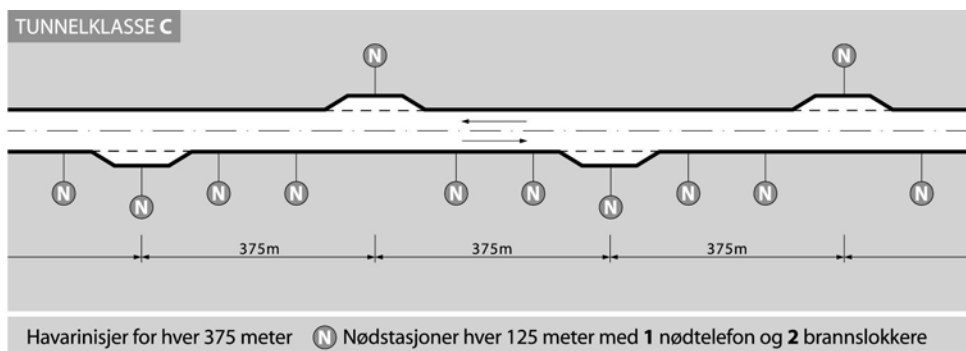
**Tabell 5.1** Tiltak for å sikre minimum sikkerhetsnivå i tunneler

<ul style="list-style-type: none"> <li>● Krav</li> <li>○ Vurderes</li> </ul>	TUNNELKLASSER						MERKNADER
	A	B	C	D	E	F	
<b>SIKKERHETSTILTAK</b>							
Havarinisjer		●	●	●	●	●	Se kapittel 4 Geometrisk utforming
Snunisjer		●	●	●			Se kapittel 4 Geometrisk utforming
Gangbare tverrforbindelser					●	●	Hver 250. m (se pkt. 4.7)
Nødutganger				●			Krav om enten nødutganger til det fri eller egen rømnings tunnel med tverrforbindelser for tunnelklasse D (antall kjøretøy pr kjørefelt > 4000), og for tunneler lengre enn 10 km i tunnelklasse C (jf. 5.1). Avstand hver 500 m (se pkt. 4.7)
<b>SIKKERHETSUTRUSTNING</b>							
Strømforsyning, belysning og ventilasjon	Se kapittel 10 Tekniske anlegg						
Nødstrømsanlegg	●	●	●	●	●	●	Belysning ved strømutfall. Se pkt. 5.2.2.1 og 10.3.6
Ledelys for tunnel	●	●	●	●	●	●	Ca. 62,5 m avstand. Se pkt. 5.2.2.2
Nødutgangsskilt, og skilt som viser retning og avstand til nødutgang			●	●	●	●	Krav for tunneler med nødutganger og tverrforbindelser. Se pkt. 6.2
Avstandsmarkering i tunnel	●	●	●	●	●	●	Krav for tunneler lengre enn 3 km. Skiltet plasseres for hver 1000 m. Se pkt. 6.2
Nødstasjon	●	●	●	●	●	●	Inneholder nødtelefon og to brannslukkere. Se fig. 5.1 – 5.5. Hver 125 m. I spesielle tilfeller min. hver 250 m ved oppgradering (jf. 5.2.4). Nødstasjon installeres i tillegg utenfor hver tunnelåpning.
Slokkevann	●	●	●	●	●	●	Aktuelle løsninger i pkt. 5.2.2.4
Rødt stoppblinksignal	○	●	●	●	●	●	Se pkt. 6.3. Tunnelklasse A: krav for tunneler > 1km
Fjernstyrte bommer for stengning		○	○	●	●	●	Se pkt. 5.2.2.5
Variable skilt		○	○	○	○	○	Se pkt. 6.3 og 5.3
Kjørefeltsignaler					○	○	Se pkt. 6.3
ITV-overvåking			○	○	○	○	Se pkt. 5.2.2.6 og 5.3. Krav i tunneler > 3 km og > 2 000 kjøretøyer per kjørefelt
Radio- og kringkastingsanlegg	●	●	●	●	●	●	Se pkt. 5.2.3
Mobiltelefon *	○	○	○	○	○	○	Se pkt. 5.2.3.4
Høydehinder (avviser)	●	●	●	●	●	●	Se pkt. 5.2.2.7

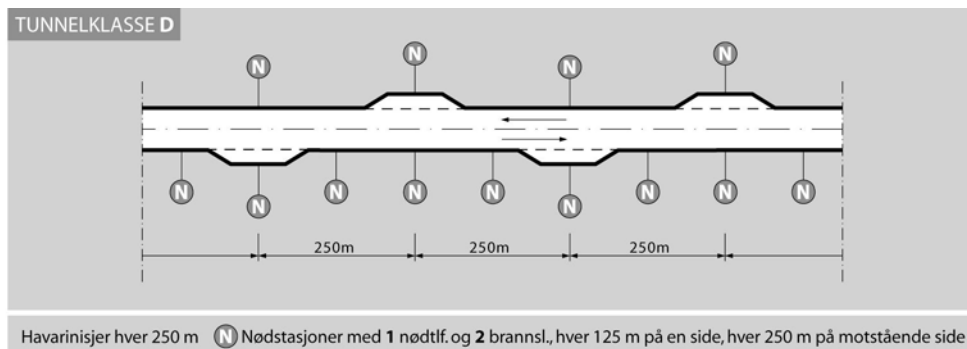
\* Ikke sikkerhetsutstyr



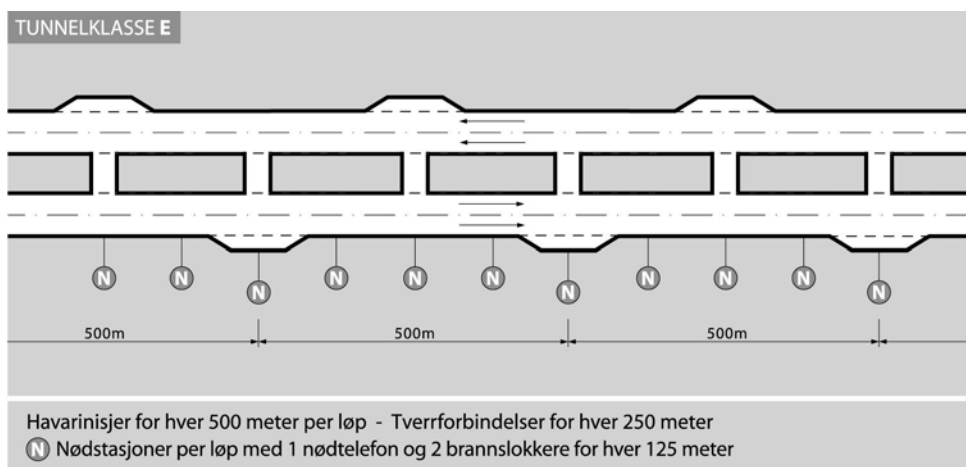
**Figur 5.1** Havarinisjer og nødstasjoner, tunnelklasse B



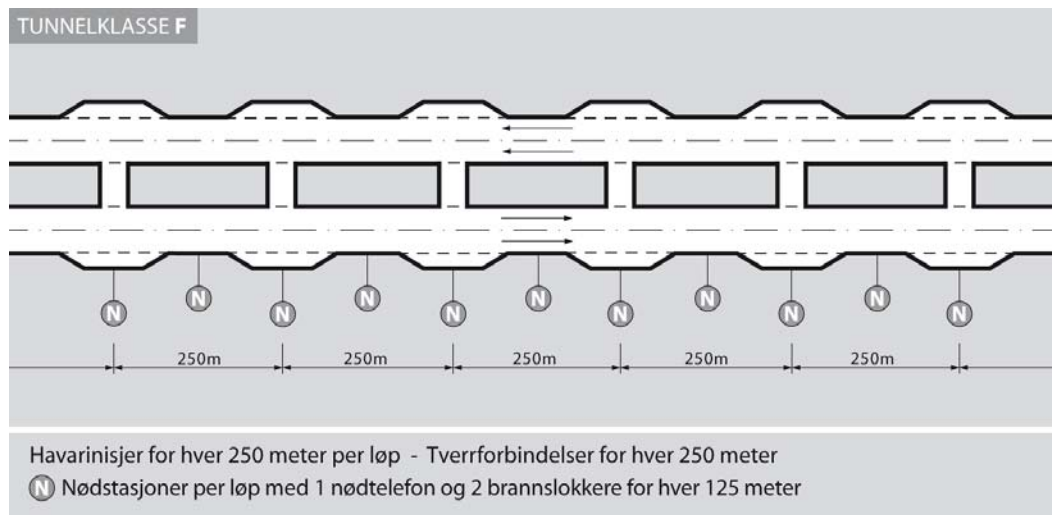
**Figur 5.2** Havarinisjer og nødstasjoner, tunnelklasse C



**Figur 5.3** Havarinisjer og nødstasjoner, tunnelklasse D



**Figur 5.4** Havarinisjer, nødstasjoner og tverrforbindelser, tunnelklasse E



**Figur 5.5** Havarinisjer, nødstasjoner og tverrforbindelser, tunnelklasse F

## 5.2.2 Krav til utstyr som inngår i sikkerhetsutrustningen

### 5.2.2.1 Nødstrømsanlegg

For å sikre trafikantene i tunnelen ved strømutfall og teknisk svikt skal følgende utstyr være bygget som nødstrømsanlegg:

- Overvåking, styring
- Rødt stoppblinksignal
- Sikkerhetsbelysning. Se punkt 10.3.6
- Ledelys for tunnel
- Nødtelefon
- Serviceskilt
- Nødutgangsskilt
- Radio- og kringkastingsanlegg

Hvorvidt ventilasjonsanlegget eller deler av ventilasjonsanlegget skal ha nødstrømsforsyning avgjøres i hvert enkelt tilfelle, blant annet ved å vurdere evakueringstiden, brannvesenets behov i forhold til innsats, strømforsyningssikkerhet etc.

I tillegg skal det spesielt for tunneler i klasse D, E og F vurderes om annet trafikkteknisk utstyr skal kobles opp mot nødstrømsforsyning.

Nødstrømsforsyningen skal gi minimum 1 times driftstid ved den dimensjonerende belastningen. Ved uønskede hendelser i tunnelen skal funksjonssikkerheten for utstyret ivaretas iht. forskrift om elektriske lavspenningsanlegg (FEL) og normen NEK 400.

Nødstrømsforsyning for nødnett for radiosamband har krav til minimum 4 timers driftstid.

Hvis nødstrømsforsyningen baseres på akkumulatoranlegg, skal disse plasseres i eget rom og bygges i henhold til NEK EN 50171.

I tunneler klasse E og F, og i tunneler med egen rømningstunnel skal tverrforbindelsene ha nødstrømsforsyning fra begge løp.

### 5.2.2.2 Ledelys for tunnel

Ledelys for tunnel brukes for å lede trafikantene mot utgangene. Lysene skal tennes automatisk, ved fjerning av brannslukker eller ved iverksetting av nødsituasjon fra VTS eller fra nødstyreskap utenfor tunnelen. Lysene

monteres ikke høyere enn 1,0 m over kjørebanelen, på én side og med innbyrdes avstand på ca. 62,5 m. I kurve gjelder i tillegg at lysene skal være plassert slik at det er sikt fra lys til lys.

Lysytelse skal være ca. 1800 lumen (Lm) og fargetemperatur ca. 4 000 grader kelvin (se NS-EN 1838).

I toløps tunneler skal ledelys stå på samme side som tverrforbindelsene (venstre side). For tunneler med toveistrafikk og som har nødutgang(er) skal ledelys plasseres på samme side som nødutgangene.

Armaturene skal oppfylle kravene i IEC 60598-2-22.

### 5.2.2.3 Nødstasjoner

Hver nødstasjon skal inneholde en nødtelefon og to brannslukkere.

Hensikten med nødstasjoner er å gi alarm og stille sikkerhetsutstyr til rådighet, men ikke å beskytte trafikantene mot virkningen av brann.

I kiosk med nødstasjon som er atskilt fra tunnelrommet med dør, skal det med skilt gjøres oppmerksom på at nødstasjonen ikke gir beskyttelse ved brann. Teksten skrives på norsk og engelsk. Eksempel på tekst er: "Dette området gir ikke beskyttelse ved brann. Følg skilt til nødutganger / This area does not provide protection from fire. Follow signs to emergency exits".

Hvis havarinisjer flyttes basert på forutsetninger gitt i pkt. 4.6.1, kan nødstasjoner justeres tilsvarende. Avstanden mellom nødstasjoner skal da ikke overstige 150 m.

Alle nødstasjoner merkes med skilt for nødtelefon og brannslukker, se punkt 6.2.

Nødtelefon og brannslukkere plasseres utenfor hver tunnelåpning. Plassering tilpasses den enkelte tunnel, men det vil være naturlig å samle nødstyreskap, nødtelefon, brannslukkere, etc. på samme sted, det vil si i en avstand ca. 50 m fra tunnelåpningen (se kapittel 6).

#### Nødtelefon

Nødtelefon skal være av en type som gir ringesignal når røret løftes av. Telefonen skal gi kontakt med bemannet sentral, fortrinnsvis vegtrafikksentral. Telefonene skal være koblet slik at det er mulig å se hvilken telefon det ringes fra.

Nødtelefonsystemet skal ha funksjon for selvtesting.

Rettledning for bruk av nødtelefon bør skrives på flere aktuelle språk, i det følgende er vist et eksempel:

Løft av røret og vent på svar  
Hvis ingen svarer innen ett minutt,  
legg på røret og prøv igjen.

Lift the handset, and wait for answer.  
If no one answers within the first minute,  
hang up and try again.

#### Brannslukkere

Det skal gis signal til VTS eller annen bemannet sentral hvis brannslukker fjernes. Trafikantene skal informeres ved skilt om at fjerning av brannslukkeren utløser automatisk varsling og stengning av tunnel. I tillegg skal det ut fra driftsforhold gis alarm ved åpning av skap.

Apparatene skal være på minimum 6 kg ABC (NS EN3: Effektivitetsklasse minimum 43A 233B). Skap skal markeres med normerte symboler.

Skapene skal ha farge Y80R (NCS standard) eller tilsvarende. Apparatene skal merkes med 'Statens vegvesen'.

#### 5.2.2.4 Slokkevann

Alternative løsninger er:

- etablering av egne kummer (ca. 6 m<sup>3</sup>) i tilknytning til drencsystemet (se punkt 8.5)
- tankvogn med tilstrekkelig kapasitet (minimum 6 m<sup>3</sup>)
- slokkevannsreservoar ved lavbrekk

I spesielle tilfeller hvor trykkvann er lett tilgjengelig, for eksempel i bytunneler, kan en gjennomgående vannledning med vannuttak være et alternativ.

#### 5.2.2.5 Fjernstyrte bommer for stengning av tunnel

Erfaring viser at åpne manuelle bommer kan komme i konflikt med oppfattelsen av stengning med rødt stoppblinksignal. Fjernstyrt bom skal ikke kunne aktiveres hvis ikke rødt stoppblinksignal er tent. Se også håndbok 062 Trafikksikkerhetsutstyr.

Fjernstyrte bommer skal også kunne betjenes manuelt på stedet.

I tunnelklasse D, E og F skal det monteres fjernstyrte bommer. I de øvrige tunnelklassene bør behovet for fjernstyrte bommer vurderes ut fra forventet bruksfrekvens.

Fjernstyrte bommer benyttes enten for å oppnå entydig og hurtig stengning av tunneløp eller for å oppnå sikker leding av trafikantene, for eksempel gjennom midtdeler ved toveisregulering i tunneløp som normalt har enveis trafikk.

Bommen skal være så lang at den sperrer det/de aktuelle felt, men slik at det er mulig å kjøre ut av tunnelen.

Fjernstyrte bommer skal være utstyrt med en kontrollfunksjon for å sikre at kjøretøyer ikke befinner seg under bommen ved senking, og at operatør alltid har informasjon om bommens stilling.

Merking av bom, se punkt 6.2.

#### 5.2.2.6 ITV-overvåking med hendelsesdetektering

Videoovervåking (ITV) med automatisk registrering av hendelser (AID) skal monteres i tunneler med lengde over 3 km i tunnelklasse C, D, E og F.

ITV gir vegtrafikksentralene informasjon om hendelser i vegtunnelene. Ved brann, trafikkulykker etc. vil ITV kunne gi utrykningsetatene nyttig informasjon for deres innsats. Se punkt 5.3 Trafikkstyring og hendelsesdetektering.

ITV-overvåking krever tilknytning til vegtrafikksentral (fast bemannet sentral).

Lokal ITV-overvåking kan også være aktuelt i område for fjernstyrte bommer (se punkt 5.2.2.5).

#### 5.2.2.7 Høydehinder

Høydehinder (avviser) skal monteres i alle tunnelklasser. Høydehinder skal plasseres slik at det hindrer for høye kjøretøy å kjøre inn i tunnelen. Høydehinder bør være deformerbart og ha ekstra sikring som hindrer nedfall ved påkjørsel.

Høydehinder kan sløyfes dersom bruer eller andre konstruksjoner har den nødvendige avvisende effekt på vegnettet som fører inn mot tunnelåpningen.

## 5.2.3 Radiokommunikasjon og kringkastingsanlegg, mobiltelefon

### 5.2.3.1 Generelt

Tunneleier har ansvar for å etablere radioanlegg for viderefremming av nødkommunikasjon og kringkasting i alle tunneler lengre enn 500 m. For tunneler kortere enn 500 m kan radioanlegg etableres etter nærmere vurdering.

Anlegget skal bestå av en kommunikasjonsdel og en kringkastingsdel (se 5.2.3.2 og 5.2.3.3). Utstyret som benyttes skal tilfredsstillende Post- og teletilsynets krav til slikt utstyr. Utstyret skal plasseres i egnede rom med krav til miljø.

Kringkastingsanlegg skal være forberedt for å kunne utvides med flere kanaler og for planlagte nye system (for eksempel DAB). For etablering av slike tilleggskanaler/-systemer gjelder at tunneleier dekker kostnadene for etableringen og krever refusjon av sine utgifter basert på egne avtaler.

Kringkastingsanlegg skal være utstyrt med ”innsnakk” funksjon, for å kunne gi meldinger til trafikanter på Norsk Rikskringkastings kanal NRK P1 (offentlig beredskapskanal), og for å kommunisere på den felles redningskanalen. Innsnakk skal kunne gjøres fra nødstyreskap og fra Vegtrafikksentral.

Som felles antenneanlegg inne i tunneler skal det benyttes utstrålende antennekabel (strålekabel). Alle strålekabler med tilhørende matekabler som benyttes i tunneler skal tilfredsstillende kravene for kabelklasse 2, se kapittel 10 Tekniske anlegg (10.1.4). Elektrotekniske krav til strålekabler/matekabler spesifiseres for hver tunnel under prosjekteringen av radioanlegget (kfr. Vegdirektoratet for gjeldende krav).

Strålekabel skal monteres i henhold til kabelprodusentens spesifikasjoner. Metode for opphenging skal avklares nærmere når øvrige elektriske installasjoner er bestemt. Strålekabelen skal ikke monteres i umiddelbar nærhet av andre kabler med sterke elektromagnetiske felt. Radierende antenner skal monteres så langt som praktisk mulig bort fra strålekabelen.

Når flere tunneler ligger i nærheten av hverandre kan det etableres et felles radio- og kringkastingsanlegg som består av flere tekniske installasjoner koblet sammen. Tiltak skal da være iverksatt slik at sårbarheten ikke blir større enn ved separate anlegg.

For å oppnå forbindelse mellom radiosystem utenfor tunnelen og radioanlegg inne i tunnelen, er det nødvendig å montere antenner i mast(er) på utsiden av tunnelen. Størrelse og antall master og antenner er avhengig av forholdene på stedet, og bestemmes etter gjennomførte feltstyrkemålinger.

Det skal utarbeides linkbudsjett for hele radioanlegget for å sikre at det er tilstrekkelig radiodekning, med god margin, mellom radiosystemer i det fri og radiomottakere/sendere inne i tunnelen. Det forutsettes at det benyttes håndholdte radioenheter i tunnelen.

### 5.2.3.2 Kommunikasjon

Tunneleier har ansvar for å etablere og drive radioanlegg som er nødvendig for å gi hver av nødetatene kommunikasjon på en egen kommunikasjonskanal/-system i tunnelen, herunder også felles tofrekvent redningskanal.

For nødetatene skal det etableres utstyr som er nødvendig for å gi radiodekning inne i tunnelen på samme radiokanaler som utenfor. Der det ikke er dekning for den felles redningskanalen, opprettes det i radioanlegget en egen basestasjon for denne kanalen. Basestasjonen skal også gi radiodekning utenfor tunnelmunningene. Det skal forsikres at det ikke oppstår likekanal-interferens med eventuelle eksisterende basestasjoner. Planløsninger for hver tunnel skal utarbeides og avtales med nødetatene lokalt.

Det skal utenfor tunnelen monteres innsnakkpanel for den felles redningskanalen. Fra panelet skal det kunne føres toveis kommunikasjon på kanalen (mikrofon/høytaler). Toveis kommunikasjon skal også kunne gjøres fra Vegtrafikksentral.



Dersom noen av nødetatene foretar ombygging/endring av sitt kommunikasjonssystem utenfor tunnelen som også medfører ombygging av radioanlegg i tunnelen, skal nødvendig ombygging i tunnelen bekostes av vedkommende etat.

### **5.2.3.3 Kringkasting**

Tunneleier har ansvar for å etablere og drive kringkastingsanlegg som er nødvendig for å gi dekning for NRK P1 (offentlig beredskapskanal) i vegtunneler.

Det skal utenfor tunnelen monteres innsnakkpanel for NRK P1. Fra panelet skal det kunne gis meldinger til trafikanter inne i tunnelen. Innsnakk skal også kunne gjøres fra Vegtrafikksentral.

For alle andre kringkastingskanaler enn NRK P1 skal kostnadene for etablering og drift dekkes av kringkastingselskapet selv. Det skal betales en årlig leie av utstyrs plass til tunneleier.

Ved planlegging av kringkastingsanlegg skal det etableres kontakt med aktuelle kringkastere for å avklare ønske om etablering.

Alle kringkastingskanaler som det blir etablert utstyr for, skal ha samme ”innsnakkfunksjon” som for NRK P1.

### **5.2.3.4 Mobiltelefon**

Mobiltelefon inngår ikke i sikkerhetsutrustningen.

Nettoperatør for mobiltelefon har ansvaret for å planlegge, etablere og drifte sitt eget mobiltelefonutstyr i vegtunneler. Operatørene skal betale anleggsbidrag og leie for utstyrs plass til tunneleier etter gjeldende Hovedavtale.

Ved etablering av mobiltelefon i tunneler skal operatørens planer godkjennes av tunneleier før utbygging iverksettes.

Ved nyanlegg skal det tidligst mulig innledes samarbeid med nettoperatørene for å avklare deres behov for utstyrs plass i tekniske rom og master, antenner i tunnelheng, trekkerør, kabler og strøm.

Nettoperatør skal gis tilgang til de tegninger og planskisser som er nødvendig for sin planlegging, og inviteres til nødvendige møter både på planleggingsstadiet og etter prosjektstart.

Spesifisert arbeid og eventuelle leveranser som blir utført som en del av utbyggers entrepriser på vegne av nettoperatør, skal faktureres nettoperatør når leveransen er fullført.

## **5.2.4 Sikkerhetsmessig oppgradering av eksisterende tunneler**

Ved sikkerhetsmessig oppgradering av eksisterende tunneler, skal de deler som oppgraderes følge de samme krav som gjelder for sikkerhetsutrustning i henhold til tabell 5.1 for nye tunneler.

Unntatt er nødstasjoner, som kan monteres med avstand 250 m mellom hver i de tunneler som tidligere ikke har hatt nødstasjoner. I tunneler der avstanden mellom nødstasjoner / brannslukkere var mer enn 250 m, fortettes nødstasjonene til en avstand 250 m mellom hver. Se for øvrig punkt 5.2.2.3.

## **5.3 Trafikkstyring og hendelsesdetektering**

### **5.3.1 Behovsanalyse**

Utredning av behovet for styrbart trafikkregulerende utstyr ut over rødt stoppblinksignal bør utføres i en tidlig planfase som en integrert del av arbeidet med den geometriske utformingen av tunnelanlegget med tilhørende dagsoner.

Avklarte trafikkstyringsprinsipper utgjør et nødvendig grunnlag for utarbeidelse av beredskapsplan for tunnelanlegget.

Som grunnlag for vurdering av nødvendig utstyr for trafikkstyring og hendelsesdetektering skal det utføres en behovsanalyse. Følgende aspekter klarlegges:

- trafikkreguleringsprinsipper ved stengt tunnel
- behov for overvåkings-, regulerings- og varslingssystemer for å ivareta trafikksikkerhet og optimal trafikkavvikling i anlegget.

Behovsanalysen utføres som regel med utgangspunkt i følgende hovedelementer:

- forventet hyppighet av trafikale hendelser (bilbranner, ulykker med personskaade, ulykker med materiell skade og kjøretøystopp i havarinisjer eller i kjørebanelen)
- omfang av og strategi for gjennomføring av drifts- og vedlikeholdsarbeider i tunnelen
- miljø- og sikkerhetsmessige aspekter knyttet til aktuelle omkjøringstraséer for tunnelen
- kapasitetsanalyser.

På grunnlag av ovenstående kan det anslås forventet bruksfrekvens for aktuelt styrbart trafikkregulerende utstyr.

Behov for systemer for automatisk detektering av trafikale hendelser vurderes i hovedsak ut fra følgende:

- som grunnlag for drift av lokalt styrte trafikkstyringssystemer som f.eks. køvarslingssystemer
- for å sikre rask oppdagelse av hendelser i tunnelen som grunnlag for iverksettelse av trafikkreguleringer.

Behovsanalysen skal inneholde en nytte-/kostnadsanalyse av aktuelle trafikkovervåkings- og trafikkstyringskonsepter realisert med ulik automatiseringsgrad for trafikktekniske installasjoner (varierende nivå for bruk av fjernstyrte bomber, kjørefeltsignaler og variable skilt).

Planlegging av trafikkstyringsanlegg skal utføres som en samlet prosess for hele veganlegget uavhengig av eventuell oppdeling av anlegget i delparseller eller lignende.

Et trafikkstyringssystem for et tunnelanlegg vil svært ofte kreve installasjoner som plasseres utenfor anleggsområdet. Slike installasjoner med tilhørende fremføring av tilførsels- og kommunikasjonskabler skal betraktes som en del av tunnelanlegget.

Konsekvenser for etablerte vegtrafikksentraler (VTS) og/eller lokale driftsenheter skal også avklares som en del av planleggingen.

### **5.3.2 Hovedtyper av trafikkstyringssystemer**

Trafikkstyringssystemer knyttet til tunneler kan opereres på to måter:

- Forhåndsprogrammerte tiltak som iverksettes manuelt av operatør i vegtrafikksentral eller fra kontrollpaneler ute i tunnelanlegget
- Systemer som automatisk regulerer trafikken eller varsler trafikantene direkte på grunnlag av detektering av trafikksituasjonen.

#### **5.3.2.1 Forhåndsprogrammerte tiltak**

I tabell 5.2 og 5.3 er listet trafikkreguleringstiltak som er aktuelle å realisere ved bruk av styrbare trafikktekniske installasjoner.

Trafikkstyringsprogrammene fjernbetjenes fra aktuell vegtrafikksentral, som kontaktes i forbindelse med utarbeidelse av konkurransegrunnlag. I tillegg skal det alltid være mulig å åpne og stenge tunnelen fra manuelle nødstyreskap utenfor tunnelen. De samme nødstyreskapene skal kunne benyttes for styring av lys og ventilasjonsanlegg i tunnelen.

Ofta kan det være hensiktsmessig at automatiske trafikkstyringssystemer installeres først etter at en har erfaring for at det foreligger konkrete behov, dvs. etter at anlegget er åpnet. For at en senere installering skal kunne gjennomføres med små ulemper for trafikken, bør det i anleggsfasen legges til rette for en enkel ettermontasje av anleggene. Dette kan innebære at trekkerør er fremlagt til fremtidige utstyrsposisjoner, plass er sikret for fremtidige installasjoner, lokale styreenheter er dimensjonert for antatt økt behov etc.

**Tabell 5.2** Forhåndsprogrammerte reguleringer som iverksettes manuelt

Trafficreguleringstiltak	Aktuelt trafikkteknisk utstyr	Vurderingsaspekter for realisering
Entydig og hurtig stengning av tunneløp	Fjernstyrte bomber	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Økt sikkerhet i tunneler med stor trafikk og/eller i spesielt lange tunneler</li> <li>– Reduserte mannskapskostnader ved stengning av tunneløp</li> </ul>
Etablering av omkjøringsvisning	Variable skilt (+ ev. kjørefeltsignaler på flerfeltsveger)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Krav til servicenivå for trafikantene på aktuell vegstrekning mht. orienterbarhet, regularitet og avviklingskvalitet</li> <li>– Krav til visningsstandard, f.eks. mulig krav til overhengende omkjøringsvisning på flerfeltsveg</li> <li>– Reduserte mannskapskostnader for etablering av omkjøringsvisning ved stengt tunnel</li> </ul>
Stengning av kjørefelt (tunnelklasse E og F)	Kjørefeltsignaler	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Trafikksikkerhet, avverge følgeulykker ved trafikale hendelser i tunnel</li> <li>– Redusere behov for stengning av tunnel</li> <li>– Nødvendig del av arbeidsvarslingsystem ved vedlikeholdsarbeider med trafikk i tunneløpet</li> </ul>
Toveisreguleringssystem (tunnelklasse E og F)	Kjørefeltsignaler Variable skilt Fjernstyrte bomber	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Minimalisere bruk av omkjøringsveg på grunn av miljømessige forhold, kjøre- og ulykkeskostnader</li> <li>– Krav til servicenivå for trafikantene på aktuell vegstrekning mht. orienterbarhet og avviklingskvalitet</li> <li>– Arbeidsvarslingsystem som sikrer full avstengning av tunneløpet det arbeides i.</li> </ul>
Varsling av hendelse i tunnel	Variable fare-/opplysnings-skilt før/i tunnel	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Trafikksikkerhet, avverge følgeulykker ved trafikale hendelser i tunnel</li> <li>– Redusere behov for stengning av tunnel</li> </ul>
Redusert fart	Variable opplysnings-skilt Variable fartsgrenser	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Økt trafikk sikkerhet ved vanskelige kjøreforhold mv.</li> <li>– Miljøtiltak</li> <li>– Ved reduksjon av antall kjørefelt pga stengning</li> </ul>
Opplysning om årsak til og antatt varighet av stengning av tunnel	Variabelt opplysnings-skilt før tunnel	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Krav til servicenivå for trafikantene i tilfeller hvor omkjøringstrasé ikke finnes eller hvor omkjøringsvisning ikke ønskes etablert</li> </ul>

**Tabell 5.3** Eksempler på automatiske trafikkreguleringstiltak

Trafficreguleringstiltak	Aktuelt trafikkteknisk utstyr	Vurderingsaspekter for realisering
Køvarsling	Variable fartsgrenser / fareskilt / opplysnings-skilt	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Økt trafikk sikkerhet, primært påkjøring bakfra ulykker</li> </ul>
Optimalisering av trafikk-avvikling	Variable fartsgrenser	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Økt kapasitet</li> <li>– Reduserte kjørekostnader</li> <li>– Økt trafikk sikkerhet</li> </ul>
Tilfartskontroll	Trelys trafikksignalhoder i kontrollpunktene + forvarsling av aktivert tilfartskontrollsystem	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Hindre uønskede kødannelse i tunnelen av hensyn til trafikantenes subjektive opplevelse av kø i tunnel</li> <li>– Kontrollere kølengde i tunnelen med hensyn til installert ventilasjonskapasitet</li> </ul>
Varsling av saktegående kjøretøy	Variable opplysnings-/fareskilt før og i tunnel	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Trafikk sikkerhet i tunneler med lange og bratte nedoverbakker</li> </ul>

### **5.3.3 Hendelsesdetektering – tekniske løsninger**

Detekteringssystemene kan inndeles i to hovedkategorier, indirekte og direkte.

#### **5.3.3.1 Indirekte detektering**

Et kjøretøystopp oppdages ved at det detekteres redusert avviklingskvalitet i et snitt eller over en delstrekning i tunnelen. Detekteringssystemer basert på indirekte detektering har generelt et begrenset utstysbehov.

#### **5.3.3.2 Direkte detektering**

Disse systemene er innrettet mot detektering av enkeltkjøretøy som stanser i kjørebanelen og derved utgjør en potensiell fare. Systemene er oftest basert på videoteknologi, og disse krever omfattende dekning med kameraer.

Hendelsesdetekteringssystemer kan være basert på ulike teknologier som eksempelvis

- induktive sløyfer
- billedtolkingssystemer
- infrarøde detektorer.

Det kan være aktuelt å installere hendelsesdetekteringssystemer i tilfeller hvor det av trafikksikkerhetsmessige grunner fremstår som viktig å hurtig oppdage unormale hendelser som kjøretøystopp i kjørebanelen eller unormale køer.

## **5.4 Krav til brannsikring**

### **5.4.1 Generelt**

Brannsikring av vegtunneler er hjemlet i LOV 2002-06-14 nr 20: Brann- og eksplosjonsvernloven, den tilhørende Forskrift om brannforebyggende tiltak og tilsyn, og i Internkontrollforskriften.

Direktoratet for samfunnsikkerhet og beredskap har i samarbeid med Vegdirektoratet utarbeidet en veileder for saksbehandling ved brannsikring av vegtunneler. Veilederen beskriver samarbeid mellom Statens vegvesen og brannvernmyndighetene, gjennomføring av risikoanalyser, ansvar og samarbeid om øvelser, beredskapsplaner og innsatsplaner og gir også regler for oppgradering av eksisterende tunneler, jf. kapittel 1.

### **5.4.2 Brannmotstand. Krav til konstruksjoner**

Dimensjonerende brann og krav til konstruksjoners brannmotstand er vist i tabell 5.4. For senketunneler, rørbruer og andre konstruksjoner der konsekvensene av en brann kan være vanninnbrudd, eller tap av konstruksjonen, skal konstruksjonen dimensjoneres for en brannbelastning på minimum 200 MW i 2 timer. Branntesting av bærende elementer i disse konstruksjonene, skal baseres på brannkurve som er definert av Rijkswaterstaat i forbindelse med brannsikring av senketunneler i Nederland (RWS-kurven), se figur 5.6.

Brannmotstands nivået i alt tunnelutstyr skal ta hensyn til de teknologiske mulighetene og ta sikte på å opprettholde de nødvendige sikkerhetsfunksjonene i tilfelle brann.

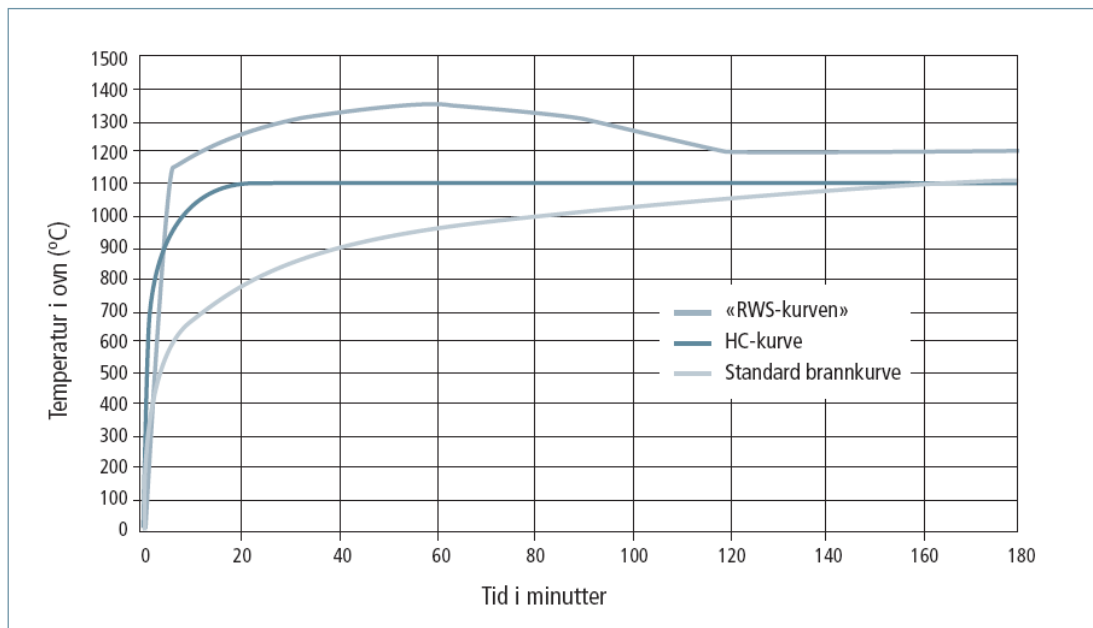
For brannsikring av vann- og frostsikring henvises det til håndbok 163 Vann- og frostsikring i tunneler.

For brannventilasjon, se kapittel 10 (10.4.4 Brannventilasjon).

Krav til kabler som skal fungere i en brannsituasjon er gitt i kapittel 10, punkt 10.1.4.

**Tabell 5.4** Dimensjonerende brann.  
Krav i henhold til standard tid- temperaturkurver (figur 5.6)

Tunnelklasse	Dimensjonerende branneffekt	Eksponeeringskurve	Tid (minutter)
A	20 MW	ISO 834	60
B	20 MW	ISO 834	60
C	50 MW	HC	60
D	100 MW	HC	60
E	50 MW	HC	60
F	100 MW	HC	60



**Figur 5.6** Standard tid-temperaturkurver som benyttes ved branndimensjonering.

- Standard brannkurve iht. ISO 834 (1999) og NS-EN 1363-1 (1999)
- Hydrocarbon- (HC-) kurven definert i ISO 834-3 (1994) og NS-EN 1363-2 (1999)
- RWS-kurven definert av Rijkswaterstaat (The Directorate-General of Public Works and Water Management, The Netherlands)

## 5.5 Transport av farlig gods i tunnel

Regler og vilkår for transport av farlig gods i vegtunneler er regulert i en forskrift til vegtrafikkloven §18. I forskriften § 4-1 er følgende særlige vilkår og begrensninger beskrevet:

§ 4-1, Krav ved transport på bestemte veger og i bestemte vegtunneler  
«Vegdirektoratet kan etter uttalelse fra vedkommende fagmyndighet treffe vedtak om meldeplikt for transport av farlig gods, samt bestemme at transport av visse typer farlig gods på bestemte veger og i bestemte vegtunneler bare skal være tillatt på særlige vilkår eller være helt forbudt. Vegdirektoratet kan delegere denne myndigheten til vedkommende vegsjef».

Alle vanlige tunneler med liten trafikk kan som regel holdes åpne for transport av farlig gods. For tunneler i bystrøk, undersjøiske tunneler og i lengre betongtunneler (senketunneler, tunneler direkte under bygninger etc.) bør det foretas særlige vurderinger. Gjennom slike analyser skal det foretas en beregning og sammenligning av risikoen for personskader og materielle skader ved kjøring gjennom tunnel og på alternativ rute.

Farlig gods er definert gjennom ADR avtalen (Den Europeiske avtale om internasjonal transport av farlig gods). Overenskomsten utgis årlig på norsk.

I avtalen legges det opp til en inndeling i tre hovedgrupper med hensyn til skadepotensiale for trafikk/trafikanter og tunnelkonstruksjonen. De tre gruppene er:

- Stoffer etc. som kan gi eksplosjon
- Utslipp av farlige gasser eller flytende væsker
- Stoffer som kan gi brann

Dette gir grunnlag for å dele tunnelene inn i fem restriksjonsklasser (tabell 5.5).

**Tabell 5.5** Restriksjonsklasser ved transport av farlig gods

Restriksjonsklasse	Restriksjoner med hensyn til transport av farlig gods
<b>a</b>	Ingen restriksjoner på transport av farlig gods
<b>b</b>	Restriksjoner på farlig gods som kan gi en stor eksplosjon
<b>c</b>	Restriksjoner på farlig gods som kan gi en stor eksplosjon, eller stort utslipp av giftig gass
<b>d</b>	Restriksjoner på farlig gods som kan gi en stor eksplosjon, eller stort utslipp av giftig gass eller en stor brann
<b>e</b>	Restriksjoner på farlig gods unntatt følgende stoffer, UN nr. 2919, 3291, 3331, 3373

I Norge faller de fleste tunnelene normalt i restriksjonsklasse a. Dersom det transporteres særlig farlig gods i tunnelen vil en risikoanalyse kunne belyse behovet for å innføre andre restriksjonsklasser. Dette diskuteres med lokalt brannvesen.

Dersom det innføres restriksjoner skal dette skiltes på stedet og legges inn i den norske utgaven av ADR-overenskomsten.

## 5.6 Beredskapsplan

For alle tunneler lengre enn 500 m har tunneleier ansvar for at det utarbeides en beredskapsplan. Planen skal utarbeides under planlegging av tunnelen i samarbeid med lokale redningsetater. Nærliggende tunneler bør ses i sammenheng når beredskapsplan utarbeides.

For kortere tunneler vurderes det i hvert enkelt tilfelle om det skal utarbeides en forenklet beredskapsplan. Vurderingen gjøres sammen med brannvesenet, politiet og AMK (akuttmedisinske kommunikasjonsentraler).

En beredskapsplan er i prinsippet en avtale mellom tunnelens eier og redningsetatene om ansvarsdeling og innsats om det skulle oppstå et uhell i tunnelen. Den skal også ses i sammenheng med den etablerte trafikkberedskapen med tilhørende omkjøringsruter utenfor tunnelene.

Beredskapsplanen skal også inneholde en del om teknisk beredskap. Det vil si at tunnelforvalteren har vurdert korrektive tiltak for alle hendelser som kan skje med det tekniske utstyret i en tunnel.

Beredskapsplanverket for tunneler består i hovedsak av:

- En beskrivelse av tunnelen, utstyret i tunnelen, omkjøringsmuligheter og disponibelt innsatsutstyr
- En risikoanalyse (se egen veileder)
- En beredskapsplan for hendelser og svikt i det tekniske utstyret, inkludert sikkerhetsutstyret
- En beskrivelse av en del viktige scenarier med innsatsplaner for hver av disse, og med klargjøring av ansvarsforhold mellom de ulike etatene.

Beredskapsplanen skal utarbeides under planlegging av tunnelen og den skal utvikles videre i byggefasen og revideres etter behov. Det er viktig at planen er enkel å bruke.

I arbeidet med beredskapsplanen skal det også vurderes hvorvidt det skal innføres restriksjoner på transport av farlig gods gjennom tunnelen. Vedtak om restriksjoner fattes av Vegdirektoratet.

Batterier har begrenset kapasitet og det skal beskrives hvilke tiltak og på hvilket tidspunkt de skal iverksettes for å ivareta sikkerheten når batterikapasiteten er oppbrukt.

For mer informasjon om beredskapsplan og for gjennomføring av øvelser henvises det til håndbok 269 Sikkerhetsforvaltning av vegtunneler.

## 6 TRAFIKKSKILT, TRAFIKKSIGNALANLEGG OG VEGOPPMERKING

### 6.1 Generelt

Tidlig i arbeidet med prosjekteringen av tunnelen skal det utarbeides en detaljert skiltplan for tunnelen. Skiltplanen er vesentlig for utforming av tunnelen og kan være styrende for viktige byggetekniske forhold.

Detaljerte regler er gitt i håndbok 050 Trafikkskilt, håndbok 048 Trafikksignalanlegg, håndbok 049 Vegoppmerking og håndbok 062 Trafikksikkerhetsutstyr. Skilt og oppmerking i og utenfor tunnel skal følge håndbøkene. Noen skilt og enkelte typer oppmerking krever vedtak. I håndbøkene er det angitt hvilke det gjelder og hvem som er vedtaksmyndighet.

Det skal vurderes om skilt og signaler som er knyttet til tunnel og vanligvis plasseres nær tunnelinngangen, heller bør plasseres ved siste snumulighet eller vegkryss før tunnelen.

### 6.2 Trafikkskilt for tunneler

#### 6.2.1 Trafikkskilt utenfor tunnel

Av trafikksikkerhetshensyn skal skilting nær tunnelåpningen reduseres til et minimum. Skiltingen vurderes for hver enkelt tunnel. Noe av sikkerhetsutrustningen i tunneler medfører et skiltbehov, se punkt 6.2.2.

Minimumsavstander mellom skilt som er gitt i håndbok 050 Trafikkskilt skal overholdes også inn mot tunnelportal. Håndboken gir også detaljerte bestemmelser om hvilke skilt som kan plasseres på samme stolpe/mast og maksimalt antall skilt per stolpe.

Aktuelle skilt utenfor tunnel er vist i figur 6.1.

Eksempler på skiltplassing og avstand for ettløps- og toløpstunneler er vist i hhv. figur 6.2 og 6.3.



**Figur 6.1** Aktuelle skilt utenfor tunnel

Skilt **727.4 Tunnelnavnskilt** kan anvendes for tunneler lengre enn ca. 200 m, og skal settes opp for tunneler med lengde 500 m eller mer. Skiltet skal angi tunnelens lengde, og kan vise tunnelens navn. Skiltet plasseres 100 - 300 m foran tunnelåpningen, og minst 50 m foran andre skilt eller signaler for tunnelen. Skiltet skal ikke kombineres med andre skilt.

Når skilt 727.4 ikke anvendes, kan tunnel varsles med fareskilt **122 Tunnel** dersom tunnelen først blir synlig på en avstand av 150 – 250 m og er så lang eller ligger slik til at dagslys ikke belyser den i dens fulle lengde. Skilt 122 kan kombineres med underskilt 802 Avstand, men skal ikke kombineres med underskilt som viser tunnellengde.

Fareskilt **104 Bratt bakke** skal settes opp utenfor tunneler som har større helningsgrad enn 5 %. Dette for å varsle trafikanter som kan få problemer med å komme seg ut i en nødsituasjon (jf. punkt 4.2.3).

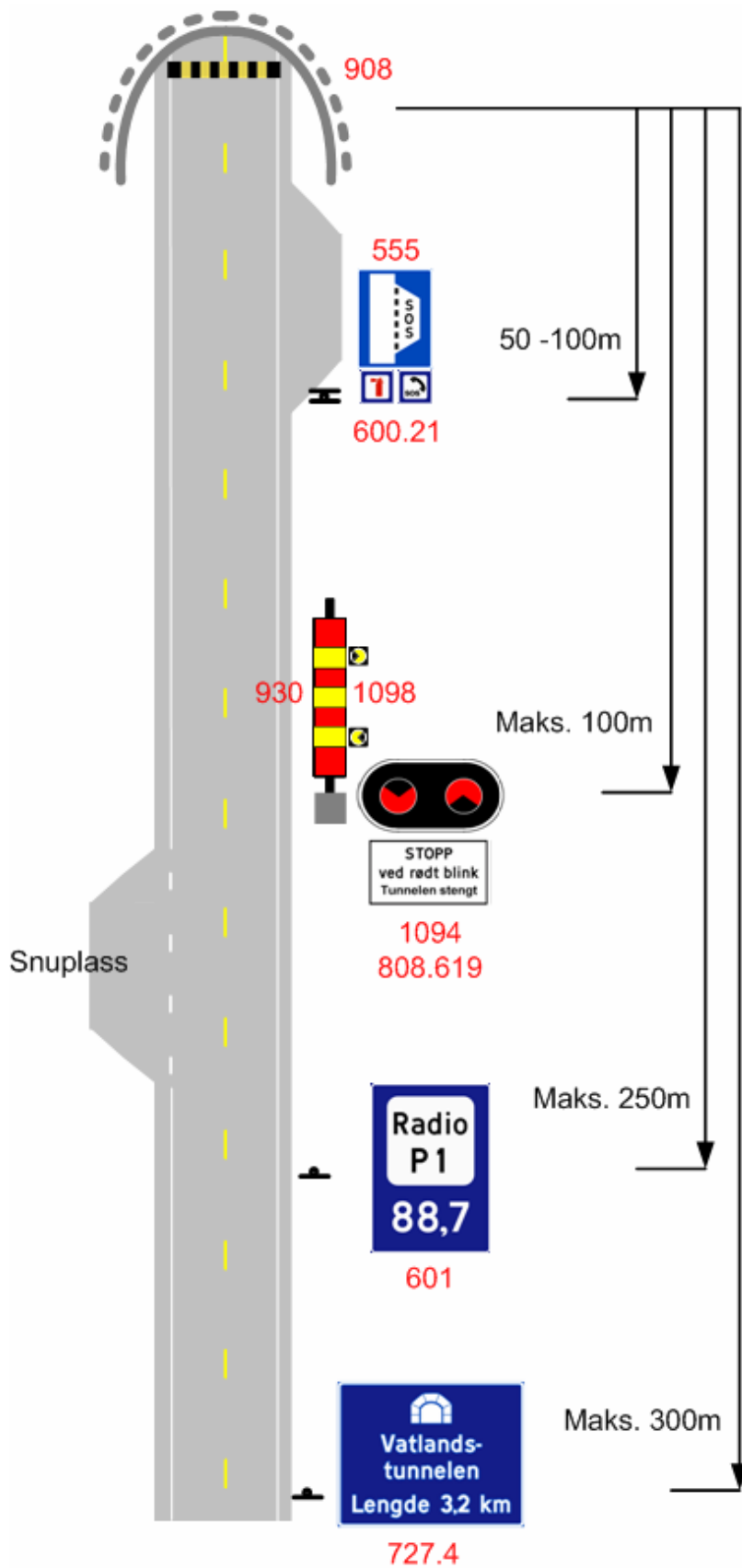
Forbudsskilt **314 Høydegrense** benyttes bare for tunneler med målt fri høyde lik eller mindre enn 4,59 m.

Forbudsskiltene **334 Forbikjøringsforbud**, **335 Forbikjøringsforbud for lastebil**, **306.8 Forbudt for gående og syklende** og **308 Forbudt for transport av farlig gods** benyttes der det er nødvendig på grunn av spesielle forhold.

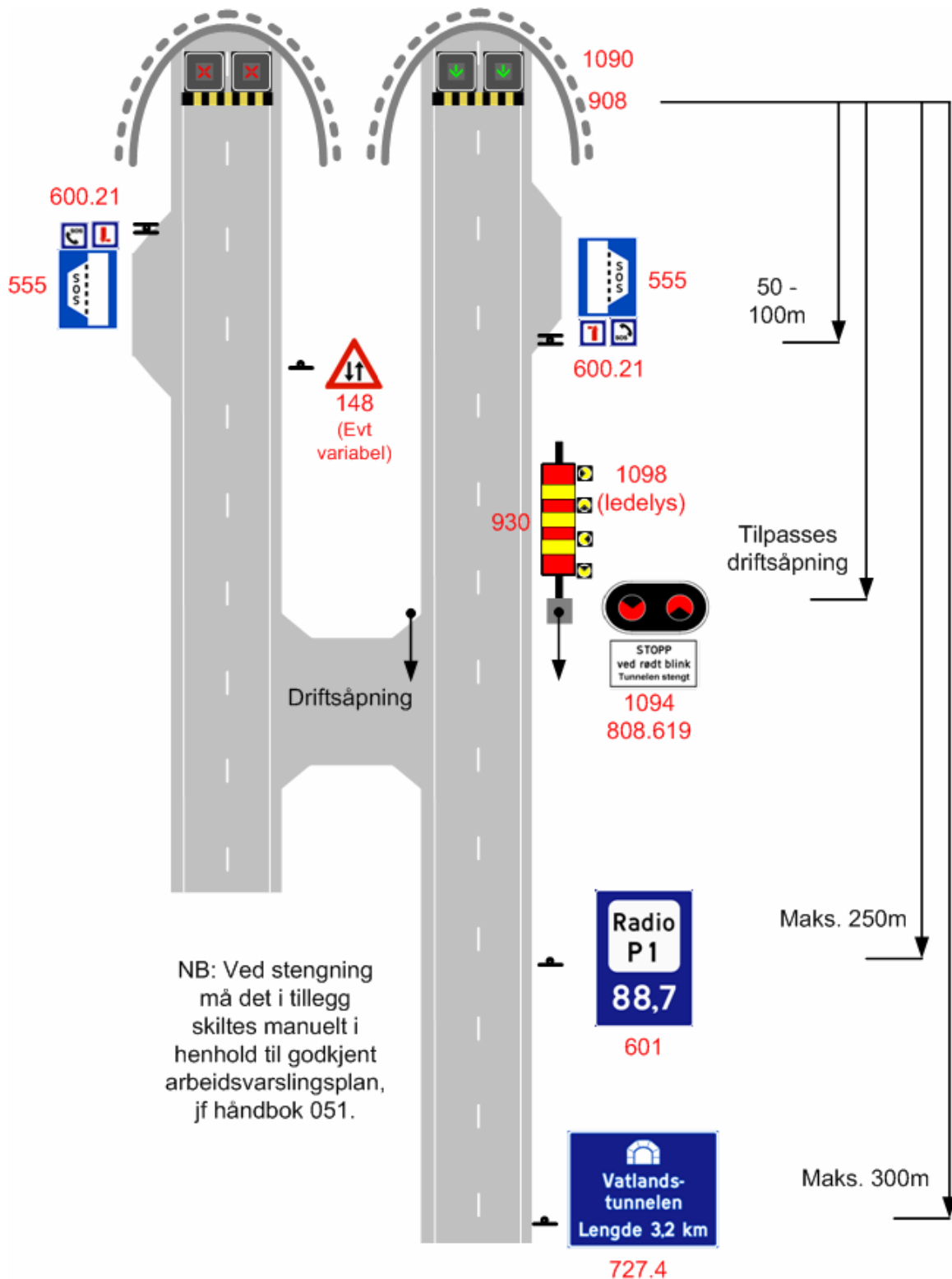
Bommer skal ha påmontert skilt **930 Sperremerking**, eller ha utforming som dette skiltet i fargene rødt og gult. Se også punkt 5.2.2.5 Fjernstyrte bomber for stengning av tunnel. Bommer bør plasseres minimum 50 m fra tunnelåpning for å sikre plass ved eventuell evakuering, røykutvikling, etc. For signal på bom, se punkt 6.3.

Nødtelefon og brannslukkere utenfor tunnelåpning (jf. kapittel 5) varsles med skilt, se punkt 6.2.2 og figurene 6.2 og 6.3.





Figur 6.2 Prinsippskisse som viser plassering av skilt i portalsone for ettløpstunnel



Figur 6.3 Prinsippskisse som viser plassering av skilt i portalene for toløpstunnel

## 6.2.2 Trafikkskilt i tunnel

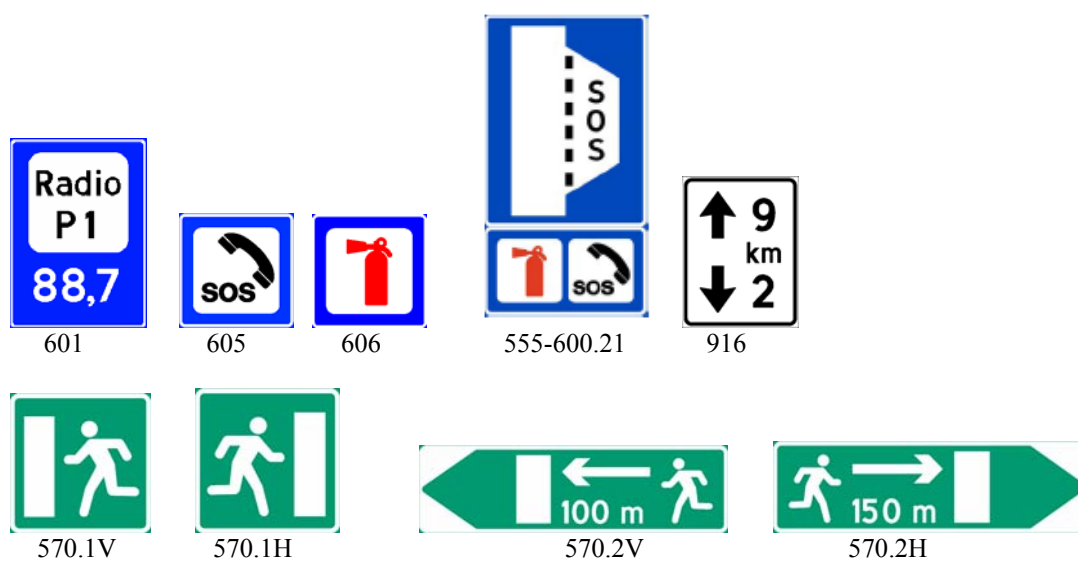
Tabell 5.1 gir krav til skilt som inngår i sikkerhetsutrustningen i tunneler.

Antall trafikkskilt inne i tunnelen skal holdes på et minimum. Det gjelder spesielt plasskrevende skilt fordi tunnelprofilen gir begrenset plass til skilting. Kryss umiddelbart etter tunnel medfører mange skilt og bør vurderes nøye.

Alle skilt i tunnel skal være godt synlige. Dette oppnås ved enten innvendig eller utvendig belysning.

Fri høyde under sideplasserte skilt skal være minimum 2,0 m over skulder.

Skilting i tunnel avviker ikke fra tilsvarende skilting utenfor tunnel. Trafikkregulerende skilt, fare-, opplysnings-, markerings- og vegvisningsskilt skal derfor vurderes på samme måte som for veg i dagen. I det følgende er noen skilt som er spesielt aktuelle inne i tunnel omtalt, se figur 6.4 og 6.5.



Figur 6.4 Aktuelle skilt i tunnel



Figur 6.5 Eksempel på skilt for snunisje i tunnel. To-posisjonsskilt vist i aktiv og passiv stilling.

Serviceskilt **601 Radiokanal** skal settes opp utenfor tunneler med innlagt kringkastinganlegg. Det skal bare skiltes med frekvensen for NRK P1 (som er offentlig beredskapskanal). Skiltet skal ikke kombineres med andre skilt.

I tunneler der tunnel-eier eller redningsetatene kan bryte inn med melding til trafikantene, skal skilt 601 gjentas inne i tunnelen for hver 500 m. Skiltet skal da kombineres med gult varselblinkanlegg som aktiveres når melding

blir sendt. Skiltet med varselblink skal være tosidig eller det settes opp ett skilt med varselblink for hver kjøeretning.

Skilt **916 Avstandsmarkering i tunnel** viser avstand til tunnelåpning i begge retninger. Skiltet skal monteres i tunneler lengre enn 3 000 m, og gjenværende tunnellengde skal være angitt hver 1 000 m.

Alle nødtelefoner varsles med serviceskilt **605 Nødtelefon**. Alle brannslukkere varsles med serviceskilt **606 Brannslukningsapparat**. Skiltene skal være tosidig eller det settes opp ett skilt for hver kjøeretning.

Havarinisjer med nødstasjon skal merkes med skilt **555-600.21 Havarilomme** med serviceskilt 600.21 (se figur 6.4).

Tverrforbindelser og andre rømmingsveier i tunnelen skal merkes med innvendig belyst skilt **570.1 Nødutgang** (se håndbok 050).

På tunnelveggen, parallelt med lengderetningen, monteres skilt **570.2 Retning og avstand til nærmeste nødutgang**. Skilt 570.2 monteres på samme side som tverrforbindelser/nødutgang. Det benyttes etterlysende skilt. Se for øvrig håndbok 050.

Tunneler med snunisjer merkes med egne skilt, se figur 6.5. Skiltet viser i en normalsituasjon en grå nøytral farge. Alternativt budskap etableres ved å sette spenning på skiltet slik at innvendige lyskilder tennes. Se håndbok 053 Bruk av variable trafikkskilt. Der disse skiltene suppleres med rødt stoppblinksignal (nr. 1094), skal det fattes vedtak for signalene av Vegdirektoratet.

Enkelte innvendig belyste skilt inne i tunnel kan ha redusert størrelse i forhold til skilt i dagen. Dette gjelder trekantede og sirkelformede skilt der en for størrelsene MS (middels størrelse, hhv. 900 og 800 mm) og SS (stor størrelse, hhv. 1200 og 1000 mm) kan gå ned en størrelse. Det gjelder også opplysningsskilt 530-538, som kan reduseres med opptil 30 %, og serviceskiltene 605 og 606 som kan ha bredde 440 mm. For overhengende kjørefeltskilt 709 og 719 kan som minimum teksthøyde 210 mm benyttes. Se håndbok 050 Trafikkskilt for detaljer.

Vegvisningsskilt er plasskrevende og er vanligvis mest gunstig å plassere over kjørebanelen i tunnel. Overhengende skilts virkning på ventilasjonsanlegg og belysning skal vurderes spesielt. Det er vanligvis ikke plass til mer enn én eller to tekstlinjer på vegvisningsskilt over kjørebanelen. Antall visningsmål skal derfor reduseres til et minimum. Sideplasserte skilt som er for store i forhold til tunnelprofilen kan plasseres i havarinisjer.

## 6.3 Trafikksignalanlegg for tunneler

Tunneler skal være utstyrt med **signal nr. 1094 Rødt stoppblinksignal** foran tunnelåpningene (se tabell 5.1 og håndbok 048 Trafikksignalanlegg).

Rødt stoppblinksignal benyttes når tunnelen skal stenges for trafikk.

Rødt stoppblinksignal skal ha to horisontalt plasserte røde lyshoder, om nødvendig plassert på sort bakgrunnsskjerm. Signalene bør styres med underskilt 808 (jf. håndbok 048). Det skal ikke plasseres andre skilt på stolpen for rødt stoppblinksignal.

Rødt stoppblinksignal bør plasseres på begge sider av vegen der trafikken ønskes stoppet.

Rødt stoppblinksignal plasseres på følgende steder:

- foran tunnelportalen
- ved snunisjer i tunnel, der slike finnes
- umiddelbart etter det sted som er definert som omkjøringspunkt for tunnelen

Rødt stoppblinksignal kan aktiveres som følger:

- automatisk ved fjerning av brannslukker
- automatisk på grunnlag av detektert for dårlig luftkvalitet

- fjernstyrt fra vegtrafikksentral
- lokalt via betjeningspaneler i anlegget.

Der det er aktuelt å stenge tunnelen relativt ofte i forbindelse med vedlikeholdsarbeider, kan det benyttes et variabelt skilt der både rødt stoppblinksignal og gult varselblinksignal (signal nr. 1098) inngår i skiltflaten (se håndbok 048).

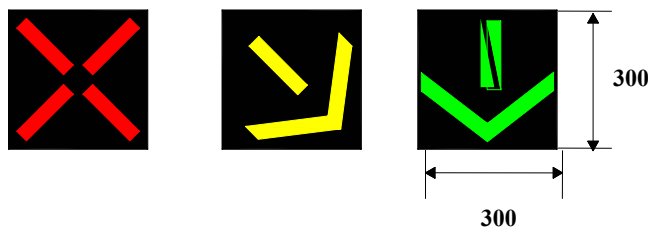
Rødt stoppblinksignal i tunneler med snunisjer (se punkt 6.2.2) kan aktiveres ved fjerning av brannsløkker, slik at signalene blir automatisk slått på i retning innover mot stengningspunktet, og i retning utover mot åpningene er signalene avslått.

#### Signal nr. 1098 Gult varselblinksignal

Gult varselblinksignal er aktuelt for bruk i forbindelse med skilt 601 Radiokanal (se punkt 6.2.2).

Fjernstyrte bommer, ved funksjon som ledebommer, utstyres med gule varselblinksignaler, som løpende gult blinksignal eller som vekselblink mellom to énlyshoder avhengig av hensikten med signalene (jf. håndbok 062). Ledebommer utstyres med lys / signaler på begge sider. For skilting av bom, se punkt 6.2.1.

**Signal nr. 1090 Kjørefeltssignal** er lyssignalhoder med følgende symboler (figur 6.6): rødt diagonalt kryss, gul blinkende skråpil (venstre/høyre) og grønn nedadrettet pil.



**Figur 6.6** Lysåpninger for kjørefeltsignaler (størrelser i mm)

Kjørefeltsignaler i forbindelse med tunneler skal kun benyttes for å angi unormal bruk av kjørefelt i enveiskjørtede tunneler. Signalene kan benyttes for avstenging av kjørefelt ved trafikkuhell, for å oppnå toveistrafikk i tunnellopet, eller i forbindelse med utførelse av sideorienterte vedlikeholdsarbeider. Signalene skal i normalsituasjonen være mørke. Se håndbok 048 Trafikksignalanlegg for detaljer.

Vegdirektoratet skal fatte vedtak om bruk av signal nr. 1090.

**Variable skilt** kan utføres med ulike teknologier. Det mest vanlige er mekanisk variable skilt eller lysdiodebaserte skilt (LED).

Av hensyn til krav til ensartet utforming av skiltmønstre på vegvisningsskilt benyttes nesten utelukkende mekanisk variable skilt for installasjoner som innebærer vegvisningsbudskap.

LED-skiltene kan utføres med fast definerte tilstander eller som fritt programmerbare skilt. Fritt programmerbare skilt benyttes primært som opplysningstavler. Skiltbudskap kan programmeres av operatør i vegtrafikksentral og umiddelbart overføres til skiltet for lokal lagring og/eller visning.

## 6.4 Vegoppmerking og visuell føring

Kantlinjer skal brukes til avgrensning av kjørebanelen mot skulder.

I toveiskjørtede tunneler i tunnelklasse B skal de to kjøreretningene være atskilt langs midtlinjen (enkelt- eller dobbelt linje) med lett synlige midler.

I toveistunneler i tunnelklasse C og D skal de to kjøreretningene være atskilt med et sperreområde i 1 meter bredde med lett synlige midler.

Kantlinjer, midtlinjer og oppmerking av sperreområde i tunneler skal utføres som profilerte (se håndbok 049 Vegoppmerking). Vegbanereflektorer bør vurderes, spesielt ved lavt belysningsnivå (for eksempel  $0,5 \text{ cd/m}^2$ ). Profilert oppmerking og vegbanereflektorer i tunnel bør føres minst 100 m ut av tunnelen. For øvrig utføres oppmerking som for veg i dagen, se håndbok 049.

## 7 ARBEIDER FORAN STUFF, STABILITETSSIKRING OG VANN- OG FROSTSIKRING

### 7.1 Etablering av forskjæring og påhugg

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

Ved detaljutforming av forskjæring og påhugg med hensyn til retning og helning skal det tas særlig hensyn til markerte svakhetsplan i bergarten (for eksempel utpreget skifrihet).

Sprengning legges opp slik at en unngår underkutting av potensielle glideplan som gir ustabile skjæringer.

En spesiell sprengnings- og sikringsplan skal utarbeides for påhugget.

Som regel benyttes redusert salvelengde for de første salvene til at stabilt påhugg er etablert. Alternativt kan det først drives en mindre pilotstoll eller et delsnitt av profilet med etterfølgende utstrossing til fullt profil.

Sikring av påhugg omfatter forhåndssikring. Sikringsmetodene kan omfatte forbolting, sprøytebetong og/eller utstøpt betong.

Der det sprenges to tunneløp, skal minste avstand mellom teoretiske sprengningsprofil være 10 m. Unntatt fra dette er områdene nær påhuggene, hvor avstanden kan reduseres og vurderes spesielt ut fra stabilitetsforhold, omfang av forskjæringsarbeidene og estetikk.

### 7.2 Arbeider foran stuff

#### 7.2.1 Sonderboring, kjerneboring og boreparametertolkning

Sonderboring benyttes for å skaffe opplysninger om bergkvalitet og vannlekkasjer foran stuff (se eksempel i figur 7.1). På basis av informasjonen tas det beslutning om det er behov for spesielle tiltak som for eksempel ytterligere sonderboring, forinjeksjon, forbolting, reduserte salvelengder mv. Det skal legges opp til tilstrekkelig tett sonderboring for å avdekke lekkasjeforholdene. Dette er særlig viktig i en startfase når lekkasjeforholdene er minst kjent.

I undersjøiske tunneler skal det gjennomføres systematisk sonderboring under kote 0.

Sonderboring kan utføres som:

- slagboring fra stuff
- kjerneboring.

Som regel anvendes slagboring med boreriggen.

Sonderboring bør utføres med boreparametertolkning, se under.

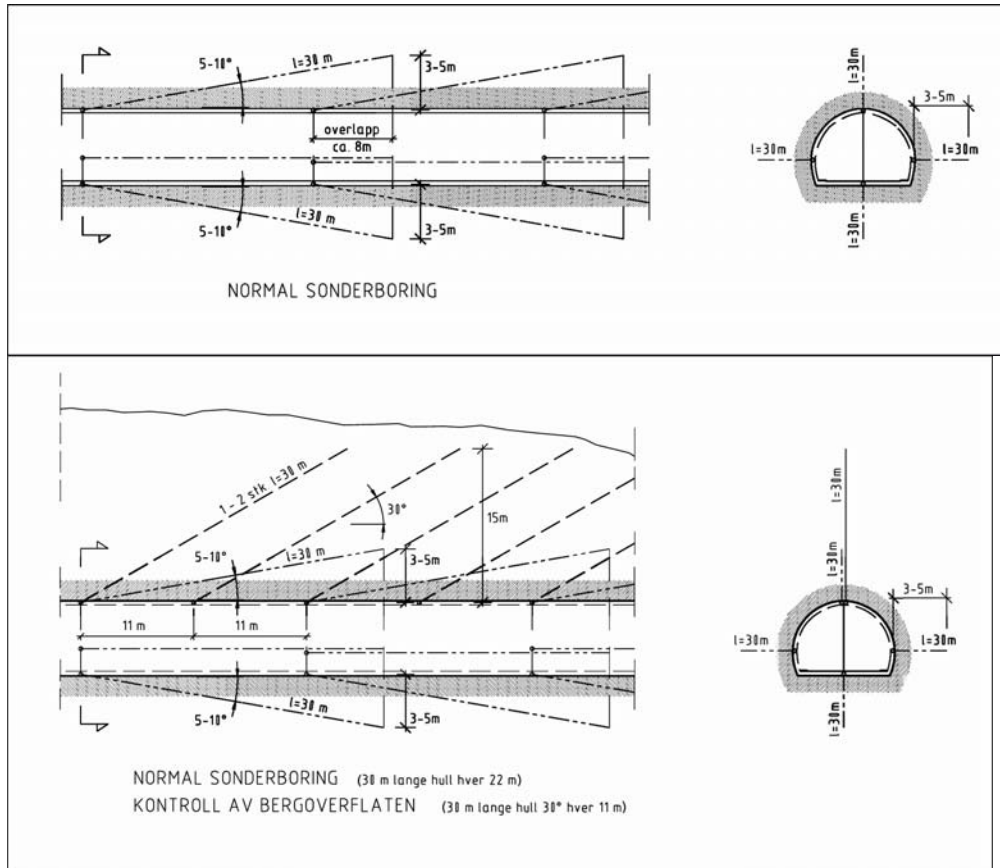
Kjerneboring benyttes i spesielle tilfeller der det er nødvendig med ytterligere informasjon om bergforholdene foran stuff, for eksempel ved større svakhetssoner. Kjerneboring brukes da som supplement til slagboring og utføres fra stuff i hengnivå.

#### **Boreparametertolkning**

Boreparametertolkning (eller Measuring while drilling – MWD) er et tolkningsprogram som bruker boreloggen fra tunnelboreriggens salve-, sonder-, bolte-, eller injeksjonsboringer til å dokumentere og tolke relativ oppsprekking, bergmassens hardhet og vanninntrengning foran stuff. Programmet kalibreres for hver enkelt tunnelrigg og for representativ bergmasse på stedet. Programmet skal kunne presentere resultatene i 3D umiddelbart etter boring for å kunne gi et bilde av forholdene foran stuff, for eksempel svakhetssoner.

Boreparametertolkning bør som et minimum være operativt der forundersøkelsene antyder bergklasse D eller dårligere (se tabell 7.1).

Kombinert med kjerneboring og forundersøkelser vil bruk av boreparametertolkning redusere risikoen for ras på stuff og være et godt hjelpemiddel til å sikre tunneldrivingen.



Figur 7.1 Eksempel på plan for sonderboring fra stuff

## 7.2.2 Forinjeksjon

Forinjeksjon benyttes i områder der vannlekkasjer kan påføre tunnelanlegget skader eller ulemper og/eller der det settes krav til maksimal innlekkasje for å hindre skadelige miljøpåvirkninger på omgivelsene.

På grunnlag av data fra geologiske forundersøkelser, utførte sonderboringer og vanntapsmålinger/lekkasjemålinger foretas en hydrogeologisk vurdering av berget foran stuff. På dette grunnlaget settes det opp en endelig plan for injeksjon. Når det gjelder øvrige forhold som er styrende for forinjeksjonen vises det til punkt 3.5. For nærmere informasjon om opplegg, prosedyrer og erfaringer med injeksjonsarbeider vises det til Publikasjon nr. 104 Berginjeksjon i praksis.

Ved planlegging og gjennomføring av et injeksjonsopplegg skal blant annet følgende være ivarettatt:

- Det er viktig at skjermen tilpasses de stedlige forhold
- Boring av kontrollhull skal ikke punktere skjermen
- Boltelengde skal tilpasses injeksjonsskjermen slik at denne ikke punkteres
- Sprengning skal utføres på en slik måte at injeksjonsskjermen ikke skades
- Injeksjonstrykk og stoppkriterier skal fastsettes
- Injisering skal også foretas i stoffen
- Det skal stilles krav til injeksjonsmiddelets langtidsbestandighet



### **7.2.3 Sprengning**

Sprengningen skal utføres slik at en får jevnest mulig vegger og heng. En gjennomført kontursprengning (slettsprengning) med redusert ladning i nest siste rast og konturrast er nødvendig for å kunne oppnå dette.

Sprengningsopplegget skal planlegges og tilpasses bergartene langs traséen, fordi enkelte bergarter er mer sprengningsømfintlige enn andre.

## **7.3 Stabilitetssikring**

### **7.3.1 Generelt**

Bestemmelse av riktig sikringsmetode og sikringsomfang for permanent stabilitetssikring bygger på geologiske og geofysiske forundersøkelser kombinert med informasjon fra borer og kartlegging i tunnel inkludert bergmasseklassifisering.

Sikringsklasser, med sikringsomfang og sikringsmetoder, bestemmes fra tabell 7.1 ved hjelp av bergmasseklasser.

Utført sikring, spesielt sprøytebetongen, skal kontrolleres for sprekker og dårlig heft minst en gang før tunnelen kles med vann- og frostsikring. Kontrollen utføres i samarbeid med en representant for tunnelforvalter i driftsfasen. Eventuelt behov for ettersikring utføres og dokumenteres. Dersom tunnelen blir stående uten trafikk i flere år, kan det være aktuelt å foreta flere inspeksjoner.

Der to tunneløp drives parallelt, bør det være en avstand mellom stoffene for å sikre at erfaringene fra ett tunneløp kan nyttiggjøres i det andre. Avstanden bør være ca. 50 m.

Det skilles mellom stabilitetssikring ved og bak stuff.

All sikring skal utføres slik at den kan inngå i den permanente sikringen.

Det er bergets egenskaper som i hovedsak bestemmer sikringsmetoden. I tillegg vektlegges forhold som vannlekkasjer, frostmengde, metode for vann- og frostsikring og tunnelstandard generelt.

### **7.3.2 Grunnlag for bestemmelse av permanent sikring – fastsettelse av sikringsklasse**

Det skal utføres geologisk kartlegging før påføring av sprøytebetong i hele tunnelens lengde som grunnlag for bestemmelse av stabilitetssikring og senere dokumentasjon av geologi og utført sikring. I byggefasen skal det derfor avsettes tilstrekkelig tid til geologisk kartlegging. Kartleggingen skal utføres etter at salven er utlastet og etter at det er utført forsvarlig driftsrensk. Der berget ikke blir innsprøytet/tildekket etter hver salve kan kartleggingen omfatte flere salver.

Registreringen skal omfatte en generell geologisk kartlegging hvor bergart, strukturer, sprekkegeometri, bruddsoners orientering og bredde og eventuell leire klassifiseres. Spenningsforhold og vannlekkasjer vurderes og registreres. På grunnlag av bergmasseklasser (se punkt 2.1) defineres sikringsklasser i henhold til tabell 7.1.

Utført sikring skal dokumenteres ved at det utarbeides en oversikt over type sikring, omfang, plassering og eventuelle spesielle forhold.

Utført sikring, sammen med geologiske registreringer i tunnel, injeksjon, m.m. presenteres på en oversiktlig måte og rapporteres både på papir og i elektronisk form (se kap. 12 Krav til dokumentasjon).

**Tabell 7.1 Sammenhengen mellom bergmasseklasser (Q-systemet) og sikringsklasser – permanent sikring**

Bergmasse klasse	Bergforhold Q-verdi <sup>(1)</sup>	Sikringsklasse Permanent sikring
A/B	Lite oppsprukket bergmasse. Midlere sprekkeavstand > 1m. Q = 10 – 100	<b>Sikringsklasse I</b> - Spredt bolting - Sprøytebetong B35 E700 tykkelse 80 mm, ned til 2 m over såle
C	Moderat oppsprukket bergmasse. Midlere sprekkeavstand 0,3 – 1 m. Q = 4 – 10	<b>Sikringsklasse II</b> - Systematisk bolting (c/c 2 m), endeforankrete, forspente, gyste - Sprøytebetong B35 E700, tykkelse 80 mm, sprøytes ned til såle
D	Tett oppsprukket bergmasse eller lagdelt skifrig bergmasse. Midlere sprekkeavstand < 0,3 m. Q = 1 – 4	<b>Sikringsklasse III</b> - Sprøytebetong B35 E1000, tykkelse 100 mm eller mer. - Systematisk bolting (c/c 1,5 m), endeforankrete, endeforankrete som gyses i ettertid, eller gyste
E	Svært dårlig bergmasse.  Q = 0,1 – 1	<b>Sikringsklasse IV</b> - Forbolting ved Q < 0,2, ø25 mm, maks. c/c 300 mm - Sprøytebetong B35 E1000, tykkelse 150 mm. - Systematisk bolting, c/c 1,5 m, gyste - Armerte sprøytebetongbuer ved Q < 0,2, buedimensjon E30/6 ø20 mm, c/c 2 – 3 m, buene boltes systematisk, c. 1,5 m, lengde 3 – 4 m. <sup>(2)</sup> - Sålestøp vurderes
F	Ekstremt dårlig bergmasse.  Q = 0,01 – 0,1	<b>Sikringsklasse V</b> - Forbolting, c/c 200 – 300 mm, ø32 mm eller stag (selvborende). - Sprøytebetong B35 E1000, tykkelse 150 – 250 mm. - Systematisk bolting, c/c 1,0 – 1,5 m, gyste. - Armerte sprøytebetongbuer, buedimensjon D60/6+4, ø20 mm, c/c 1,5 – 2 m, buene boltes systematisk, c. 1,0 m, lengde 3 – 6 m. <sup>(2)</sup> - Armert sålestøp, pilhøyde min. 10 % av tunnelbredden.
G	Eksepsjonelt dårlig bergmasse, stort sett løsmasse, Q < 0,01	<b>Sikringsklasse VI</b> - Driving og permanent sikring dimensjoneres spesielt.

<sup>(1)</sup> Q-verdiene er gitt for uniaxial compressive strength, UCS = 100 MPa

<sup>(2)</sup> For krav til materialer, metoder og løsninger henvises til Teknologirapport nr. 2538: Arbeider foran stuff og stabilitetssikring i vegtunneler.

Kommentarer til tabell 7.1:

- Ved driving inn mot svakhetssoner etableres en undersøkelses- og sikringsone minimum 15 m foran svakhetssonen. Her startes sonderboring, forbolting og eventuell injeksjon.
- Q-verdi i dagen, brukt til planlegging av mengde og type av sikring, er forskjellig fra Q-verdier funnet på sprengt flate
- Salvestørrelse bør vurderes i forhold til bergmasseforhold og spennvidde. Salvelengden bør reduseres minst fra og med sikringsklasse IV
- Bolter til permanent sikring skal normalt være omsluttet av betong og gyst med godkjent boltømørtel, for lengst mulig levetid.
- Endeforankret bolt til permanent sikring skal være limt og ikke mekanisk forankret.
- Gitterbuer kan benyttes i stedet for dobbeltarmerte buer i sikringsklasse V.
- For sikring av soner med svelleleire, se betongutstøping (punkt 7.3.3).
- Sikringsopplegg i bergmasse med store deformasjoner på grunn av sprak eller tyteberg skal dimensjoneres spesielt.
- Ved bergtrykksproblemer brukes limte endeforankrede bolter (polyester).
- I sikringsklasse I kan behovet for systematisk bruk av sprøytebetong vurderes.

### 7.3.3 Metoder

Følgende metoder er vanlige som stabilitetssikring alene eller i kombinasjon:

- rensk (se håndbok 025, prosess 33.1)
- bolter (se håndbok 025, prosess 33.2 og håndbok 215 Fjellbolting)
- bånd og nett (se håndbok 025, prosess 33.3)
- sprøytebetong (se håndbok 025, prosess 33.4)
- sprøytebetongbuer (se håndbok 025, prosess 33.44 og Tek-rapport nr. 2538)
- betongutstøping (se håndbok 025, prosess 33.5)
- forinjeksjon brukt som stabilitetssikring (se punkt 7.2)
- forbolting (se håndbok 025, prosess 33.2 og Tek-rapport nr. 2538)

#### **Sprøytebetong**

Av hensyn til bestandighet/levetid skal sprøytebetong utføres med gjennomsnittstykkelse ikke mindre enn 80 mm, og med god kontroll med akseleratortilsetningen.

#### **Sprøytebetongbuer**

Permanent stabilitets-/bergsikring kan i de fleste tilfeller og for alle sikringsklasser ivaretas med bruk av sprøytebetong kombinert med bolting / forbolting og armerte sprøytebetongbuer, bortsett fra i enkelte områder hvor betongutstøping bør utføres (se under).

Der sprøytebetongbuer benyttes som permanent sikring, skal avstand mellom buene være mellom 1,5 og 3 m avhengig av geologi, spennvidde og valgt konstruksjon (se Tek-rapport nr 2538).

Det er viktig at sprøytebetongbuer etableres med riktig teoretisk profil etter tunnelprofilen, bygges opp med tilstrekkelig armering og tykkelse og fundamenteres i vegg og såle.

#### **Betongutstøping**

Betongutstøping utføres som hovedregel bak stuff og benyttes som permanent sikring ved:

- Svelleleiresoner med svelletrykk  $> 0,5$  MPa, funnet ved ødometer-test. Gjelder for svelleleiresoner over 2 meters mektighet eller som følger tunnelen i mer enn 2 m. Soner med vinkel til tunnelaksen sikres i hele sin lengde og støpen bør ha forankring minimum 5 m på hver side av sonen i tunnelretningen
- Partier av tunnelen med kritisk bergoverdekning over en lengre strekning.

Ved fare for stor og/eller skjev trykkbelastning utføres i tillegg sålestøp som en del av betongutstøpingen. Behov for armering/forankring skal vurderes i hvert enkelt tilfelle. Armering/forankring kan være nødvendig ved fare for sidetrykk eller flate partier i hengen.

Vanntett støp uten membran skal være armert.

## 7.4 Krav til utstyr og beredskap ved driving av undersjøiske tunneler

For undersjøiske tunneler skal det være beredskap på anlegget for å kunne håndtere vanninnbrudd og for raskt å kunne foreta injeksjon.

Ved driving av den undersjøiske delen av tunnelen kreves støpeskjold med avstengningsmulighet for gjenstøping av stuffen. Skjoldet skal alltid være oppmontert og i beredskap nær stuff.

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 som regel være nødvendig med reservekraftanlegg.

Komplett utstyr og materialer for å kunne utføre injeksjon foran stuff skal være tilført anlegget når tunneldriften starter.

## 7.5 Frostinntrengning i tunneler

### 7.5.1 Generelt

Frostisolasjonen dimensjoneres i henhold til frostmengden på stedet. Ved fastsettelse av dimensjoneringskriterier legges vanligvis frostmengden  $F_{10}$  (h°C) til grunn.

$F_{10}$  defineres som den frostmengde som statistisk sett overskrides én gang i 10-års perioden.

I de tilfeller hvor det kan dokumenteres lavere frostmengde innover i tunnelen, kan frostmengden i tunnelen legges til grunn,  $F_{10T}$  (h°C).

Lokale forhold kan gi større frostmengde enn  $F_{10}$  angitt for kommunen. Dimensjonerende frostmengde bør da fortrinnsvis baseres på lokale målinger.

Tabell for frostmengder i alle landets kommuner er gitt i vedlegg E.

### 7.5.2 Frostinntrengning

Det er flere fysiske årsaker til at frost trenger inn i tunneler. Disse kan oppsummeres som følger:

- Den drivende kraften for naturlig utskifting av luft i tunneler er temperaturforskjellen der varm luft er lettere enn kald og stiger og blir erstattet av kald tung luft (pipeeffekt).
- I horisontale tunneler vil varm luft strømme ut ved åpningene og bli erstattet av kald luft nede ved vegbanen. I korte tunneler og ved langvarig kulde vil kaldluften etter hvert trenge gjennom hele tunnelen. Fremherskende vindretning, mekanisk ventilasjon og stempeleffekten fra trafikken påvirker frostinntrengningen.
- I høytrafikk tunneler med to løp og ventilasjon i trafikkretningen, vil ventilasjon og stempeleffekt være dominerende. Frosten trenger langt inn i trafikkretningen og nesten ingen frost trenger inn fra utkjørselsiden. Frostinntrengningen i disse tunneler er lite påvirket av pipeeffekten. Også undersjøiske tunneler med to løp har et tilsvarende frostprofil.
- Undersjøiske tunneler viser seg i stor grad å være påvirket av lokalklimatiske forhold. De fleste ligger i områder med liten frostbelastning, men lokalt kan frosten trenge langt inn.
- Noen lange tunneler kan ligge på klimaskillet. Frostinntrengningen i disse tunnelene kan derfor avvike fra det normale bildet f.eks. ved påvirkning fra høytrykk/lavtrykk.
- I tunneler med asymmetrisk frostprofil (i lengre tunneler med stigning og i enveis høytrafikk tunneler) er det sjelden at nevneverdig frost trenger lenger inn enn 200-300 m fra øvre åpning / åpning med utkjørende trafikk.

Usikkerheten knyttet til frostinntrengning er så stor at alle tunneler med lengde inntil 500 m skal dimensjoneres for frostmengden ute ( $F_{10}$ ).

For lengre tunneler vurderes frostinntrengningen i hvert enkelt tilfelle. Vurdering av lokale forhold legges til grunn kombinert med erfaringer fra lignende tunneler. Om mulig bør det også utføres målinger av trekkforholdene i tunnelen.

## 7.6 Vann- og frostsikring ved avskjerming

### 7.6.1 *Generelt*

Vegtunneler skal sikres spesielt mot vann og is. Sikringen utføres som regel ved at det monteres en avskjerming som fører vannet ned til grøft. Dersom frostmengden overstiger angitte grenser, utføres avskjermingen som en isolert konstruksjon.

For konstruksjonstyper, funksjonskrav og dimensjoneringsregler henvises til håndbok 163 Vann- og frostsikring i tunneler.

Nye konstruksjoner krever typegodkjenning fra Vegdirektoratet. Dette gjelder også modifikasjoner av allerede godkjente løsninger.

### 7.6.2 *Valg av konstruksjon*

Valg av konstruksjon bestemmes ut fra tunnelklasse, frostmengde, krav til vedlikehold, estetikk, og økonomi. I tillegg skal det tas hensyn til eventuelle spesielle forhold ut fra en lokal vurdering.

For tunneler i tunnelklasse D, E og F skal det benyttes løsninger som inkluderer gjennomgående veggelementer av betong. Veggelementene gis som regel en høyde som tilsvarer 3,5 m over kjørebanelen.

For tunneler i tunnelklasse C skal det i innkjøringssonene benyttes løsninger som inkluderer veggelementer av betong. Lengden av innkjøringssonen skal ses i sammenheng med belysningssonene. Veggelementer skal minst benyttes til og med halve lengden av overgangssonen (se figur 10.1).

For øvrig i tunnelklasse C og i tunnelklasse A og B skal det benyttes en nedre føringskant av betong. Høyden på slik føringskant skal være minimum 0,9 m over skulder.

Overflater av sprøytebetong bør gis en overflatebehandling som gir økt bestandighet, enklere vedlikehold og bedre sikkerhet/kjørekomfort.

Eventuelle alternative løsninger til veggelementer av betong kan bli vurdert i forbindelse med typegodkjenning.

### 7.6.3 *Tilrettelegging for inspeksjon bak vann-/frostsikringshvelv*

Vann- og frostsikringskonstruksjoner i tunnelklasse C, D, E og F skal tilrettelegges for inspeksjon av berg og bergsikring (punkt 4.5.1), med adkomst gjennom inspeksjonsluker. Inspeksjonslukene plasseres med maksimum avstand 200 m, på hver side av tunnelen.

Stedsangivelse (profilnummer eller tilsvarende) skal skiltes/merkes, foran og bak hvelv, for minimum hver 20. m, slik at inspeksjonen enkelt kan relateres til eksakt sted.

For alle typer vann- og frostsikringskonstruksjoner skal det legges til rette for at berg og bergsikring skal kunne inspiseres på en trygg måte og sikre personellet mot å skli ned eller gå gjennom selve konstruksjonen. Dersom det er nødvendig med adkomst fra tunnelsålen til heng skal adkomsten baseres på bruk av stige. På sålen bak vann- og frostsikringskonstruksjonen skal underlaget være gangbart. Utstikkende bolter skal kappes og rommet bak hvelv ryddes for løse gjenstander.

## 8 DRENERING

### 8.1 Generelt

Vannlekkasjer i tunnel skal føres frostsikkert ut av tunnelen via drenssystemet. Lekkasjer i vegger og heng samles opp ved at det monteres en avskjerming som fører vannet ned til grøft (se punkt 7.6).

Vannlekkasjer i tunnelsåle er like vanlig som lekkasje i vegger og heng. Lekkasje samles opp via et drenslag som plasseres over avrettet traubunn.

I tillegg til et drenssystem for lekkasjevann skal det også etableres et eget system for overvann og oppsamling av vann fra vasking av tunnelen. Alternativt kan det vurderes å etablere et system for oppsamling av vaskevann utenfor tunnelen.

### 8.2 Drenssystem

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

Ved dimensjonering av drenssystem skal blant annet følgende forhold vurderes:

- forventet lekkasje
- mulige endringer i lekkasjer over tid
- nedslagsfelt og nedbørmengder i dagsoner
- spesielle vurderinger ved lite fall, fare for tilslamming og/eller begroing av ledninger
- behov for reservemagasin i forbindelse med lavbrekk
- behov for hjelpedrensrør i våte partier (se figur 8.2)
- frostsikring av drenssystemet, inklusive kummer

Drensrør i hovedgrøft skal ha en innvendig diameter på minimum 150 mm. Drensrør i hjelpegrøft skal ha innvendig diameter på minimum 100 mm.

I tillegg til drensledningen kan det være nødvendig å benytte egen transportledning for drensvann. Det benyttes da en egen transportledning fra det sted i tunnelen der samlet lekkasje fører til at 50 % eller mer av drensledningens kapasitet er utnyttet. En egen transportledning vurderes også ved lange strekninger med lite fall og med fare for tilslamming i drensledningen. Alternativt kan det vurderes å øke dimensjonen på drensledningen for å begrense lengden med egen transportledning.

Drenssystemet i undersjøiske tunneler er utsatt for gjengroing. Drenssystemet skal derfor overdimensjoneres med 50 % eller mer i forhold til dimensjonerende kapasitet i ikke-undersjøiske tunneler. Der fallet er under 1 % bør kapasiteten økes med 100 %.

Avstanden mellom kummer på samme ledning bør ikke overstige 80 m.

Hovedregelen er at drenssystemet legges etter at tunnelen er ferdig drevet for å unngå tilslamming. Der det er aktuelt med legging av drenssystemet parallelt med driving skal det ved dimensjonering tas hensyn til eventuell uforutsett økning i lekkasjemengden og fare for tilslamming. Det skal da i tillegg legges en midlertidig ledning for drifts- og lekkasjevann.

### 8.3 Grøfter

Teoretisk sprengningsprofil for grøftebunnen definerer underkant av ledningsfundamentet.

Ledningsfundamentets tykkelse skal være minimum 150 mm under ledningens underkant og slik at det blir minimum 100 mm under muffen. Ledningsfundamentets bredde skal være minst 1,5 ganger ledningens

nominelle diameter eller minst lik ledningens utvendige diameter pluss 200 mm. Det kriteriet som gir størst bredde skal velges.

Grøften skal plasseres i tilstrekkelig avstand fra tunnelveggen slik at fundamentering for eventuelle vann- og frostsikringskonstruksjoner og sikringsstøp kan utføres utenfor grøft i sålenivå.

Dersom frostmengden i tunnelen ( $F_{10T}$ ) er større enn 6 000 h°C skal drencsystemet frostsikres med isolasjon eller tilstrekkelig dyp grøft. Krav til minimum grøftedybde uten frostisolasjon er gitt i tabell 8.1.

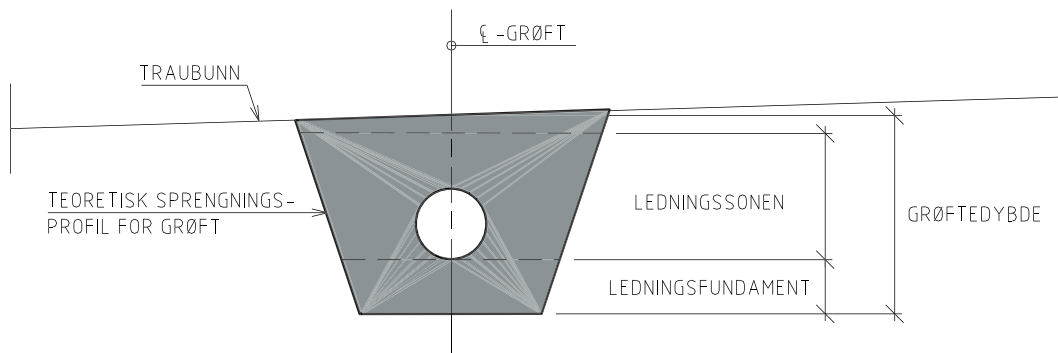
Ved bruk av isolert vegfundament (jf. kapittel 9) ivaretas frostsikringen ved at isolasjonen i vegfundamentet føres over grøft og frem til kontakt med eventuell konstruksjon for vann- og frostsikring av vegg og hvelv.

Risiko for kuldebroer i overgang mellom grøft og vann- og frostsikringskonstruksjon skal vurderes spesielt.

I tilfeller med store lekkasjer kan det være hensiktsmessig å anlegge grøfter på hver side i tunnelen.

**Tabell 8.1** Krav til minimum avstand fra topp ferdig veg til ledningsfundament uten frostisolasjon

Frostmengde i tunnel, $F_{10T}$ (h°C)	Minimum avstand fra topp ferdig veg til ledningsfundament (m)	Kommentar
< 6 000	-	Ingen krav til frostsikring
6 000 - 10 000	1,0	
10 000 - 15 000	1,5	
> 15 000	-	Grøft og kummer skal alltid frostisoleres



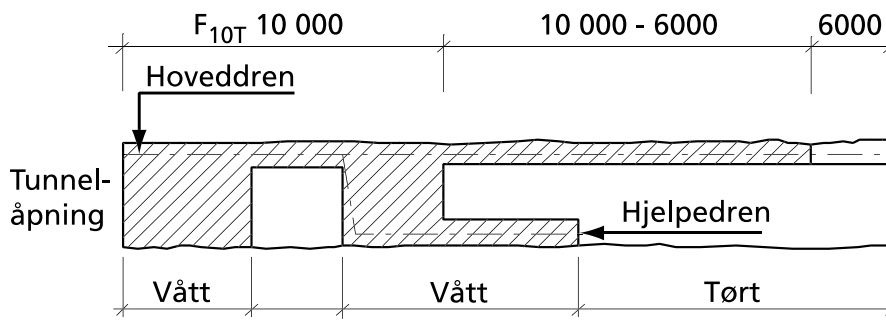
**Figur 8.1** Krav til grøftedybde, prinsippkisse

Til frostsikring av grøfter benyttes fortrinnsvis skumglassgranulat eller lettklinker. I de tilfeller isolasjonsplater benyttes til frostsikring skal det benyttes ekstrudert polystyren (XPS) med korttids trykkfasthet på minimum 500 kPa dokumentert i henhold til håndbok 014 Laboratorieundersøkelser. Tykkelsen på isolasjonsplatene skal minimum være 50 mm. Ved isolasjon av grøftene skal isolasjonen legges dypest mulig i grøfta.

Det må settes krav til komprimering slik at platene ikke overbelastes.

Krav til avrettingsmaterialer i kontakt med isolasjonsplater er gitt i håndbok 018 Vegbygging.

Figur 8.2 viser en prinsippkisse av isolert såle og drencsystem i tunnel. I nedkant av lekkasjesoner skal det etableres en avskjæringsgrøft for at vannet i sålen ikke skal kunne spre seg til tørre partier.



**Figur 8.2** Prinsipp for frostsikring ved bruk av isolasjon. Skravert felt viser områder med frostsikringstiltak i sålenivå.

## 8.4 System for oppsamling av overflatevann og vaskevann

På ledning for oppsamling av overflatevann og vann fra vask av tunnelen skal det monteres sandfang med største avstand 80 m. Sandfangene plasseres fortrinnsvis midt mellom inspeksjonskummene på drensledningen. Av driftshensyn bør sandfang anlegges i havarinisjene.

Sandfangene 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 m.

Det skal legges spesiell vekt på at eventuell lekkasje av brannfarlige væsker ikke skal spre seg til andre deler av tunnelrommet. Sandfangene skal derfor utstyres med dykker, utført i brannsikkert materiale.

I tunneler med kantstein skal det monteres sluk for å lede vaskevannet til sandfangene. Det skal benyttes en sluktype som kan integreres i skulder/kantstein og som tar hensyn til plassbehovet for trekkerør mv. som skal legges forbi sluket.

Dimensjon på ledninger for oppsamling av vaskevann skal være minimum  $D = 150 \text{ mm}$ .

Generelt skal tunnelen spyles/vaskes så ofte at det ikke kreves spesielle tiltak for å samle opp vannet utenfor tunnelen, se punkt 3.7.

## 8.5 Kummer for slokkevann

Drenssystemet kan suppleres med egne kummer for slokkevann (se punkt 5.2.2.4). Løsningen betinger at det i tillegg er et eget lukket system for oppsamling av vaskevann. Vaskevannsledningen vil da samle opp eventuelle brannfarlige væsker og føre disse utenom slokkevannskummene. Kummene skal plasseres i tilknytning til havarinisjene. Løsningen vurderes i samråd med det lokale brannvesen. Kummene kan også benyttes til etterfylling ved vask av tunnelen.



## 8.6 Pumpestasjoner, pumpeledninger

Pumpestasjonen vil som regel bestå av pumpearrangement og pumpemagasin. I tillegg kommer egen slamutskiller og oljeutskiller. Vanligvis føres drenevannet inn via slamutskiller, mens spylevannsledningen kobles direkte til oljeutskiller.

Pumper skal være tørroppstilte. Størrelse og antall pumpestasjoner skal bestemmes ut fra stedlige forhold, totalt energiforbruk, drift og vedlikehold, sikkerhets- og beredskapsnivå. Det skal stilles høye krav til driftssikkerhet og til materialkvaliteter. Materialkvaliteter skal være tilpasset vannkvalitet, saltinnhold, krav til levetid mv.

Pumpeledninger bør utføres i plast så lenge krav til trykkklasse kan oppfylles.

I undersjøiske tunneler skal pumpemagasinene ikke ha mindre totalvolum enn 24 timers innlekkasje. Pumpene skal dimensjoneres med 50 % reservekapasitet.

Gulv i teknisk rom skal plasseres minimum 1 m over kjørebanelen slik at pumpene ikke settes ut av drift ved uforutsett oversvømmelse av pumpestasjonen.

Lekkasjevann bør pumpes trinnvis ut av tunnelen. Det bør plasseres en pumpestasjon når trykklassen er i underkant av PN 10, det vil si en løftehøyde på ca. 80 m. Dette muliggjør bruk av enkelt pumpeutstyr.

Det bør legges til rette for at vannet kan pumpes ut i begge retninger.

I tillegg bør det i undersjøiske tunneler, innenfor hver av tunnelportalene, plasseres en enkel pumpestasjon med tilhørende kummer og sluker, for å fange opp og pumpe ut overflatevann.

For detaljerte systembeskrivelser henvises til Teknologirapport nr. 2402 Trinnpumping i undersjøiske tunneler.

## 9 VEGFUNDAMENT OG VEGDEKKE

### 9.1 Generelt

Valg av oppbygning for vegfundamentet bestemmer tykkelsen av samlet vegoverbygning og dermed nivå for teoretisk sprengningsprofil (traubunnsnivå i tunnelsålen). Ved valg av materialer og oppbygning skal det derfor gjøres en teknisk/økonomisk vurdering hvor alle forhold som påvirkes av traubunnsnivået trekkes inn. I tillegg til selve vegfundamentet gjelder dette blant annet følgende forhold:

- Kostnader for sprengning og utlasting
- Behov for frostsikring
- Konsekvenser for grøftedybder og de installasjoner som inngår i drencsystemet
- Konsekvenser for trekkerørtraseer, rørkryss, størrelse på trekkekummer mv.
- Fundamenteringsnivå for valgt konstruksjon for vann- og frostsikring.

Behov for frostsikring skal vurderes i hvert enkelt tilfelle. Vegoverbygningen skal sikres mot telehiv der frostmengden i tunnelen ( $F_{10T}$ ) er større enn 10 000 h°C. Dersom det kan dokumenteres tørre strekninger i sålen kan frostsikring sløyfes på disse strekningene. Frostinntrengning i tunneler generelt er omtalt i kapittel 7, punkt 7.5.

Ut fra de krav som er satt til frihøyde og samlet høydeteranse, skal det kontrolleres at de toleransekrav som settes til høyde og jevnhet av de ulike lag som inngår i vegfundament og vegdekke, henger sammen innbyrdes og totalt.

Krav til dimensjonering av vegoverbygning i tunnel er beskrevet videre i dette kapitlet og i håndbok 018 Vegbygging.

### 9.2 Traubunn

Teoretisk sprengningsprofil skal legges på et nivå som gir plass til valgt vegoverbygning. Nivået for traubunnen skal være sammenfallende med teoretisk sprengningsprofil. I praksis vil etablering av traubunn kreve en utlasting av overskuddsmasser eller oppfylling med egnede masser og avretting. Traubunn skal ha ensidig fall på minst 3 %.

Det forutsettes at gjenværende masser har tilstrekkelig bæreevne. Dersom bæreevnen under dette nivået ikke er tilfredsstillende, skal det masseutskiftes til et nivå som sikrer bæreevnen.

Rensk av tunnelsåle og oppbygning til avrettet traubunn med tilførte materialer er også beskrevet i punkt 9.4.

### 9.3 Overbygning ved $F_{10T} \leq 10\,000\text{ h}^\circ\text{C}$

Det kreves ikke frostsikring for veg i tunnel hvor  $F_{10T}$  er  $\leq 10\,000\text{ h}^\circ\text{C}$ .

#### 9.3.1 Forsterkningslag

Forsterkningslaget i tunneler skal bestå av åpne og velgraderte materialer da laget også fungerer som et drencslag i sålenivå. Av den grunn skal deklarerert verdi for finstoffinnholdet (NS-EN 13242) ikke overstige 3 % for samfengt tilslag og ikke overstige 2 % for grovt tilslag. Minimum tykkelse er 250 mm.

Forsterkningslag rettes av med knust berg (Fk) eller bituminøse masser (f.eks. Gja, Eg, Sg etc. i henhold til håndbok 018). Korngradering og mengde tilpasses slik at forsterkningslaget ”mettes” og forkiles i toppen.

### 9.3.2 Bærelag, bindlag og slitelag

Bærelagets tykkelse skal minimum være 120 mm. Bærelag, bindlag og slitelag utføres for øvrig i henhold til håndbok 018.

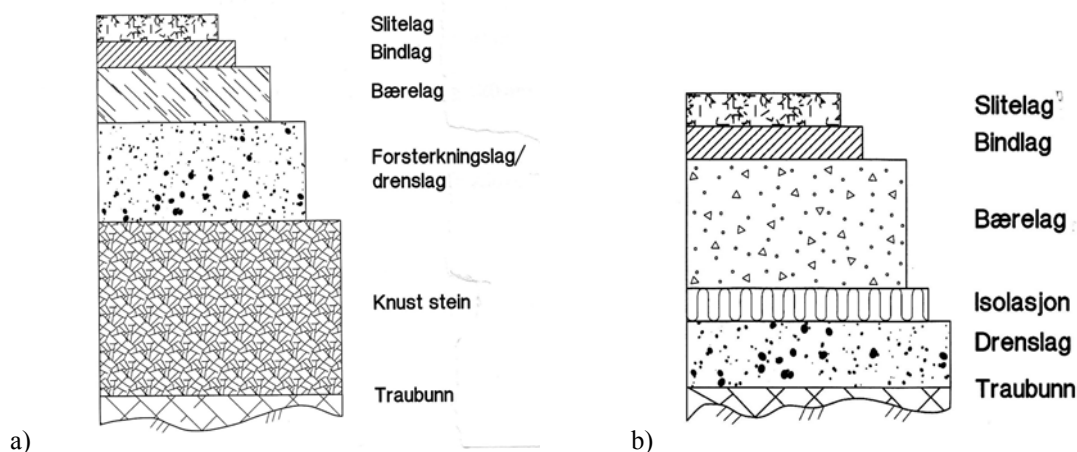
For bærelag av sementstabilisert grus (Cg) og betong gjelder spesielle krav gitt i punkt 9.4.2.

## 9.4 Overbygning ved $F_{10T} > 10\ 000\ h^{\circ}C$

Ved frostmengde  $F_{10T} > 10\ 000\ h^{\circ}C$  skal vegoverbygningen utformes slik at risikoen for ugunstig telehiv er liten. Dette kan i prinsippet oppnås ved flere alternative utførelser. To av disse er beskrevet i det følgende:

- Finrensk av tunnelsåle og oppbygging til avrettet traubunn med drenerende, ikke telefarlige masser
- Frostsikring med isolasjonsplater av ekstrudert polystyren og bærelag av Cg eller betong.

Ved store frostmengder skal frostsikringen i munningene vurderes spesielt. Ved bruk av frostsikret overbygning bør overgangen til veg i dagen sikres for å unngå ising.



**Figur 9.1** Eksempler på frostsikret overbygning i tunnel, med frostsikringslag (a), eller isolasjonsmaterialer (b). Materialkvalitet, tykkelse og utførelse av de enkelte lagene avhenger av bl.a. trafikkbelastningen, se håndbok 018.

### 9.4.1 Finrensket tunnelsåle

#### 9.4.1.1 Finrensk av tunnelsåle og oppbygging til traubunn med tilførte materialer

Tunnelsålen renskes slik at det maksimalt blir liggende 50 mm tunnelmasser på tunnelsålen. I tillegg må det ved sprengning av tverrgrøfter eller andre tiltak sikres at mengden vann som blir stående på tunnelsålen er ubetydelig.

Fra rensket tunnelsåle bygges det opp til traubunn med tilførte materialer. Materialene skal bestå av puk eller kult med maksimalt 3 % finstoff.

#### 9.4.1.2 Forsterkningslag

Forsterkningslaget skal ha en tykkelse på minimum 500 mm. Laget vil da fungere som et kombinert forsterkningslag og drenslag

#### 9.4.1.3 Bærelag

For krav til tykkelse, materialvalg og krav til utførelse av bærelag henvises til håndbok 018.

### **9.4.2 Frostsikring med isolasjonsplater av ekstrudert polystyren (XPS)**

Oppbygging av overbygning ved bruk av isolasjonsplater er vist i prinsipp på figur 9.1b. Frostsikringen må omfatte hele tunnelbredden og omfatte tiltak som sikrer mot kuldebroer.

Dersom det kan dokumenteres tørre strekninger i sålen, kan frostsikring sløyfes på disse strekningene. I disse tilfellene gjelder kravene gitt i punkt 9.3.

En løsning som inkluderer frostsikring med isolasjonsplater krever nøyaktig utførelse og gode kvalitetssikringsrutiner for å sikre ønsket kvalitet.

#### **9.4.2.1 Drenslag og isolasjon**

Over traubunnen skal det legges et drenslag med minimum tykkelse 100 mm inklusive avretting. Det skal benyttes stabile materialer som samtidig er drenerende, f.eks. 0/20 mm eller 0/32 mm. Deklarert verdi for finstoffinnholdet (NS-EN 13242) skal ikke overstige 2 %. Drenslaget skal være avrettet med et tynt lag av finpukk 4/8, 8/11 eller tilsvarende.

Drenslaget må ha så god jevnhet at det ikke er risiko for at isolasjonsplater knekker under utlegging eller komprimering av bærelaget. Det tillates ikke kuler eller svanker som er mer enn 5 mm, regnet over isolasjonsplatenes lengde.

Isolasjonsplater til frostsikring skal være av ekstrudert polystyren (XPS) med fals. Korttids trykkfasthet skal være 700 kPa, dokumentert ved prøving i henhold til håndbok 014 Laboratorieundersøkelser, eventuelt NS-EN 826. Mellomrom mellom isolasjonsplatene skal være maksimum 5 mm. Dette gjelder også der hvor platene overlapper hverandre på grunn av platenes fals.

#### **9.4.2.2 Bærelag av Cg eller betong**

Bærelag av Cg eller betong tillates lagt direkte på isolasjonsplater av XPS uten forsterkningslag.

Bærelag av Cg eller betong skal legges ut i ett lag. Før laget er avbundet tillates ikke trafikk på massene. Utlegging og komprimering av materialene skal ikke skade isolasjonsplatene.

Bærelag av Cg legges med overhøyde slik at minimum tykkelse 250 mm oppnås etter komprimering.

For Cg skal trykkfastheten (karakteristisk terningfasthet) være minimum 15 MPa ved prøving i henhold til NS-EN 12390-3.

I fersk tilstand er Cg og betong svært ømfintlig for dryppskader fra taket. Fritt vann på overflaten kan også føre til vedheftsproblemer mellom bærelaget og overliggende asfaltlag. Hvis laget legges før vann- og frostsikringskonstruksjonen er etablert, må det være sikret mot vannlekkasjer/drypp på annen måte.

Den første tiden etter utlegging skal bærelaget ikke utsettes for trafikk eller andre påkjenninger som kan være til skade for bærelaget eller isolasjonsplatene.

I den første perioden (1-2 uker) etter legging er det spesielt viktig å bevare fuktigheten i laget av hensyn til herdingen. Behov for herdetiltak vurderes ut fra fuktighetsforhold og lufthastighet (trekk) i tunnelen.

Til klebing mellom bærelag og overliggende bituminøse lag skal det benyttes polymermodifisert bitumenemulsjon PmBE. Klebingen skal utføres så nær opp til legging av bærelaget som mulig. Av hensyn til brytningen av emulsjonen bør klebingen ligge minimum 2 døgn før det legges bituminøse masser oppå. Klebingen må ikke trafikkeres. Overflaten må være fri for løse korn og belegg når klebingen påføres. Når klebingen påføres kan en svakt fuktig overflate (jordfuktig) aksepteres, men overflaten må ikke være vannmettet. Klebing har lett for å bli skadet av drypp fra hengen. Slike områder må derfor tildekkes.

Klebingen påføres i to omganger med ca. 0,3-0,4 l/m<sup>2</sup> (emulsjon) hver gang og avstrøs med ca. 2-3 kg/m<sup>2</sup> tørr sand (0-4 mm) etter hver klebing. Et eventuelt overskudd av sand skal feies bort. Dette gjelder både etter første og andre omgang med klebing.

Beskaffenheten og strukturen i overflaten kan variere en del. Det skal derfor legges et prøvefelt for å komme frem til hvilke emulsjonsmengder og avstrøingsmengder som fungerer best.

### **9.4.3 Bindlag og slitelag**

Generelt gjelder at bindlag og slitelag velges i henhold til håndbok 018.

## 10 TEKNISKE ANLEGG

### 10.1 Krav til teknisk utstyr

#### *10.1.1 Generelle krav til elektrotekniske anlegg*

Alt utstyr skal være CE merket. I tillegg skal det fra produsent foreligge en samsvarserklæring om at utstyret / anlegget er i henhold til de gitte krav.

Levetid skal vurderes for de enkelte utstyrskomponenter, basert på betraktninger omkring levetidskostnader.

Etter at tunnelen er ferdig utrustet skal det minimum være tre ledige trekkerør for fremtidig bruk.

#### *10.1.2 Korrosjonsbeskyttelse av teknisk utrustning*

Atmosfæren i tunneler er korrosiv. Dette skyldes kondenseringen av vann fra varm, fuktig luft, og salt. Vann i tunnelrommet kan være svakt surt på grunn av salpetersyring og salpetersyre, fra nitrose gasser i eksosen. Utstyret skal derfor korrosjonsbeskyttes eller bestå av et korrosjonsbestandig materiale, slik at minimum forutsatt levetid oppnås.

I tunnelklasse C, D, E og F samt i tunneler med spesielt korrosivt miljø (for eksempel undersjøiske tunneler), skal kabelbruer, armaturer, nødstasjoner, skilt, dører, rammer og håndtak leveres i syrefast stål.

#### *10.1.3 Kapslingsgrad*

Alt utstyr i tunnelen skal ha en kapslingsgrad for støvbeskyttelse på IP6x. Unntaket for dette er motorer på ventilatorer der kravet er IP5x.

Beskyttelse mot skadelig inntrenging av vann skal ha en kapslingsgrad på minimum IPx5.

Krav til kapslingsgrad for en del utstyr er:

- Viftemotor IP 55
- Skap, ledelys og innvendig belyste skilt IP 66
- Armaturer IP 65, nipler på armaturer IP 66
- Koblingsbokser og nipler IP 66

#### *10.1.4 Kabler*

Kabler som skal benyttes i tunnel inndeles i de tre kabelklassene definert av Statens vegvesen, avhengig av hvilke krav som settes.

EX-kabler skal ikke benyttes.

Best beskyttelse mot brann og skader ved påkjørsel oppnås ved å legge kabler i egen kabelgrøft. For åpen forlegning av kabler skal det skilles mellom kabler som forsyner utstyr som skal fungere i en brannsituasjon (kabelklasse 3) og kabler til ikke-kritisk utstyr (kabelklasse 2). Kabler skal merkes for å skille de enkelte kabelklasser. I tillegg bør kabler i kabelklasse 3 ha fargekoding.

Kabler i tunnelen skal seksjoneres slik at ved brudd på en eller flere kabler i en seksjon skal de andre seksjonene fortsatt fungere. Anlegget skal være funksjonsdyktig også ved lokale brudd.

##### **Kabelklasse 1**

Gjelder kabler som inneholder halogen. Kablene benyttes i grøft, i trekkerør forlagt i grøft samt der hvor kablene er forlagt i andre brannsikre føringssystemer.

**Kabelklasse 2**

Gjelder kabler for ikke-kritisk utstyr på åpen forlegning. Kablene skal ha halogenfri og brannhemmende ytterkappe og skal tilfredsstillende i følgende IEC-normer:

Flammehemming:	IEC 60332-1
Brannspredning på stige:	IEC 60332-3
Røykutvikling:	IEC 61034-2
Korrosive avgasser:	IEC 60754-1 og IEC 60754-2.

**Kabelklasse 3, Funksjonssikre kabler**

Gjelder kabler som skal fungere i en brannsituasjon. Kablene skal i tillegg til kravene for kabelklasse 2 tilfredsstillende kravene til funksjonssikkerhet iht. IEC 60331-21.

### **10.1.5 Tekniske rom**

Tavlerom og tekniske rom skal ha en driftstemperatur tilpasset det utstyret som skal installeres.

Der det installeres kjøleanlegg for å holde kravet til driftstemperatur skal det være et system for automatisk varsling hvis kjøleanlegget faller ut.

Tekniske bygg avdeles i egnede rom etter behov. Antall rom og størrelse på rom avhenger av tunnallengde, kraftbehov osv. Lavspenningsrom og nødstrømsrom er aktuelle for alle tunneler. Avhengig av behov er det også aktuelt med høyspenningsrom, telerom og akkumulatorrom.

## **10.2 Strømforsyning**

Der det ligger til rette for det skal strømforsyning sikres ved uavhengig forsyning fra begge tunnelmunninger som kobles sammen slik at det oppnås en sikker strømforsyning. Sikker strømforsyning vurderes på bakgrunn av en risikoanalyse.

For nødstrømforsyning, se punkt 5.2.2.

## **10.3 Belysning**

### **10.3.1 Generelt**

Vegtunneler med lengde over 100 meter skal ha belysning.

Behovet for belysning i tunneler under 100 meter vurderes blant annet i forhold til lav sol, fare for blinding, belysning på tilstøtende veg etc. Tunneler som har gang-/sykkeltrafikk skal belyses dersom lengden er over ca. 25 m.

Rømningstunneler og nødutganger skal ha et lysnivå på ca. 1 lux på gulvnivå (NS EN 1838).

Lyse vegger og dekker i tunnelen kan redusere behovet for belysning forutsatt et tilstrekkelig renhold. Hvitt lys gir god fargegjengivelse og bedre kontrast og bør derfor velges som gjennomgående belysning. I tillegg benyttes høytrykk natrium-lyskilder i innkjøringssoner og overgangssone.

### **10.3.2 Lysforhold utenfor tunnel – adaptasjonsluminansen**

Adaptasjonsluminansen,  $L$  [ $\text{cd}/\text{m}^2$ ], 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 grader fra bilførerens øye, med synsretning mot et punkt 1,5 meter over kjørebanelen og i en avstand som angitt i tabell 10.1.

**Tabell 10.1** Avstand fra tunnelåpningen til målepunktet for adaptasjonsluminans, som også angir lengden på innkjøringssonen

Fartsgrense (km/t)	Avstand (m)
50	45
60	60
70	80
80	100
90	130
100	160

Av økonomiske årsaker skal det ikke regnes med adaptasjonsluminans høyere enn 8 000 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 tilfredsstille de regler som gjelder for veglyt utenfor tunneler. Se håndbok 264 Teknisk planlegging av veg- og gatebelysning.

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

Ulike former for anleggsmessige tiltak, som for eksempel avskjerming, vegetasjon, valg av materialer og farger, kan gi redusert lysbehov og generelt bedre sikkerhet i innkjøringssonen.

### 10.3.3 Belysning i tunnel

#### 10.3.3.1 Krav til belysningsnivå (luminansnivå) i tunnel. Soneinndeling

Lysteknisk sett inndeles en tunnel i innkjøringssone, overgangssone og indre sone. Se figur 10.1.

Øyets tilpasning (adaptasjon) er tidsavhengig. Den gradvise nedgangen i luminans som kan tillates for å opprettholde tilfredsstillende synsforhold, er derfor avhengig av kjørefarten.

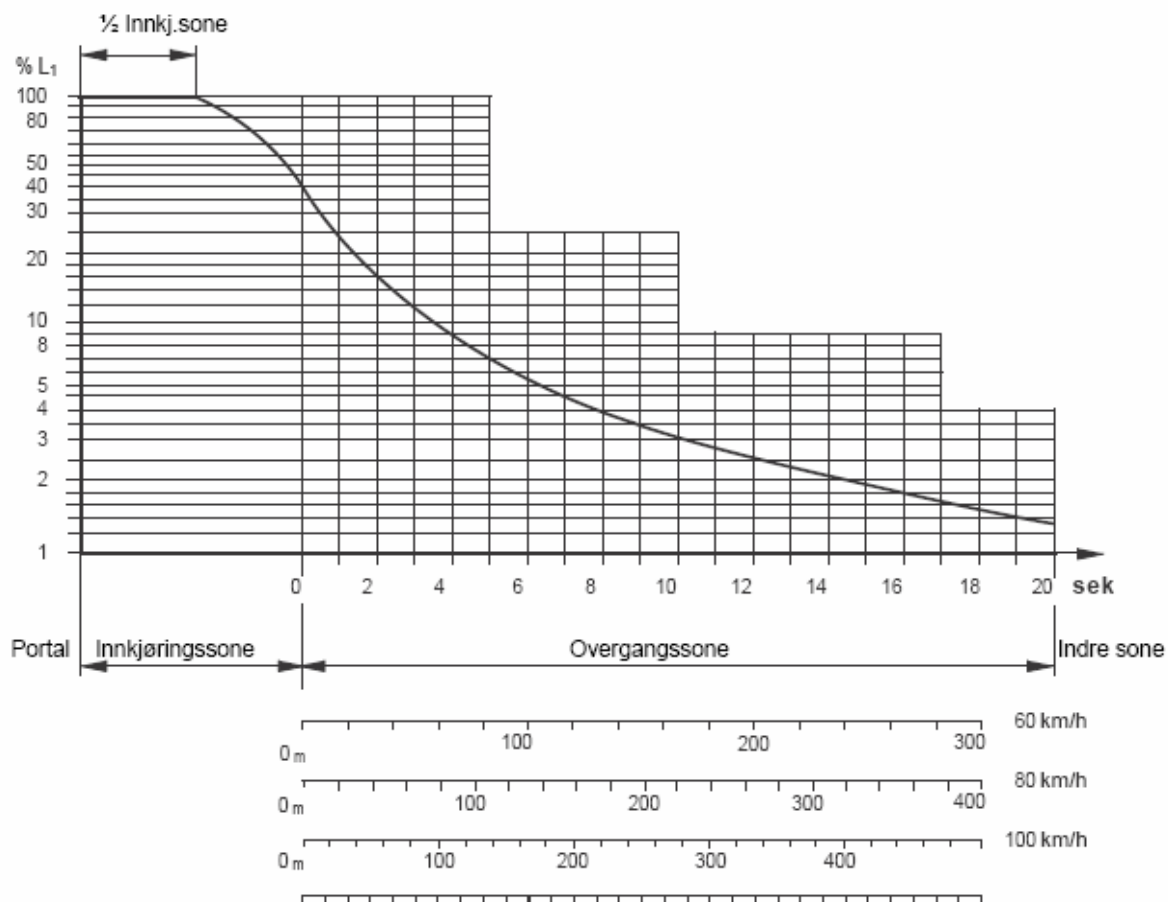
Innkjøringssonens lengde er angitt i tabell 10.1. Innkjøringssonens lengde er lik avstanden fra tunnelåpningen til målepunktet for adaptasjonsluminansen (begge lengder er lik stopplengden). Overgangssonens lengde er angitt i figur 10.1.

Tabell 10.2 gir krav til minste midlere luminans i innkjøringssonen og i indre sone som funksjon av trafikkmengde ti år etter åpningsåret, ÅDT (10), og fartsgrense i tunnelen.

For tunneler med to løp skal det benyttes trafikkmengde (ÅDT (10)) pr. tunnellop.

Kravene er gitt som minste midlere luminans om dagen uttrykt i prosent av adaptasjonsluminansen for hver sone eller som cd/m<sup>2</sup>.





**Figur 10.1** Luminansreduksjonskurve for dagslysførhold

**Kommentarer til figur 10.1:**

- Figuren gjelder for dagslysførhold og beskriver en gradvis luminansreduksjon fra innkjøringssonen til indre sone
- Over innkjøringssonens første halvdel skal luminansnivået  $L_1$  være minst så høyt som angitt i tabell 10.2
- Over innkjøringssonens andre halvdel kan luminansnivået gradvis reduseres fra 100 % av  $L_1$  til 40 % av  $L_1$
- I overgangssonen reduseres luminansnivået gradvis fra 40 % av  $L_1$  til indre sonens luminansnivå
- Kurven i figuren angir minimumsverdier for luminansnivå.

**Tabell 10.2** Krav til luminans i de ulike belysningssoner, uttrykt som minste midlere luminans om dagen i prosent av adaptasjonsluminans eller som  $\text{cd/m}^2$

ÅDT (10)	< 2 500	2 500 - 4 000		4 000 - 8 000		> 8 000
		50 km/t	80 km/t	50 km/t	80 km/t	
Skiltet fart	-	50 km/t	80 km/t	50 km/t	80 km/t	-
Sone	-	50 km/t	80 km/t	50 km/t	80 km/t	-
Innkjøringssonens første halvdel	50 $\text{cd/m}^2$	1,50 %	3,00 %	2,5 %	5,0 %	5,0 %
Indre sone dag	0,5 $\text{cd/m}^2$	2 $\text{cd/m}^2$	2 $\text{cd/m}^2$	2 $\text{cd/m}^2$	2 $\text{cd/m}^2$	4 $\text{cd/m}^2$
Indre sone natt	0,5 $\text{cd/m}^2$	1 $\text{cd/m}^2$	1 $\text{cd/m}^2$	1 $\text{cd/m}^2$	1 $\text{cd/m}^2$	2 $\text{cd/m}^2$

**Kommentarer til tabell 10.2:**

- Krav til luminans ved annen kjørefart finnes ved ekstrapolering/interpolering
- Beregnede midlere luminansverdier skal være driftsverdier (lik 75 % av ny verdi)
- Indre sone skal ha to nivåer, dag og natt

- I tunnelklasse D, E og F kan det være aktuelt å øke luminansnivået til 6 cd/m<sup>2</sup> (dag) / 3 cd/m<sup>2</sup> (natt) der trafikkmiljøet er særskilt krevende, for eksempel i tunneler med rampetilslutninger og sterkt belastede vekslingsstrekninger.
- Når det er mørkt ute skal belysningsnivået inne i en tunnel ikke være lavere enn belysningsnivået på tilstøtende belyst veg utenfor.

### Krav til luminansjevnhet

For overgangssoner og indre soner skal den totale luminansjevnhet være:

$$U_o = \frac{L_{\min}}{L_{\text{mid}}} \geq 0,4$$

For overgangssoner og indre soner skal den langsgående luminansjevnhet være:

$$U_l = \frac{L_{\min}}{L_{\max}} \geq 0,6$$

Kravene gjelder ikke for tunneler med ÅDT(10) under 2 500.

I tunneler tillatt for gang- og sykkeltrafikk skal midlere luminans ikke være mindre enn 2 cd/m<sup>2</sup> i dagslys og 1 cd/m<sup>2</sup> når det er mørkt ute.

Beregninger foretas som angitt i de nyeste publikasjoner om tunnelbelysning utgitt av CIE (Commission Internationale de L'Éclairage).

Lysfordelingen bør være slik at tunnelveggen blir belyst opp til 2 meters høyde fra kjørebanelen.

#### 10.3.3.2 Belysning i nisjer

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

### 10.3.4 Armaturavstand

Ved ugunstig kombinasjon av kjørefart og armaturavstand i lengderetningen kan det oppstå flimring som kan skape ubehag for den kjørende. Flimring med frekvens mellom 4 Hz og 11 Hz og varighet over 20 sekunder bør unngås. Små og skarpe lyskilder gir større ubehagsvirkning enn for eksempel langsgående armaturer med lysrør, men vi kan vanligvis se bort ifra flimmereffekten hvis frekvensen er lavere enn 2,5 Hz eller høyere enn 15 Hz. Flimmerfrekvensen bestemmes fra kjørefart (m/sek.) dividert med armaturenes senteravstand (m).

### 10.3.5 Armaturer

Armaturene skal være enkle å vedlikeholde og hensiktsmessige ved skifting av lyskilder. Utskiftbar optikk (reflektor, glass) anses fordelaktig.

For tunneler med ÅDT < 2 500 skal armaturene ha dyptrukket skjerm for å oppnå god visuell føring.

### 10.3.6 Sikkerhetsbelysning

Sikkerhetsbelysning arrangeres ved at hver fjerde armatur skal lyse i minimum 1 time etter at strømmen faller ut.

## 10.4 Ventilasjon

### 10.4.1 Generelt

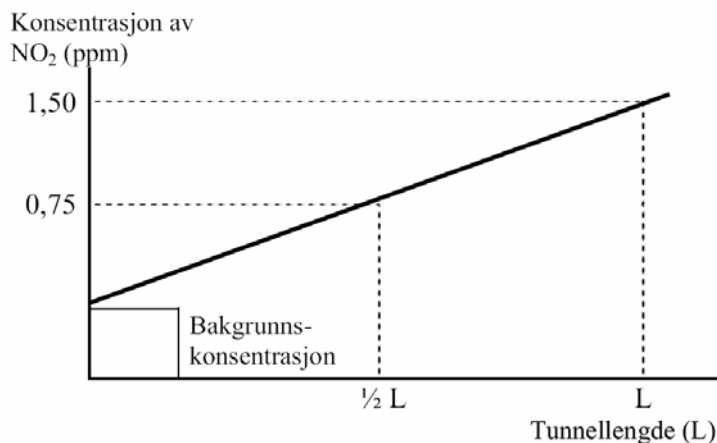
Det skal monteres ventilasjonsanlegg i tunneler med lengde over 1000 m når ÅDT er over 1000 kjøretøy/døgn.

Ventilasjonsanlegget skal dimensjoneres for beregnet forurensningsnivå 10 år etter åpningsåret (ÅDT(10)).

Luftkvaliteten skal overvåkes med måleutstyr for CO og NO<sub>2</sub> (eller eventuelt NO). Se vedlegg C for måleområder og forslag til plassering av måleutstyr.

### 10.4.2 Krav til luftkvalitet i tunneler

Ved langslufting øker forurensningsgraden i tunnelens lengderetning. Ved dimensjonering av nødvendig friskluftsbehov skal det tas hensyn til bakgrunnskonsentrasjonen ved tunnelmunningen som skyldes utslipp fra transport, industri og nærliggende tunnelportaler. Bakgrunnskonsentrasjonen av NO<sub>2</sub> måles kontinuerlig i de største norske byene. Registrert luftkvalitet siste tre måneder finnes på <http://www.luftkvalitet.info/>.



Figur 10.2 Dimensjonerende NO<sub>2</sub>-konsentrasjon i tunneler

Tabell 10.3 Dimensjonerende konsentrasjoner av NO<sub>2</sub>, NO, CO og siktforurensning

	Dimensjonerende konsentrasjoner	Forutsetninger
NO <sub>x</sub>	C <sub>NO<sub>x</sub></sub> = 15 ppm	Verdien er basert på en antatt NO <sub>2</sub> -andel på 10 % av NO <sub>x</sub> . Ved større NO <sub>2</sub> -andel må NO <sub>x</sub> -nivået senkes for å innfri kravet til NO <sub>2</sub> -konsentrasjon.
NO <sub>2</sub>	C <sub>NO<sub>2</sub></sub> = 1,5 ppm	Dersom NO <sub>2</sub> -konsentrasjonen overstiger 0,75 ppm midt i tunnelen skal det utløses alarm på VTS, og ventilasjonsanlegget bør reguleres automatisk til maksimal kapasitet. Tunnelen skal stenges for trafikk hvis konsentrasjonen i midtpunktet ikke faller under 0,75 ppm i løpet av 15 minutter.
NO	C <sub>NO</sub> = 13,5 ppm	Verdien er basert på en antatt NO <sub>2</sub> -andel på 10 % av NO <sub>x</sub>
CO	C <sub>co</sub> = 50 ppm	Dersom CO-konsentrasjonen overstiger 50 ppm skal tunnelen straks stenges for trafikk. Grunnen er at denne konsentrasjonen bare oppstår ved brann, stillestående kø eller ved alvorlig feil i ventilasjonsanlegget.
Sikt	C <sub>sikt</sub> = 1,5 mg/m <sup>3</sup>	Vekt av svevestøv (PM <sub>10</sub> ), det vil si partikler som er mindre enn 10/1000 mm.

Tabell 10.4 Dimensjonerende luftkvalitetsnivå i tunneler som er tillatt for gående og syklende

Lengde (km)	CO (ppm)	NO (ppm)
0 - 4	25	2

### 10.4.3 Mekanisk ventilasjon

Ventilasjonsystemet dimensjoneres ut fra krav til luftkvalitet (10.4.2) og krav til brannventilasjon (10.4.4).

Nødvendig lufthastighet oppnås ved bruk av impulsventilatorer.

Avstanden mellom impulsventilatorene i tunnelens lengderetning bør være minst 60 meter for å oppnå jevn og stabil luftstrøm mellom hver vifte eller viftegruppe. Ventilatorene bør monteres minst 30 m fra start av havarinisjer og andre utvidelser av tunnelprofilen. For å unngå redusert virkningsgrad når to eller flere ventilatorer monteres i samme profil, bør ikke senteravstanden mellom ventilatorene være mindre enn 2 x diameter på viftehjulet.

Se vedlegg C for beregning av nødvendig friskluftsbehov og styring av ventilasjonsanlegget.

### 10.4.4 Brannventilasjon

Tabell 10.5 inneholder krav til minimum brannventilasjon i tunneler med stigning under 2 %.

Ved stigning over 2 % skal nødvendig lufthastighet beregnes. I vedlegg D er det gitt en beregningsmodell som brukes til å anslå nødvendig lufthastighet i en tidlig planfase for tunneler med lengde over 500 m og stigning over 2 %. Ved endelig dimensjonering bør det utføres beregninger som viser trykkfordeling og røyktemperatur ved flere alternativer for lokalisering av dimensjonerende brann.

Ventilasjonsanlegget skal dimensjoneres for en brann som øker jevnt fra null til dimensjonerende effekt over 5, 10 eller 15 minutter. Beregningene skal utføres for situasjonen 60 minutter etter brannstart. Valg av ventilasjonsretning i tunneler med toveistrafikk skal avklares med lokal brannmyndighet. Ved ventilasjon nedover, vil røyken gi gradvis større oppdrift etter hvert som temperaturen i tunnelen øker. Tunneler med toveistrafikk og stigning over 2 % bør normalt ha brannventilasjon oppover for å redusere konsekvensene hvis en brann blir større eller varer lengre enn dimensjonerende brann.

Tunneler med enveistrafikk og ramper skal ventileres i samme retning som trafikken ved brann. Ved brann i toløpstunneler, skal ventilasjonsanlegget styres slik at røyken ikke trekkes inn igjen i det løpet som brukes til rømning. Dette krever reversible impulsventilatorer. Ventilasjonsanlegget bør styres slik at rømningsvegen får et overtrykk på 50 - 100 Pascal der dette er mulig. I tunneler med rundkjøringer, kryss eller av- og påkjøringsramper bør det settes opp faste programmer for styring av ventilasjonsanlegget ved brann i ulike deler av tunnelsystemet.

**Tabell 10.5** Dimensjoneringskrav for brannventilasjon i tunneler med stigning  $\leq 2$  %

Tunnelklasse	Tunnellengde	Dimensjonerende branneffekt	Eksponeringskurve *	Tid (minutter)	Minimum lufthastighet
A	> 1,0 km	20 MW	ISO 834	60	3,5 m/s
B	> 1,0 km	20 MW	ISO 834	60	3,5 m/s
C	0,5 – 1,0 km	20 MW	HC	60	3,5 m/s
	> 1,0 km	50 MW	HC	60	3,5 m/s
D	0,5 – 1,0 km	50 MW	HC	60	3,5 m/s
	> 1,0 km	100 MW	HC	60	4,5 m/s
E	0,5 – 1,0 km	20 MW	HC	60	3,5 m/s
	> 1,0 km	50 MW	HC	60	3,5 m/s
F	0,5 – 1,0 km	20 MW	HC	60	3,5 m/s
	1,0 – 2,0 km	50 MW	HC	60	3,5 m/s
	> 2 km	100 MW	HC	60	4,5 m/s

\* Eksponeringskurver, se punkt 5.4

## 10.4.5 Krav til ventilatorer

### 10.4.5.1 Impulsventilatorer

Ved valg av ventilatordimensjon og motoreffekt, skal det legges stor vekt på levetidskostnader som omfatter 20 års energikostnader, overførings- og effektavgifter, tilsyn og vedlikehold av ventilasjonsanlegget i tillegg til kostnader til innkjøp, montering, elektroinstallasjoner og styring.

Maksimalt lydnivå fra hver ventilator bør ikke overstige 85 dB(A) i 3 m avstand og 45° vinkel med ventilatorens lengdeakse. Avstanden måles fra senter i ventilatorens utløpsflate. For symmetriske ventilatorer gjelder støykravet i begge driftsretningene. Ventilatorleverandøren skal levere dokumentasjon av støymålinger for tilsvarende ventilator. Eventuelle kontrollmålinger utføres før ventilatoren monteres i tunnelen.

### 10.4.5.2 Brannklasse for impulsventilatorer

I NS-EN 12101-3 er det definert tre alternative brannklasser for ventilatorer:

- F200: 200 °C i to timer
- F300: 300 °C i en time
- F400: 400 °C i to timer

Valg av brannklasse til ventilatorene, vurderes for hver enkelt tunnel. Ved dimensjonerende branneffekt på 20 MW er det normalt ikke behov for brannklasse på impulsventilatorene fordi en standard ventilator vil fungere i over en time ved denne branneffekten. Det forutsettes at ventilasjonsanlegget startes straks og at krav til minimum lufthastighet blir oppfylt før brannen utvikler full effekt. Ved større dimensjonerende branneffekt kan det være aktuelt å vurdere ventilatorer med brannklasse F200 eller F300. Ved vurdering av brannklasse må det tas hensyn til at impulsventilatorer får liten skyvkraft i den varme røyken like ved brannstedet. Montering av flere standard impulsventilatorer bør vurderes som alternativ til ventilatorer med brannklasse. Sikkerheten ved brann kan også heves ved å plassere ventilatorene i flere grupper i stor avstand, slik at bare en del av ventilatorene får redusert skyvkraft eller blir satt ut av drift ved brann.

I tunneler med stigning over 2 %, er det som regel ikke behov for å kreve brannklasse hvis det ventileres oppover, fordi oppdrift fra røyken kompenseres for utfall av ventilatorer etter hvert som branneffekten øker. Ventilatorene skal ha sikker strømforsyning ved aktuelle røyktemperaturer. For krav til kabler, se punkt 10.1.4.

### 10.4.5.3 Sjaktventilasjon

Lange tunneler med toveistrafikk kan deles i to ventilasjonsavsnitt med ventilasjon fra portalene mot ei avtrekks-sjakt eller tverrslag midt i tunnelen. Dette reduserer energiforbruket og reduserer risikoen ved brann fordi maksimalt halve tunnelen blir fylt av røyk. Kapasiteten til sjaktviftene reguleres i takt med impulsviftene og dimensjoneres for trykkfallet ved aktuelle trafikksituasjoner i tunnelen.

I tunneler med enveistrafikk kan avtrekkssjakter / tverrslag brukes til å redusere utslipp gjennom portalene. Bruk av avtrekkssjakter i kombinasjon med frisklufttilførsel gjennom tverrslag eller sjakter kan brukes til å ventilere lange tunneler med enveistrafikk, og eventuelle kryssområder i berg. Dette krever detaljerte beregninger av luftmengder, trykktap og ventilasjonskrefter. Effektiv styring av slike anlegg blir komplisert fordi trykket inne i tunnelen varierer med tungtrafikkandeler, trafikkmengder og trafikkfart i hvert tunnelavsnitt.

### 10.4.5.4 Brann- og kapasitetskrav for sjaktvifter

Når sjaktvifter brukes til røykavsug, beregnes nødvendig kapasitet ut fra minimum lufthastighet inn mot brannen og aktuell røyktemperatur ved dimensjonerende brann like ved sjakta. Det er viktig å ta hensyn til at røykvolumet ved en stor brann blir langt større enn tilført luftmengde, fordi luften ekspanderer ved oppvarming. Ved dimensjonerende branneffekt på 50 MW bør avtrekksviftene oppfylle kravene til brannklasse F200. Ved større branneffekt kan det bli nødvendig med vifter i klasse F300. Viser beregningene behov for vifter med klasse F400 bør større viftekapasitet vurderes som alternativ løsning, fordi dette senker røyktemperaturen og gir mindre risiko for skade på andre komponenter i tunnelen.

Effektiv motorkjøling vektlegges spesielt ved bruk av avtrekksvifter ved brann.

## 11 TILRETTELEGGING FOR DRIFT OG VEDLIKEHOLD

For at tunnelforvalter i driftsfasen skal få den dokumentasjonen som er nødvendig og pålagt i lover og forskrifter, må byggeledelsen, tunnelforvalter i byggefasen, sammen med personell fra driftsorganisasjonen sørge for at dette blir innarbeidet i konkurransegrunnlaget. Dette inkluderer dokumenterte rutiner for drift og vedlikehold av utstyr og strukturelle elementer. Dette innebærer også at personell med geologisk kompetanse på inspeksjon av berg og konstruksjonselementer involveres i utarbeidelsen av dokumentasjonen. Alle slike rutiner skal legges inn og følges opp i PLANIA (se kapittel 12).

Sluttdokumentasjon skal også inneholde geologisk kartlegging, rapport over bergforholdene og utført sikring. Rapporten skal angi inspeksjonsrutiner både når det gjelder behov, hyppighet, hvordan, og spesielt omtale aktuelle områder som krever spesiell oppfølging.

Dokumentasjon som er nødvendig for å inngå kontrakter for drift og vedlikehold, inkludert driftsinstrukser, skal leveres i så god tid før åpning at tunnelforvalteren har tilstrekkelig tid til å inngå slike kontrakter. Det betyr normalt minst 3 måneder før åpning.

Drift og vedlikeholdsrutinene skal sørge for at det sikkerhetsnivået som er bygget inn i tunnelen opprettholdes ved at forutsatte funksjonskrav opprettholdes og at funksjonssikkerheten ivaretas.

Håndbok 111 Standard for drift og vedlikehold fastsetter til enhver tid de krav som gjelder for drift og vedlikehold. Supplerende informasjon fremgår av temahefte til håndbok 111. Nødvendig dokumentasjon av utstyr som skal driftes, og de rutiner som skal følges skal være klare i så god tid før åpning at det kan etableres driftskontrakter med driftsentreprenørene før tunnelen åpnes for trafikk. Fravik fra Håndbok 111 avtales med Vegdirektøren som del av arbeidet med mål og resultatstyringsavtalen.

Arbeidsvarsling ved arbeid i tunnel skal, som for veg i dagen, ivareta arbeidernes sikkerhet samtidig som den skal forberede trafikantene på en unormal situasjon som kan påvirke normal trafikkavvikling. Se for øvrig håndbok 269 Sikkerhetsforvaltning av vegtunneler, om trafikkavvikling ved arbeid i tunnel. For øvrig skal varsling, skilting og arbeidsutførelse gjennomføres i henhold til håndbok 051 Arbeidsvarsling og håndbok 213 HMS ved arbeid i trafikkerte vegtunneler.

## 12 KRAV TIL DOKUMENTASJON

Ferdigstillelsesdokumentasjon, som inneholder all dokumentasjon som kan ha betydning for forvaltning, drift, vedlikehold og utvidelser, leveres til Veg- og trafikkavdelingen, se håndbok 151 Styring av utbygging- drifts- og vedlikeholdsprosjekter. Dokumentasjonen skal være systematisk lagret og skal overleveres på elektronisk form. De deler av dokumentasjonen som er relevant for drift og vedlikehold av tunnelen med utstyr skal knyttes til Statens vegvesens standard FDV-program PLANIA (FDV = forvaltning, drift, vedlikehold). Dette gjelder opplysninger om konstruksjonselementer, type utstyr, drifts- og vedlikeholdsrutiner / instruksjoner med tilhørende intervaller, leverandører, garantidokumentasjon osv.

Krav til relevant dokumentasjon skal i planfasen avklares med de driftsansvarlige. Krav om dokumentasjon fra leverandører skal beskrives i konkurransegrunnlaget. Se også håndbok 269 Sikkerhetsforvaltning av vegtunneler.

For de elektrotekniske anleggene skal det for tunnelklasse A, B og C leveres dokumentasjon på minimum nivå C i NEK 401. For øvrige tunnelklasser leveres dokumentasjon på nivå D.

Før tunnelen overleveres skal det kjøres en test på at anleggene virker slik de er forutsatt. Det skal også lages en dokumentasjon av denne testen som skal følge med ved søknad om sikkerhetsgodkjenning før åpning og ved overleveringen.

Dokumentasjon på sikkerhetsgodkjenningen skal være med ved overleveringen til driftsorganisasjonen.

I tillegg skal det utarbeides en teknisk sluttrapport senest tre måneder etter at prosjektet er overlevert. Sluttrapporten føres etter fastlagt mal. Malen er i elektronisk form og finnes på Statens vegvesens intranettsider.

Teknisk sluttrapport skal:

- inneholde geologisk/ingeniørgeologisk dokumentasjon med kartlegging og beskrivelse, rapport over bergforholdene og samlet utført sikring (for eksempel Novapoint Tunnel: Geologi og bergsikring). Bakgrunns materialet skal også inkluderes og arkiveres. Den elektroniske dokumentasjonen skal være søkbar og klargjort for lagring i database.
- angi inspeksjonsrutiner både når det gjelder behov, hyppighet og spesielt beskrive områder som krever spesiell oppfølging.
- inneholde eventuelle avvik i utførte sikringsmengder og sikringsmetoder i forhold til det som var forutsatt i konkurransegrunnlaget, med begrunnelse.
- underskrives av prosjektleder og den som har faglig ansvar for sikringsarbeidet.

## **VEDLEGG**

- A Vurdering og beregning av luftforurensning fra vegtunneler
- B Beregning av støyutstråling fra vegtunneler
- C Ventilasjon
  - C.1 Beregning av nødvendig friskluftbehov og kontroll av luftkvalitet
  - C.2 Beregning av nødvendig skyvkraft ved langslufting
  - C.3 Styring av ventilasjonsanlegg
- D Beregningsmodell for brannventilasjon
- E Årsmiddeltemperatur og frostmengder



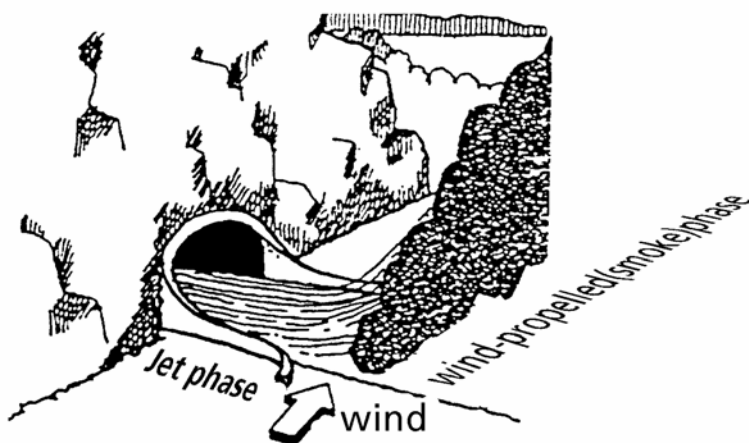
## A Vurdering og beregning av luftforurensning fra vegtunneler

### 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 den atmosfæriske spredningsmodellen tilpasset spredning av utslipp ved bakken. Beregningsmetoden er presentert som nomogrammer, se figurene A.2 – A.4.

Luftforurensningen ut av tunnelåpningen beskrives som to faser, jetfase og vinddrevet (plume-) fase. I jettefasen er det i første rekke lufthastigheten ut av tunnelåpningen ( $u$ ) som er avgjørende, mens i vinddrevet fase er det atmosfæreforholdene (bl.a. typisk vindhastighet ute,  $w$ ) som er viktigst. Dette er skjematisk fremstilt i figur A.1. De valgte parametre er avhengig av representative målinger. Overgangen fra jettefase til vinddrevet fase er svært komplisert og er valgt etter skjønn.



**Figur A.1** Jetfase og vinddrevet (plume-) fase

For å kunne beregne luftforurensningskonsentrasjonen best mulig i bestemte punkter utenfor tunnelåpningen, utføres målinger av atmosfæreforholdene i området (vind, stabilitet, etc.) over lengre tid. Målingene skal 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 tunnelåpningene kan også ha stor betydning for spredningsforløpet.

### Nomogrammer til bruk ved spredningsberegninger

Nomogrammene er vist i figurene A.2, A.3 og A.4.

Nomogrammene er best egnet til å gjøre en første vurdering for å fastslå om forurensning fra tunnelmunningen kan være et problem. Dersom det er tilfelle, skal det gjennomføres mer detaljerte beregninger med egne beregningsmodeller.

Nomogrammene kan brukes for karbonmonoksid (CO) og nitrogendioksid (NO<sub>2</sub>). I NO<sub>2</sub>-beregningene legges det til 60 µg/m<sup>3</sup> for å ta hensyn til at NO fra tunnelen reagerer med ozon (O<sub>3</sub>) og danner NO<sub>2</sub>. Nomogrammene kan ikke brukes til å beregne døgnmiddelkonsentrasjoner av PM<sub>10</sub>. I slike tilfeller skal det gjennomføres en mer grundig utredning av bl.a. spredningsforholdene. NO<sub>2</sub> er som regel dimensjonerende ved tunnelmunningen.

### 1. Definisjoner

- C = grenseverdi [-]
- $C_t$  = konsentrasjon i utlipp fra tunnel [-]
- w = vindhastighet [m/s]
- u = beregnet lufthastighet i tunnel [m/s]
- jetfase
- ===== vinddrevet fase (plumefase)

### 2. Begrensninger i nomogrammene

- Tunneltverrsnitt  $A_T = 48 \text{ m}^2$
- Nomogrammene benyttes ikke for  $w < 1 \text{ m/s}$  og  $u > 8 \text{ m/s}$

For øvrig vises til NILU rapport nr 27/82 (ref. 23179) Forenklet metode for spredningsberegninger ved vegtunneler for fullstendig beskrivelse.

#### Forklaring på bruk av nomogrammene:

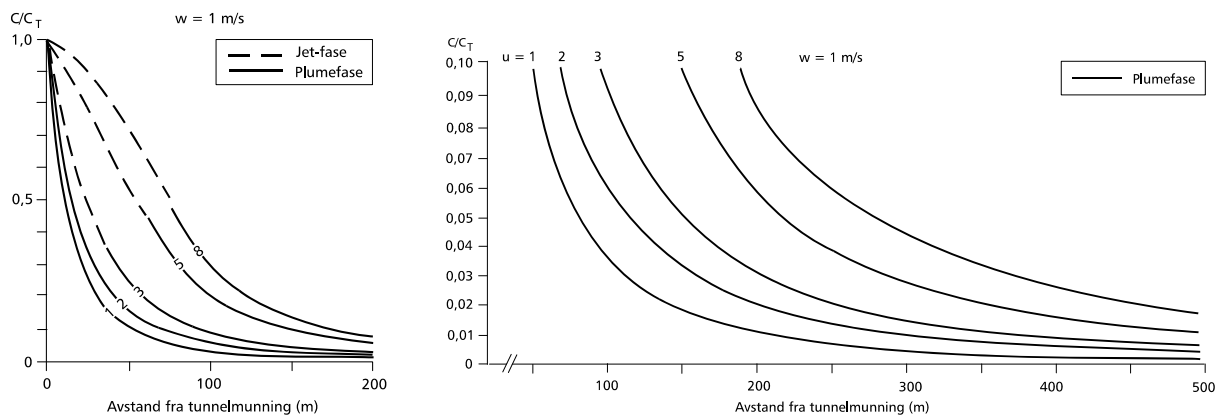
Det er laget nomogrammer for tre ulike vindhastigheter ( $w = 1 \text{ m/s}$ ,  $w = 2 \text{ m/s}$ , og  $w = 5 \text{ m/s}$ ).

Nomogrammene til venstre viser  $C/C_t$  i området 0 - 1,0.

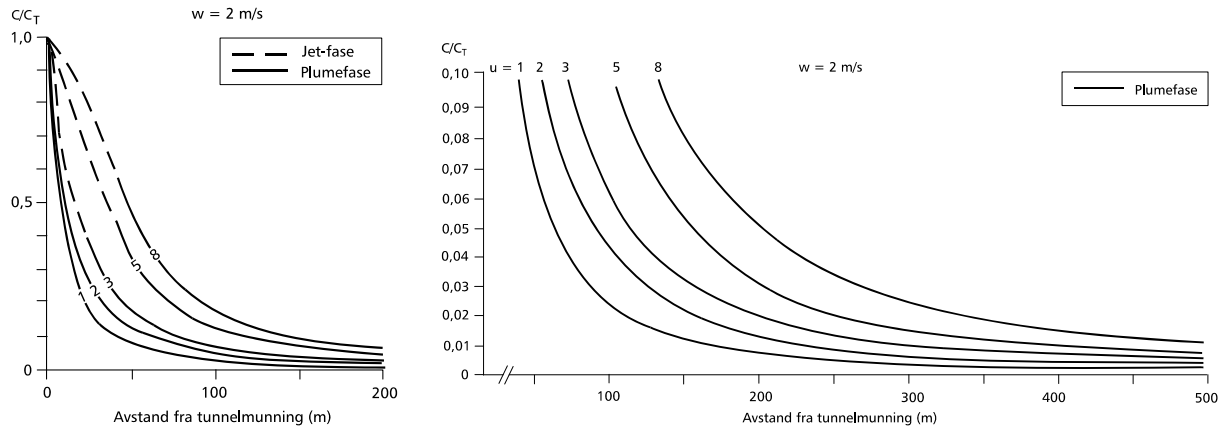
Nomogrammene til høyre viser  $C/C_t$  i området 0 - 0,1 (dvs. 10 x forstørret).

Dersom w og u ikke har eksakte verdier, skal den nærmeste kurve som overestimerer konsentrasjonen benyttes:

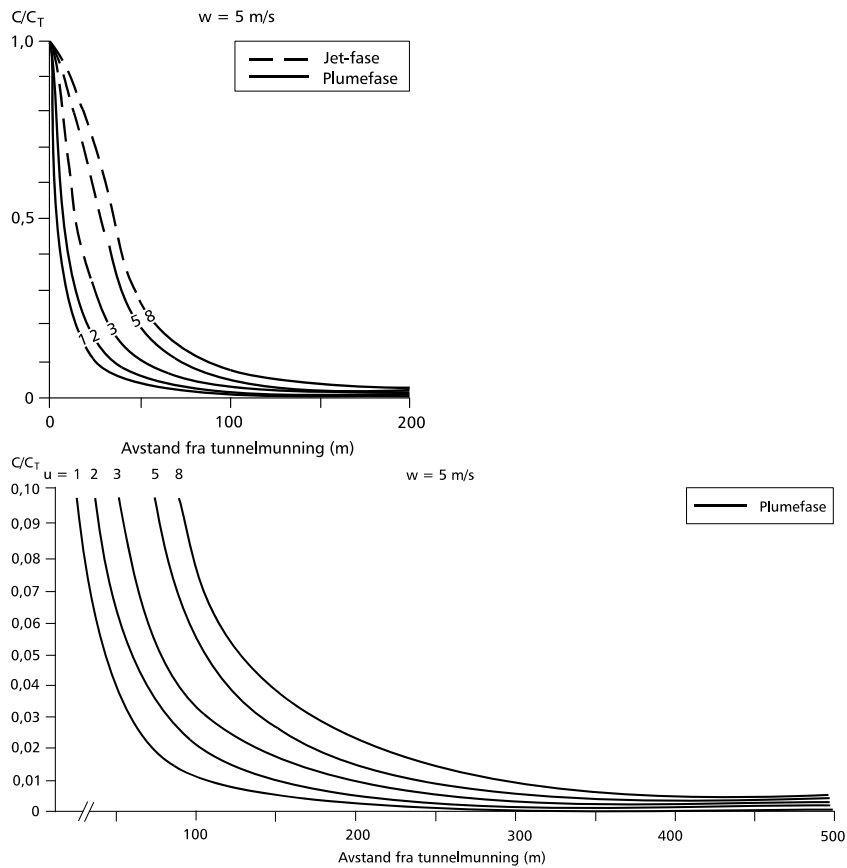
- kurvesettet for den største w mindre enn den virkelige
- kurvesettet for den minste u større enn den virkelige.



**Figur A.2** Nomogrammer for spredningsberegninger vindhastighet  $w = 1 \text{ m/s}$



**Figur A.3** Nomogrammer for spredningsberegninger vindhastighet  $w = 2 \text{ m/s}$



**Figur A.4** Nomogrammer for spredningsberegninger vindhastighet  $w = 5 \text{ m/s}$

## B Beregning av støyutstråling fra vegtunneler

Inne i tunnelen oppstår et høyere lydnivå på grunn av refleksjoner enn det man har i tilsvarende avstand på en dagstrekning. I tillegg til avstand og skjermingsforhold, er lengden av tunnelen og stigningsgradienten på vegbanen i tunnelåpningen av avgjørende betydning for avstrålt støy. Sterkere stigning vil gi høyere støynivå på grunn av akselerasjon.

Det er utarbeidet en enkel metode for beregning av støyutstråling fra vegtunneler som er egnet for å vurdere behovet for tiltak. Beregningsmetoden er gitt i SINTEF rapport STF40-A96005. Det vises til rapporten for fullstendige beregningsforutsetninger.

Resultatet av denne enkle beregningen gjelder for uskjermet tunnelåpning, uten større reflekterende skjæringsflater nær åpningen. Tunneler har jevne og akustisk harde vegger og tak. Erfaringsmessig har det vist seg at metoden er konservativ, dvs beregner ofte relativt høye støynivåer.

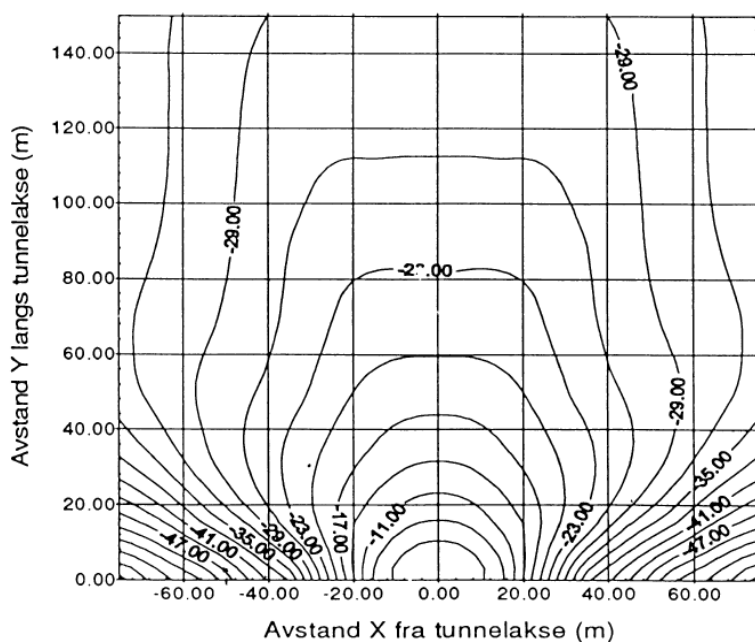
Beregningene utføres i 4 trinn beskrevet nedenfor:

### 1. Utgangsnivå $L_{\text{utg}}$ :

Utgangsnivået beregnes iht. nordisk beregningsmetode for vegtrafikkstøy, 1996.

### 2. Korreksjon K2 for utstråling av støy fra tunnelåpning

Utstrålt støy fra tunnelåpningen har en spesiell avstands- og retningsavhengighet som framgår av figur B.1. Tunnelåpningen ligger i  $X = Y = 0$ . Den aktuelle korreksjonen finnes direkte i figuren for beregningspunktets koordinater ved interpolering mellom kotene.



**Figur B.1** Korreksjon K2 for støyutstråling fra tunnelåpning

### 3. Korreksjon for korte tunneler

Korte tunneler gir mindre utstrålt støy til omgivelsene. Korreksjonen framgår av tabell B.1.

**Tabell B.1** Korreksjon K3 for tunnellengde, dB(A)

Tunnellengde (m)	50	75	100	150	200	300
Korreksjon K3	-5	-4	-3	-2	-1	0

#### 4. Tunnelstøy $L_t$ , dBA

Støyen utstrålt fra tunnelåpningen gir støynivå i dBA i mottakerpunktet:  $L_t = L_{\text{utg}} + 14 + K_2 + K_3$

$$L_{\text{utg}} \text{ (ved N antall kjøretøy/døgn)} = L_{\text{eq},10 \text{ m}} = L_E - 49,4 + 10\log(N)$$

For hhv. tunge og lette kjøretøy finnes  $L_E$  ved oppslag for ønsket hastighet, i basisdelen i nordisk beregningsmetode 1996. Utgangsnivåene for tunge og lette kjøretøy adderes deretter logaritmisk, og resulterende nivå settes inn i formelen ovenfor.

## C VENTILASJON

### C.1 Beregning av nødvendig friskluftbehov og kontroll av luftkvalitet

#### Dimensjoneringsår og trafikkmengde

Forurensningsnivået beregnes ved dimensjonerende timetrafikk.

Ved ukjent trafikkfordeling antas 2/3 av trafikken i dimensjonerende time å kjøre i den mest ugunstige retningen, det vil si i stigning eller mot den valgte ventilasjonsretningen .

Utslipp av gass og partikler beregnes for to kjøretøygrupper:

- Lette kjøretøy omfatter personbiler og varebiler med total vekt inntil 3,5 tonn eller lengde inntil 7,5 m
- Tunge kjøretøy omfatter person- og varebiler med tilhenger, busser, lastebiler og vogntog med total vekt over 3,5 tonn eller lengde over 7,5 m. Antatt gjennomsnittsvekt for denne gruppa er 20 tonn.

#### CO-produksjon

$$Q_{oCO} = (q_{oCO\ lette} \cdot M_{lette} \cdot k_{s\ lette} + q_{oCO\ tunge} \cdot M_{tunge} \cdot k_{s\ tunge}) \cdot k_{hh} \cdot L / 1000$$

$Q_{oCO}$  = produsert CO-mengde i tunnelen [ $m^3/t$ ]

$q_{oCO}$  = basisverdi for CO-produksjon pr. bil på flat veg og fart > 40 km/t [l/km per kjøretøy]

$M_{lette}$  = trafikkmengde, lette kjøretøy [kjt/t]

$M_{tunge}$  = trafikkmengde, tunge kjøretøy [kjt/t]

$k_s$  = korreksjonsfaktorer for stigning etter tabell C.1

$k_{hh}$  = korreksjonsfaktor for høyde over havet etter tabell C.2

$L$  = tunnellengde [km]

Basisverdien for CO-produksjon kan settes til 1,5 l/km for lette kjøretøy ved gjennomsnittlig trafikkfart over 40 km/t. Gjennomsnittsverdi for tunge kjøretøy settes til 3,0 l/km.

Basisverdien forutsetter varm katalysator. Ved kaldstart kan det antas en ti-dobling av CO-utslippet fra biler med bensinmotor. Kaldstartandelen må vurderes spesielt for tunneler ut fra store parkeringsanlegg eller like etter lange fergestrekninger.

CO-utslippet øker ved saktegående kø og tomgangskjøring. Ved stillestående kø settes CO-utslippet til 25 liter/time pr bil. Ved kø beregnes maksimalt antall biler i hvert kjørefelt som  $M = L / 25$  der L er tunnellengde i meter. Hvis det er sannsynlig at det regelmessig vil oppstå kø med et større antall biler i tunnelen enn dette, bør maksimal kølengde og/eller avstand mellom bilene reguleres ved hjelp av trafikkstyring.

**Tabell C.1** Korreksjonsfaktorer ved kjøring i stigning

Stigning (s)	< -4 %	-3 %	-2 %	0 %	2 %	4 %	6 %	8 %	10 %
$k_{s\ lette} = 25 \cdot s + 1$ ( $s > -3,5\ %$ )	0,11	0,25	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
$k_{s\ tunge} = 36 \cdot s + 1$ ( $s > -2,5\ %$ )	0,1	0,1	0,3	1,0	1,7	2,5	3,2	3,9	4,6

**Tabell C.2** Korreksjonsfaktorer for høyde over havet

Høyde over havet (h)	< 300	400	800	1200	1600
$k_{hh} = 0,78 \cdot e^{0,00078h}$ (ved $h > 300$ m)	1,0	1,1	1,5	2,0	2,7

Friskluftsbehovet for uttynning av CO beregnes på grunnlag av grenseverdi for tillatt CO-konsentrasjon i tunnel,  $C_x$  (50 ppm):

$$Q_{o\text{luft}} = \frac{Q_{oCO}}{C_x} \cdot 10^6 \quad [m^3/t]$$

### NOx-produksjon

$$Q_{oNOx} = (q_{oNOx\text{lette}} \cdot M_{\text{lette}} \cdot k_{s\text{lette}} + q_{oNOx\text{tunge}} \cdot M_{\text{tunge}} \cdot k_{s\text{tunge}}) \cdot L / 1000$$

$Q_{oNOx}$  = produsert NOx-mengde i tunnelen [ $m^3/t$ ]

$q_{oNOx}$  = basisverdi for NOx-produksjon per bil på flat veg og fart > 40 km/t [l/km per kjøretøy]

$M_{\text{lette}}$  = trafikkmengde, lette kjøretøy [kjt/t]

$M_{\text{tunge}}$  = trafikkmengde, tunge kjøretøy [kjt/t]

$k_s$  = korreksjonsfaktorer for stigning etter tabell C.1

$L$  = tunnallengde [km]

Basisverdien for NOx-produksjon settes til 0,15 l/km for lette kjøretøy ved trafikkfart over 40 km/t. Gjennomsnittsverdi for tunge kjøretøy settes til 5,0 l/km på flat veg med fart mellom 40 og 90 km/t.

Friskluftsbehovet for uttynning av NO<sub>2</sub> beregnes på grunnlag av grenseverdien for tillatt NOx-konsentrasjon i tunnel,  $C_{NOx}$ .

$$Q_{o\text{luft}} = \frac{Q_{oNOx}}{C_{NOx}} \cdot 10^6 \quad [m^3/t]$$

NO<sub>2</sub>-andelen av NOx er normalt mindre enn 10 % i tunneler med utluftingstid under to timer. I spesielt lange tunneler og i nærheten av store parkeringsanlegg eller fergestrekninger er det målt NO<sub>2</sub>-andel på over 20 % av NOx. Det antas at innføring av partikkelfilter på store dieseler også kan gi økt NO<sub>2</sub>-andel like etter start med kald katalysator. Dette bør derfor avklares spesielt for den enkelte tunnel.

### Siktreduserende sot- og støvpartikler, PM<sub>10</sub>

$$PM_{10} = P_{\text{sikt}} \cdot (M_{\text{tunge}} + 0,05 \cdot M_{\text{lette}}) \cdot k_s \cdot k_{hh} \cdot L$$

$PM_{10}$  = Produserte mengder sot- og støvpartikler (< 10 μm) [mg/t]

$P_{\text{sikt}}$  = Basisverdi for sot- og støvproduksjon fra tunge kjøretøy på flat veg [mg/km per kjøretøy]

$M_{\text{tunge}}$  = trafikkmengde, tunge kjøretøy [kjt/t]

$M_{\text{lette}}$  = trafikkmengde, lette kjøretøy [kjt/t]

$k_s$  = korreksjonsfaktorer for stigning etter tabell C.3

$k_{hh}$  = korreksjonsfaktor for høyde over havet etter tabell C.2

$L$  = tunnallengde [km]

Ventilasjonsanlegget dimensjoneres for svevestøv (PM<sub>10</sub>). Det forutsettes at mengden av større partikler holdes på et akseptabelt nivå ved feiing/spyling eller ved bruk av støvbindende midler.

Basisverdien for PM<sub>10</sub>-produksjon for tunge kjøretøy settes til 400 mg/km på flat veg. PM<sub>10</sub>-produksjon fra lette kjøretøy settes normalt til 5 % av basisverdien. I tunneler med piggedekandel under 25 % og gjennomsnittlig trafikkfart mindre enn 60 km/t, kan basisverdien reduseres til 200 mg/km per kjøretøy.

**Tabell C.3** Korreksjonsfaktorer for PM<sub>10</sub>-produksjon ved kjøring i stigning

Stigning	< -1%	0%	2%	4%	6%	8%	10%
$k_s$	0,5	1,0	2,0	2,8	3,6	4,4	5,0

$$k_s = -100 \circ s^2 + 50 \circ s + 1 \quad (\text{ved } s > -1 \%)$$

Friskluftsbehovet for uttynning av PM<sub>10</sub> beregnes på grunnlag av grenseverdi for tillatt støvkonsentrasjon i tunnel,  $C_{\text{sikt}}$  (1500 mg/m<sup>3</sup>):

$$Q_{o \text{ luft}} = \frac{PM_{10}}{C_{\text{sikt}}} \quad [m^3 / t]$$

Den største av de tre verdien for  $Q_{o \text{ luft}}$  brukes til å beregne dimensjonerende trekk i tunnelen. Friskluftbehovet regnes om til aktuelt trykk og temperatur i tunnelen og divideres på tunnelverrsnittet for å finne dimensjonerende trekk:

$$u_t = Q_{o \text{ luft}} \frac{p_o \cdot T}{p \cdot T_o \cdot A_N \cdot 3600} \quad [m / s]$$

$u_t$  = dimensjonerende trekk i tunnelen

$Q_{o \text{ luft}}$  = dimensjonerende luftmengde ved 0 °C og normalt lufttrykk ved havnivå

$p_o$  = 101,3 kPa (1013 mb)

$T_o$  = 273,15 K (0 °C)

$p$  = aktuelt lufttrykk (lavtrykk, korrigert for høyde over havet)

$T$  = aktuell middeltemperatur i tunnelen [K]

$A_N$  = tunnelverrsnitt målt i normalprofilet [m<sup>2</sup>], tabell C.4

Dimensjonerende trekk beregnes i normalprofilet uavhengig av type og omfang av vann- og frostsikring i tunnelen.

### Utstyr for kontrollmåling av luftkvalitet

Måleområde for NO<sub>2</sub>: 0 – 5 ppm

Måleområdet for NO: 0 – 50 ppm

Måleområdet for CO: 0 – 200 ppm

I tunneler med lengde over 1,0 km og ÅDT > 1000 kjøretøy/døgn, skal det installeres utstyr for NO<sub>2</sub>-måling hvis tunnelen er åpen for gående og syklende. I kortere tunneler, vurderes behovet for overvåking av gasskonsentrasjonen ut fra trafikkmengde og sannsynlighet for kø i tunnelen.

I tunneler med toveistrafikk og lengde fra 1,0 til 2,5 km, bør det plasseres måleutstyr for NO<sub>2</sub> og CO ved de første havarinisjene 375 - 500 m inn fra portalene. I tunneler med lengde fra 2,5 til 6,0 km, bør det i tillegg plasseres målere for NO<sub>2</sub> ved en havarinisje omtrent midt i tunnelen. I tunneler med lengde over 6,0 km bør avstanden mellom NO<sub>2</sub>-målerne være maksimum 2,5 km.

NO-målere som er installert i eldre tunneler, kan brukes inntil videre, men grenseverdiene for start av vifter må justeres ut fra målinger av NO<sub>2</sub>-andel i tunneler med tilsvarende lengde og tungtrafikk.

I tunneler med enveistrafikk, er det ikke behov for måleutstyr i første halvdel av tunnelen.

I tunneler som ventileres mot avtrekkssjakt, bør det plasseres et målepunkt for NO<sub>2</sub> og CO ved siste havarinisje før sjakta.



## C.2 Beregning av nødvendig skyvkraft ved langslufting

### Generelt

Et system med langslufting 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:

#### - Mekaniske ventilasjonskrefter

Mekaniske ventilasjonskrefter forårsakes av vifter som installeres i tunnelen. Trykktapsbidraget fra den mekaniske ventilasjonskraften beregnes ut fra etterfølgende ligning (1) og (2).

#### - Meteorologiske ventilasjonskrefter

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 mer stabile og lettere å få oversikt over. Måling av naturlig trekk anbefales der dette er mulig. Ut fra naturlig trekk inne i tunnelen kan trykktapsbidraget fra den meteorologiske ventilasjonskraften beregnes ut fra ligning (2). Hvis den naturlige trekken ikke kan fastsettes ved målinger, beregnes bidraget ut fra ligning (3).

#### - Stempeffekt fra kjøretøy

Når kjøretøy trafikkerer en tunnel med en hastighet som er forskjellig fra lufthastigheten i tunnelen, vil de utøve et trykk (skyvkraft) mot luftmassene i tunnelen. Denne effekten beregnes ut fra ligning (4) for tunneler med toveis trafikk og etter ligning (5) for enveiskjørte tunneler.

### Dimensjonerende netto skyvkraft

Dimensjonerende netto skyvkraft er den skyvkraften som skal til for å overvinne trykktapsbidraget fra mekaniske ventilasjonskrefter, de meteorologiske ventilasjonskreftene og stempeffekt fra kjøretøyene.

Aktuelle data for tverrsnitt og hydraulisk diameter for de ulike tunnelprofiler er gitt i tabell C.4.

**Tabell C.4** Tverrsnitt og hydraulisk diameter for de ulike tunnelprofiler

Tunnelprofil	Normalprofil, Areal $A_N$ $m^2$	Omkrets $O$ $m$	Hydraulisk diameter $D_H$ $m$
T5,5	29,72	20,21	5,88
T8,5	49,65	26,66	7,45
T11,5	70,87	32,85	8,63
T7,5	40,39	23,96	6,74
T9,5	53,60	28,12	7,62
T10,5	60,40	30,18	8,01
T12,5	75,48	34,40	8,78
T13,0	79,37	35,45	8,96
T13,5	83,72	36,54	9,16
T14,0	87,33	37,54	9,30

$A_N$  = Areal regnet etter normalprofilet over kjørebane og sideareal, forutsatt 5 % fall på skulder (Se tabell 4.3).

$D_H$  = Hydraulisk diameter definert som  $D_H = \frac{4A_N}{O}$  der  $O$  er omkretsen for normalprofilet (berøringsflaten).

## Beregning av forskjellig trykktap

### Mekaniske ventilasjonskrefter, trykktap basert på beregnet nødvendig lufthastighet

#### Ligning (1):

$$\Delta p = \frac{\rho}{2} \left( i + \lambda \frac{L}{D} + 1 \right) u^2 + \rho \frac{du}{dt} \left[ N/m^2 \right]$$

- $\Delta p$  = trykktapet gjennom tunnelen, N/m<sup>2</sup>  
 $\rho$  = luftens tetthet [kg/m<sup>3</sup>]  
 $i$  = innløpstap  
 $\lambda$  = koeffisient for strømningsstap. Varierer fra 0,025 ved utstøpt tunnel til 0,05 ved råsprengt tunnel.  
 $L$  = tunnallengde [m]  
 $D$  = hydraulisk diameter [m], tabell C.4  
 $u$  = dimensjonerende 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:

#### Ligning (2):

$$\Delta p = \frac{\rho}{2} \left( i + \lambda \frac{L}{D} + 1 \right) u^2 \left[ N/m^2 \right]$$

### Trykktap som følge av meteorologiske ventilasjonskrefter

Når lufthastigheten inne i tunnelen er målt etter gjennomslag, kan trykktapet av de meteorologiske effektivene (temperatur og vind) beregnes ut fra ligning 2.

Når lufthastigheten inne i tunnelen ikke er målt etter gjennomslag kan trykkdifferansen mellom tunnelåpningene beregnes ut fra ligning 3.

#### Ligning (3):

$$\Delta p_m = \rho \left( g \frac{\Delta T}{T_i} \Delta H + \frac{w^2}{2} \right) \left[ N/m^2 \right]$$

- $\Delta p_m$  = meteorologisk ventilasjonskraft, [N/m<sup>2</sup>]  
 $\rho$  = luftens tetthet ved nedre tunnelåpning [kg/m<sup>3</sup>]  
 $g$  = tyngdens akselerasjon 9,81 [m/s<sup>2</sup>]  
 $\Delta T$  = differansen mellom midlere lufttemperatur i tunnelen og lufttemperatur ved nedre tunnelåpning [K]  
 $T_i$  = midlere lufttemperatur i tunnelen, [K]  
 $\Delta H$  = høydeforskjell mellom tunnelåpningene ev. mellom tunnelåpning og sjaktåpning [m]  
 $w$  = vindhastighet mot tunnelåpning [m/s]

Retningen på luftstrømmen vil avhenge av temperaturdifferansene mellom tunnel og uteluft. Når temperaturene er like, oppstår det labile tilstander. Dette er ofte tilfelle vår og høst.

## Stempeleffekt fra kjøretøy

### a) Tunneler med toveis trafikk

Stempeleffekt fra kjøretøy, den kraften som bilene utøver på luften i tunnelen (luftmotstanden), uttrykkes som:

**Ligning (4):**

$$P_F = \frac{\rho}{2} \cdot \frac{i_F \cdot A_F}{\left(1 - \frac{A_F}{A_N}\right)^2} \left( N^+ (v_t - u)^2 - N^- (v_t + u)^2 \right) [N]$$

- $P_F$  = stempelkraft [N]  
 $\rho$  = luftens tetthet [kg/m<sup>3</sup>]  
 $A_N$  = normalprofil [m], tabell C.4  
 $A_F$  = biltverrsnitt  
     personbiler  $A_F = 2 \text{ m}^2$   
     lastebiler og busser  $A_F = 6 \text{ m}^2$   
 $i_F$  = formfaktor for å bestemme 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 hastighet,  $N^+$  med luftstrømmen og  $N^-$  mot luftstrømmen  
 $v_t$  = trafikkfart [m/s]  
 $u$  = dimensjonerende lufthastighet [m/s]

**b) Tunneler med enveistrafikk**

For enveistrafikkerte tunneler kan formelen for stempelkraft forenkles til:

**Ligning (5):**

$$P_F = \frac{\rho}{2} \cdot \frac{i_F \cdot A_F}{\left(1 - \frac{A_F}{A_T}\right)^2} \left( N^+ (v_t - u)^2 \right) [N]$$

**c) Motstand fra biler i tunnelen ved brann**

Motstand fra kjøretøy som blir stående i tunnelen ved brann, beregnes etter ligning 5. Antall kjøretøy inn mot brannstedet vurderes ut fra ÅDT, tunnelengde og antatt tid fra brannstart til stengning av tunnelen. Fordeling av tunge og lette kjøretøy baseres på gjennomsnittsbetraktninger. Det forutsettes at alle som har passert brannstedet, kjører ut av tunnelen.

**Dimensjonerende skyvkraft**

$$\text{Dimensjonerende skyvkraft} = \frac{\text{Dim. nettoskyvkraft}}{k_s} = \frac{P_F + \sum_1^n \Delta p_n \cdot A_n}{k_s} [N]$$

- $\Delta p_n \cdot A_n$  = Trykktap · netto tunnelverrsnitt på en delstrekning  
 $k_s$  = systemkoeffisient for impulsvisiter

En systemkoeffisient på 0,7 angir at 30 % av impulsventilatorens skyvkraft går tapt på grunn av at deler av luftstrømmen ut av impulsventilatoren treffer tunneloverflaten. Innløpstapet kan reduseres ved å montere ventilatorene i god avstand fra tunnelheng/vegg. Systemkoeffisienten kan økes til 0,8 hvis avstanden mellom motoraksling og nærmeste punkt i tunnelprofilen er større enn diameteren på viftehjulet. Det forutsettes at trafikkskilt og andre hindringer som forårsaker turbulens, blir plassert i minst 10 m avstand fra ventilatorens luftinntak.

### C.3 Styring av ventilasjonsanlegg

Impulsventilatorene bør startes med 5 – 10 sekunders mellomrom for å begrense belastningen på det elektriske anlegget ved direkte start. Nøyaktig starttid oppgis av ventilatorleverandør. Antall start og stopp bør begrenses til et minimum ved effektiv styring. Ventilasjonsnivået bør reguleres automatisk i 2 – 4 trinn. Startgrenser, antall ventilatorer i hvert trinn og ettergangstider bør kunne endres enkelt uten omprogrammering. Ettergangstid er definert som driftstid for ventilasjonsanlegget etter at gassnivået for alle målepunkt har falt under startgrensen. Riktig ettergangstid vil sørge for at en gasspropp flyttes fra målepunktet og ut av tunnelen før ventilasjonsanlegget stopper. Ettergangstidene i hvert trinn tilpasses ut fra aktuell viftekapasitet og tid for utlufting av halve tunnallengden. I tunneler med toveistrafikk kan det bli nødvendig å øke ettergangstiden for å gi tilstrekkelig gjennomlufting i perioder med stor trafikkandel i retning mot ventilasjonsanlegget. Det er viktig at nye ventilasjonsanlegg følges nøye opp et par måneder etter åpning av tunnelen, med justering av ettergangstidene for den virkelige trafikksituasjonen.

Tabell C.5 inneholder et forslag til startgrenser i et 4-trinns ventilasjonsanlegg. Startverdiene justeres ut fra driftserfaringer etter åpning av tunnelen. Ventilasjon for NO<sub>2</sub> vil normalt gi akseptable verdier av svevestøv. Det forutsettes at mengden av større partikler holdes på et akseptabelt nivå ved feiing/spyling eller ved bruk av støvbindende midler.

Erfaringer viser at feil på måleutstyret kan gi både dårlig luft og store energikostnader. Det er derfor viktig med gode rutiner for å oppdage målefeil og funksjonssvikt på måleutstyret i tillegg til periodisk kalibrering og utskifting av sensorer.

**Tabell C.5** Forslag til startgrenser for NO<sub>2</sub>, NO og CO

Ventilasjons-trinn	Ved havarinisje 350 – 500 m fra portal			Ved havarinisje midt i tunnelen		
	NO <sub>2</sub>	NO	CO	NO <sub>2</sub>	NO	CO
1	0,8	5,0	20	0,4	4,5	10
2	1,0	6,5	30	0,5	5,1	15
3	1,2	8,0	40	0,6	5,7	20
4	1,4	9,5	50	0,7	6,3	25
Alarm	1,5	10	100	0,75	6,8	50

Ved enveistrafikk og fri trafikkavvikling er stempeleffekten som regel stor nok til å ventilere tunnelen uavhengig av tunnallengde. Ventilasjonsretningen er alltid med trafikken. Hvis trafikken om natta blir så liten at trekken stopper opp blir også utslippet av forurensning så lite at det sjelden blir behov for ventilasjon, men det er viktig å være klar over at NO<sub>2</sub>-andelen av NO<sub>x</sub> stiger når ventilasjonsanlegget stoppes i flere timer.

Ved variabel ventilasjonsretning bør det brukes vifter med tilnærmet lik skyvkraft i begge retninger.

## D BEREKNINGSMODELL FOR BRANNVENTILASJON

### Modell for beregning av viftekapasitet i tunneler med helning

Ved å ta utgangspunkt i en tunnel med en gitt helning, vil røygassene stige som i en skorstein på grunn av oppdrift. Denne skorsteinseffekten kan modelleres analytisk ut fra følgende forutsetninger:

- Tidsfunksjoner neglisjeres, dvs. ligningene er gyldige ved stasjonære forhold.
- Konstant helning i tunnelen og konstant tverrsnittsareal.
- Moderat brann, slik at:
  - Varmestrålingsbidraget antas å bli absorbert i veggene.
  - Varmeroverføringen er kontrollert av konvektiv transport fra røygassene til tunnelveggene.
  - Tunnelveggenes varmekapasitet antas uendelig mye større enn varmekapasiteten til røygassene, dvs. varmeutveksling mellom gass og veggmateriale medfører temperaturendringer kun i gassfasen.
  - Tilnærmet endimensjonal strømming i tunnelen, dvs. effekten av lokal oppdrift og sjiktning av røygassene like ved brannstedet neglisjeres.
  - Massestrømmen (produktet: areal · tetthet · hastighet) er konstant over et hvert tverrsnitt i tunnelen.
  - Trykkoppbygging i tunnelen skyldes skorsteinseffekten (modellen vil ikke være egnet for å beregne oppdrift i tunneler med liten stigning. Trykkoppbygging fra brannen vil da være dominert av lokale effekter. Lokal trykkoppbygging fra en 5 MW brann er i størrelsesorden 10-20 Pa). Ventilasjonshastighet lavere enn 2 m/s er ikke anbefalt og er derfor heller ikke angitt i disse beregningene. Tilsvarende anbefales minimum 50 Pa som drivtrykk.

For enkelhets skyld antas initielt samme temperatur ute som i selve tunnelen. Eventuelle temperaturforskjeller ute og inne i selve tunnelen vil gi naturlig trekk. Naturlig trekk og ekstern vind vil påvirke behovet for røykventilasjon, noe som det kan kompenseres for. Brannindusert hastighet og trykk i tunneler er i liten grad påvirket av tverrsnittsarealet. Tverrsnittsarealet kommer inn når kraftbehovet skal beregnes.

### Ventilasjonsdata for tunneler ved brann på 20 MW, 50 MW og 100 MW

For å gjøre beregningene enklere er nødvendig ventilasjonshastighet og tilhørende drivtrykk for å overvinne brannindusert luftstrøm ved branner i størrelsesorden 20, 50 og 100 MW, fremstilt grafisk som funksjon av tunnellengde og stigning. Resultatene er gitt for gjennomsnittlig stigning (2 %, 4 %, 6 %, 8 % og 10 %) og tunnellengde inntil 10 km. To typer tunneler er illustrert, en som har stigning gjennom tunnelen og en type med først helning og påfølgende stigning som gir typiske lavpunkt (for eksempel undersjøiske tunneler). I figurene er det også angitt en  $\Delta p$  som uttrykker summen av naturlige trykkforhold slik som naturlig trekk og ekstern vind. Bidrag fra naturlig trykkforhold  $\Delta p$  beregnes etter ligning (6). Tunnelprofilen inngår ikke i beregningen før impuls kraft fra vifte beregnes i ligning (7).

Ventilasjonshastigheten angis fra 2 m/s og oppover. Nødvendig ventilasjonshastighet (større enn 2 m/s) eller nødvendig drivtrykk til viftene (større enn 50 Pa) finnes ved å lese direkte i grafene.

Figurene D.1 - D.4 gir nødvendig ventilasjonshastighet og ventilasjonstrykk for 20 MW og ingen bidrag fra naturlige trykkforhold, for tunnel med henholdsvis kun stigning og tunnel der kun halve lengden bidrar til oppdrift (typisk undersjøiske tunneler).

Figurene D.5 - D.8 gir nødvendig ventilasjonshastighet og ventilasjonstrykk for 20 MW der bidrag fra naturlige trykkforhold er 16 Pa, for tunnel med henholdsvis kun stigning og tunnel der kun halve lengden bidrar til oppdrift (typisk undersjøiske tunneler).

Figurene D.9 - D.12 gir nødvendig ventilasjonshastighet og ventilasjonstrykk for 20 MW der bidrag fra naturlige trykkforhold er 64 Pa, for tunnel med henholdsvis kun stigning og tunnel der kun halve lengden bidrar til oppdrift (typisk undersjøiske tunneler).

Figurene D.13 - D.16 gir nødvendig ventilasjonshastighet og ventilasjonstrykk for henholdsvis 50 MW og 100 MW, og ingen bidrag fra naturlige trykkforhold. Tunnelen har kun stigning.

Figurene D.17 - D.20 gir nødvendig ventilasjonshastighet og ventilasjonstrykk for henholdsvis 50 MW og 100 MW, og ingen bidrag fra naturlige trykkforhold. Kun halve lengden bidrar til oppdrift (typisk undersjøiske tunneler).

Figurene D.21 - D.24 gir nødvendig ventilasjonshastighet og ventilasjonstrykk for henholdsvis 50 MW og 100 MW, der bidrag fra naturlige trykkforhold er 16 Pa. Tunnelen har kun stigning.

Figurene D.25 - D.28 gir nødvendig ventilasjonshastighet og ventilasjonstrykk for henholdsvis 50 MW og 100 MW, der bidrag fra naturlige trykkforhold er 16 Pa. Kun halve lengden bidrar til oppdrift (typisk undersjøiske tunneler).

Figurene D.29 - D.32 gir nødvendig ventilasjonshastighet og ventilasjonstrykk for henholdsvis 50 MW og 100 MW, der bidrag fra naturlige trykkforhold er 64 Pa. Tunnelen har kun stigning.

Figurene D.33 - D.36 gir nødvendig ventilasjonshastighet og ventilasjonstrykk for henholdsvis 50 MW og 100 MW, der bidrag fra naturlige trykkforhold er 64 Pa. Kun halve lengden bidrar til oppdrift (typisk undersjøiske tunneler).

Ved å påtrykke et litt høyere trykk enn det som genereres ved brann, vil man over tid overvinne den naturlige ventilasjonen. Der man bruker lavere verdier enn angitt i beregningen, vil strømningsretningen ikke kunne snus. Det anbefales å sette minimum ventilasjonshastighet lik 2 m/s eller et drivtrykk på minimum 50 Pa.

Inngangsdata er gitt i tabell D.1. Avstanden fra brann til utløp er satt lik lengden på tunnelen for tunneler med kun stigning. For tunneler med både positiv og negativ helning langs tunnelstrekket, benyttes den gjennomsnittlige stigningen fra det laveste punktet til utløpet for å beregne stigning. Tunnelens totale lengde inngår i beregningene av strømningsmotstand. Dette er tatt hensyn til i beregningene gitt nedenfor.

### Beregning av trykkbidrag $\Delta p$ , fra naturlig vind og oppdrift

Ekstern vind inn mot tunnelåpningen kan sette opp en trykkdifferanse mellom utløp og innløp slik at det blir naturlig trekk. Nøyaktig beregning av denne er svært avhengig av lokale forhold. I ligning (6) antas at vinden står rett inn mot innløpet og at utløpet ligger i le (vindstille).

Naturlig oppdrift er bestemt av temperaturforskjellen inne i tunnelen i forhold til omgivelsene. Den kan gi strømning både oppover og nedover, avhengig av om temperaturen er høyest i tunnelen eller utenfor (høyest temperatur i tunnelen gir positiv oppdrift i ligning (6)).

#### Ligning (6):

Der:

$$\Delta p = \frac{1}{2} \cdot \rho_{ute} \cdot u_{\infty}^2 + (\rho_{ute} - \rho_{inne}) \cdot g \cdot \Delta H$$

- $u_{\infty}$  = ekstern vind [m/s]
- $\rho$  = luftens tetthet [ $\text{kg/m}^3$ ]
- $g$  = tyngdens akselerasjon, 9,8 [ $\text{m/sek}^2$ ]
- $\Delta H$  = høydeforskjell mellom tunnelåpningene [m]

Hvis  $\Delta p$  er positiv vil den virke i samme retning som en eventuell brann, og dermed øke kravet til viftekapasitet.

**Eksempel:**

Ekstern vind 5 m/s, 10 °C i tunnelen, 0 °C ute og en høydeforskjell på 100 m.

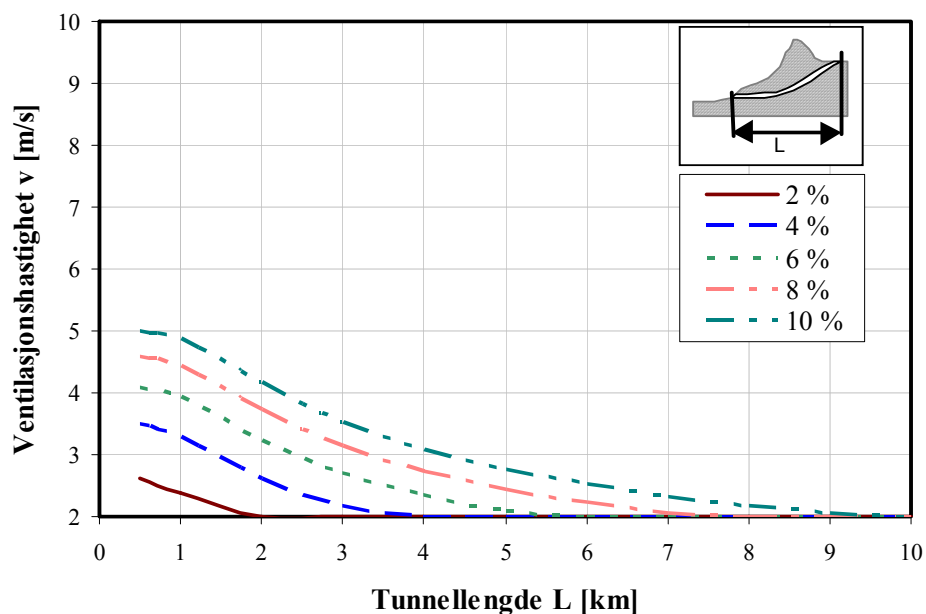
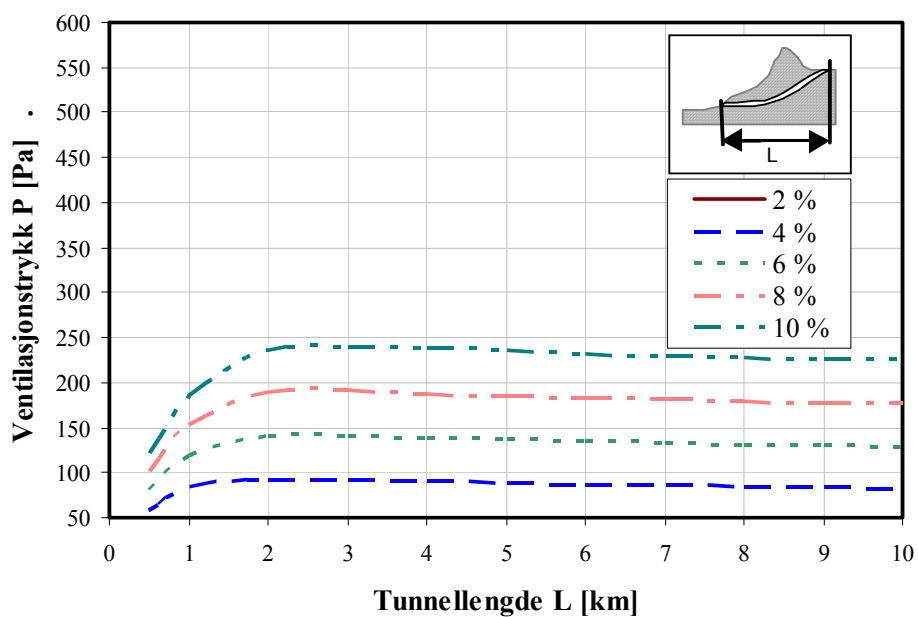
Tetthet  $\rho$  bestemmes av tilstandsligningen for luft, atmosfærens trykk delt på gasskonstant og temperatur i Kelvin.

$$\rho_0 = 1,01 \cdot 10^5 / 287 / (273 + 0) = 1,29 \text{ kg/m}^3 \text{ og } \rho_{10} = 1,01 \cdot 10^5 / 287 / (273 + 10) = 1,24 \text{ kg/m}^3$$

$$\Delta p = \frac{1}{2} \cdot 1,29 \cdot 5^2 + (1,29 - 1,24) \cdot 9,8 \cdot 100 = 65 \text{ Pa}$$

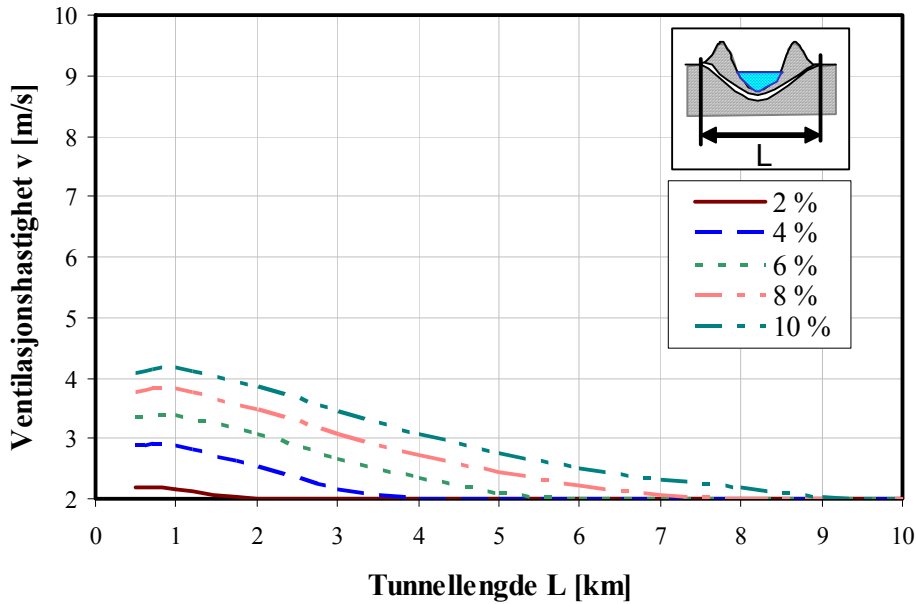
**Tabell D.1** Inngangsdata brukt i figurene D.1 – D.36. Det anbefales at minimum ventilasjonshastighet settes til 2 m/s eller drivtrykk minimum 50 Pa.

Parameter	Enhet	Verdi	Kommentar
O	[MW]	20, 50 og 100	Branneffekt
T <sub>0</sub>	[K]	273	Initiell temperatur i tunnel og utenfor
L	[m]	500 - 10 000	Tunnellengde
Profil	[-]	T8,5 - T14	Profiler i henhold til kapittel 4 Geometrisk utforming
$\alpha$	[%]	2, 4, 6, 8, 10	Stigningstall
x	[m]	500 - 10 000	Avstand fra tennkilde til utløp, satt lik tunnellengde, $x = L$ eller $x = \frac{1}{2} L$ .
	[%]	2, 4, 6, 8, 10	Stigningstall i henhold til figur.
$\Delta p$	[Pa]	0, 16 og 64	Naturlig drivtrykk på grunn av oppdrift og ekstern vind.
$h_e$	[W/m <sup>2</sup> K]	20	Konvektiv varmeovergangstall. 20 kW/m <sup>2</sup> K er en omtrentlig verdi som gir rimelige resultater i forhold til forsøksdata. Den anbefales brukt for alle tunneler. Verdien er avhengig av ruheten i overflatene og lavere verdi for $h_e$ gir høyere oppdriftstrykk fra branner.
I	[-]	0,5	Innløpsmotstand, avhengig av utforming av innløpet til tunnelen.
$\lambda$	[-]	0,04	Motstandskoeffisient for strømning. Avhengig av ruheten på overflatene. Lavere verdi for $\lambda$ gir høyere oppdriftstrykk for branner.
Korreksjonsfaktor	[-]	0,8 og 0,7 for hhv 20 og 50/100 MW branneffekt	Korreksjonsfaktor som sier noe om hvor stor andel av varmeeffekten som går i røygassene.

**Røykventilasjon, 20 MW brann,  $\Delta P = 0$  Pa**Figur D.1 Ventilasjonshastighet 20 MW brann, jevn stigning og  $\Delta p = 0$  Pa.**Røykventilasjon, 20 MW brann,  $\Delta P = 0$  Pa**Figur D.2 Ventilasjonstrykk 20 MW brann, jevn stigning og  $\Delta p = 0$  Pa.

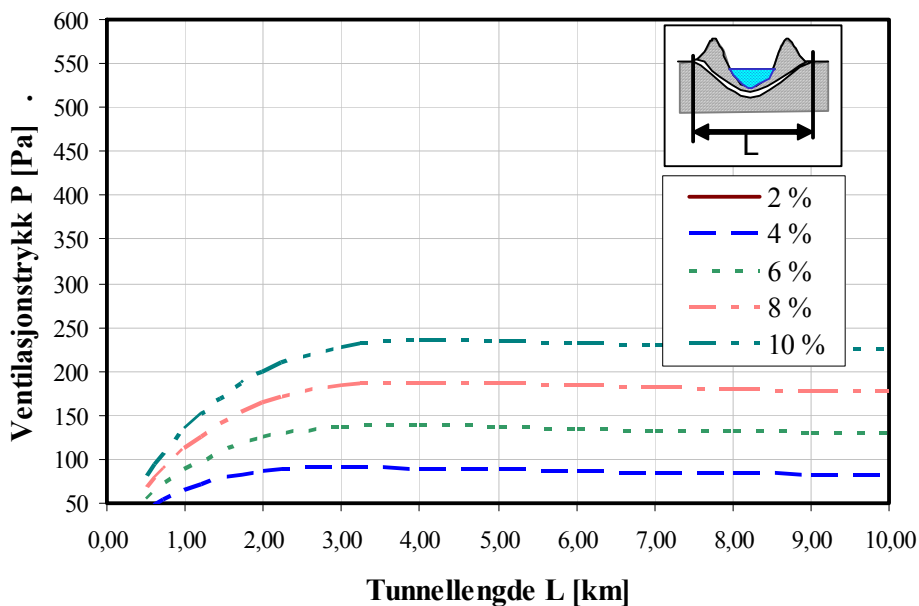


### Røykventilasjon, 20 MW brann, $\Delta P = 0$ Pa



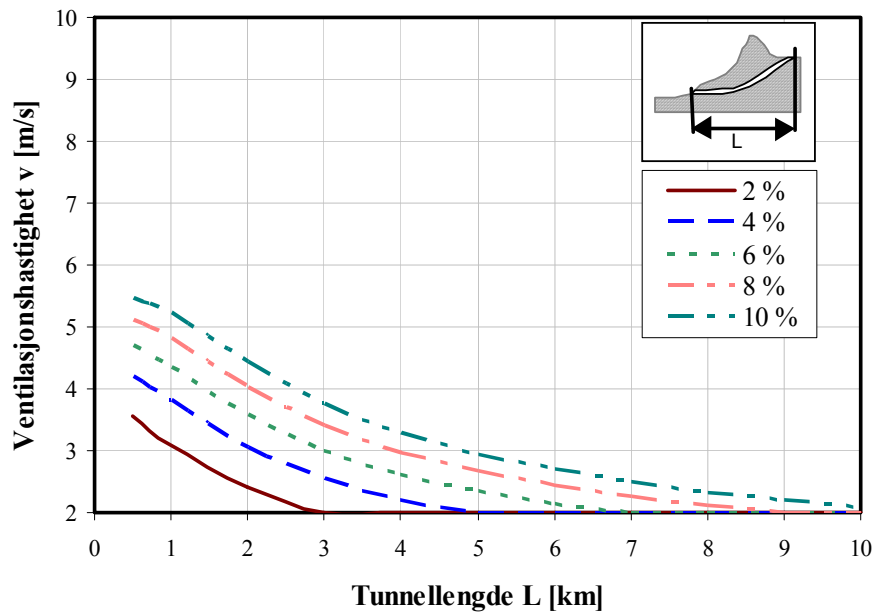
Figur D.3 Ventilasjonshastighet 20 MW brann, jevn stigning over halv lengde og  $\Delta p = 0$  Pa.

### Røykventilasjon, 20 MW brann, $\Delta P = 0$ Pa



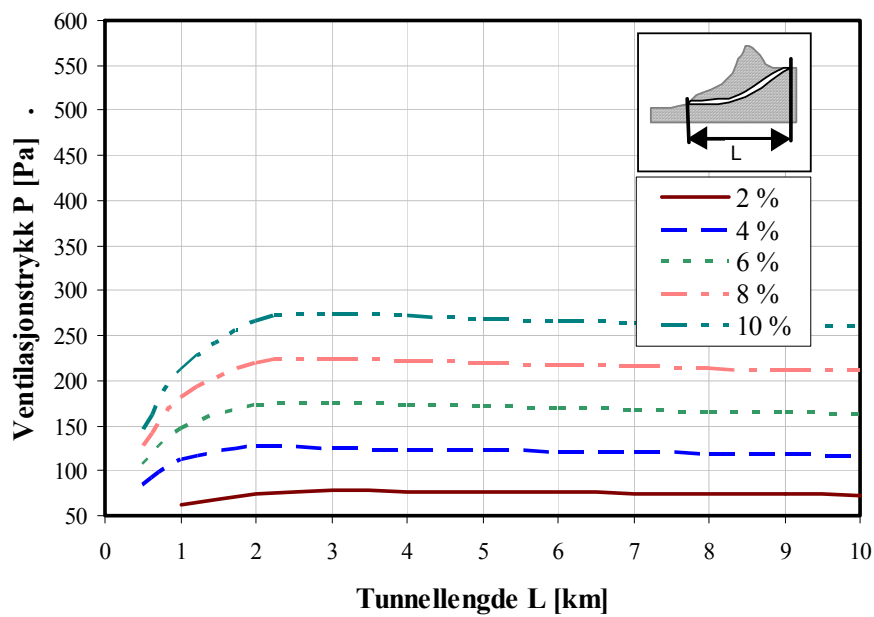
Figur D.4 Ventilasjonstrykk 20 MW brann, jevn stigning over halv lengde og  $\Delta p = 0$  Pa.

### Røykventilasjon, 20 MW brann, $\Delta P = 16$ Pa



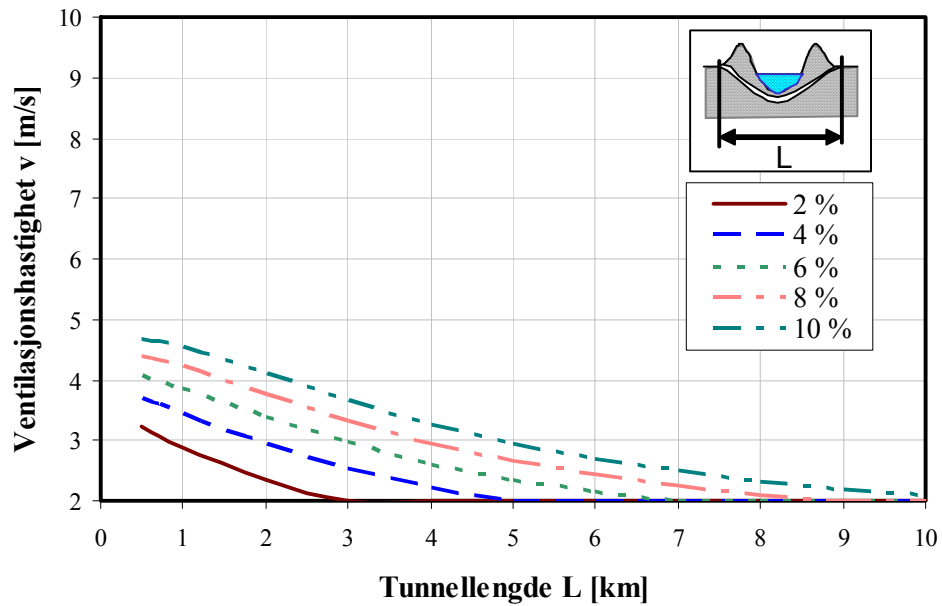
Figur D.5 Ventilasjonshastighet 20 MW brann, jevn stigning og  $\Delta p = 16$  Pa.

### Røykventilasjon, 20 MW brann, $\Delta P = 16$ Pa



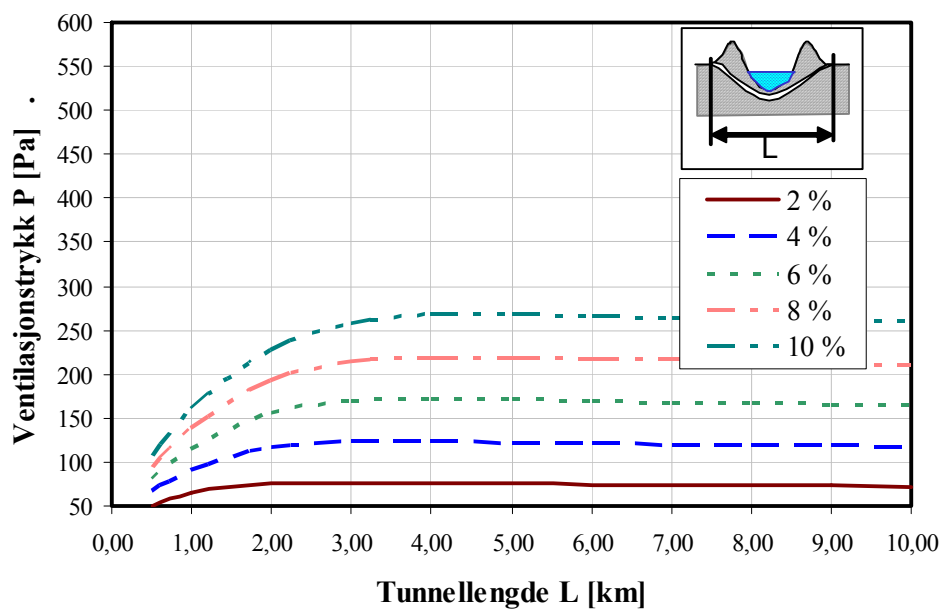
Figur D.6 Ventilasjonstrykk 20 MW brann, jevn stigning og  $\Delta p = 16$  Pa.

### Røykventilasjon, 20 MW brann, $\Delta P = 16$ Pa



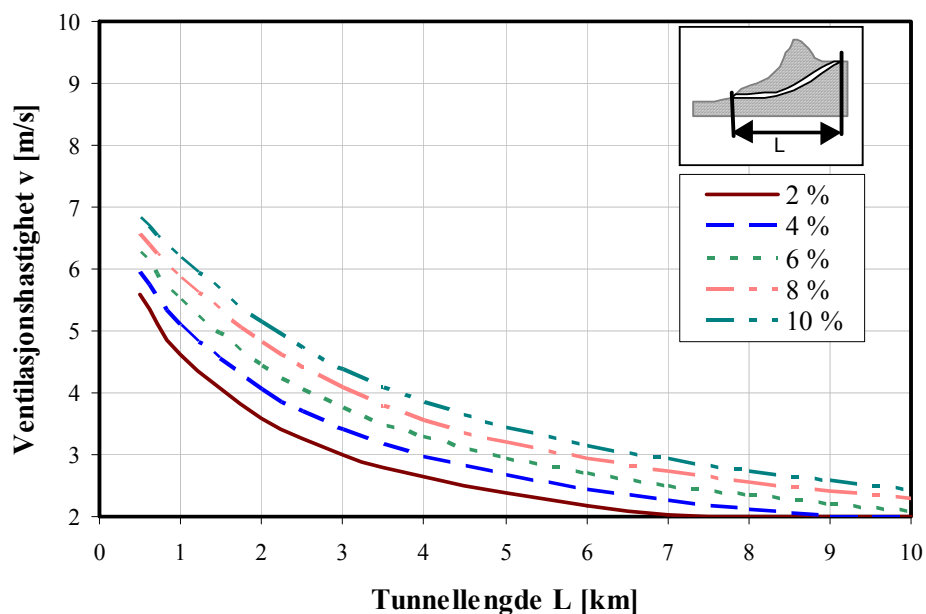
Figur D.7 Ventilasjonshastighet 20 MW brann, jevn stigning over halv lengde og  $\Delta p = 16$  Pa.

### Røykventilasjon, 20 MW brann, $\Delta P = 16$ Pa



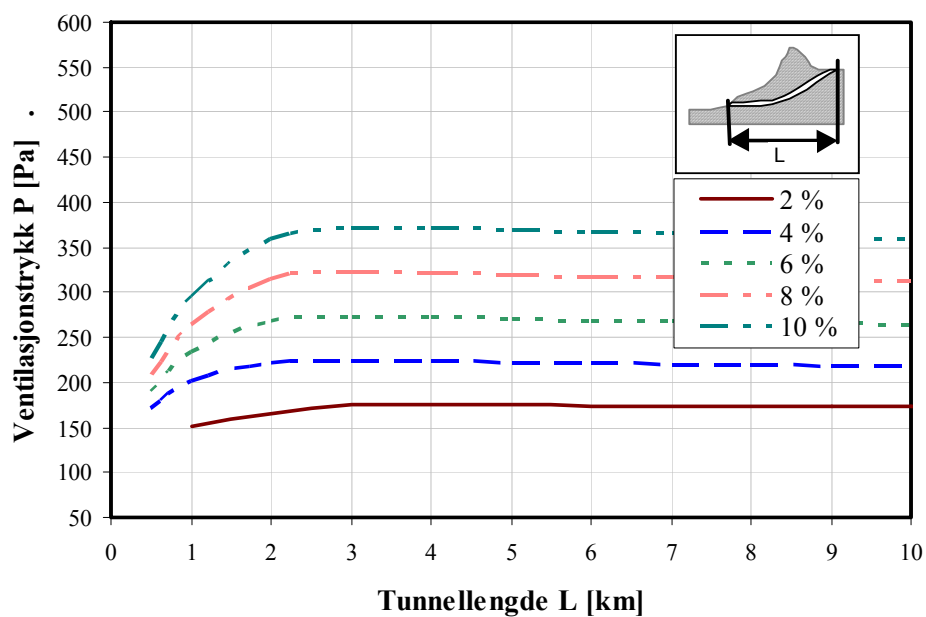
Figur D.8 Ventilasjonstrykk 20 MW brann, jevn stigning over halv lengde og  $\Delta p = 16$  Pa.

### Røykventilasjon, 20 MW brann, $\Delta P = 64$ Pa



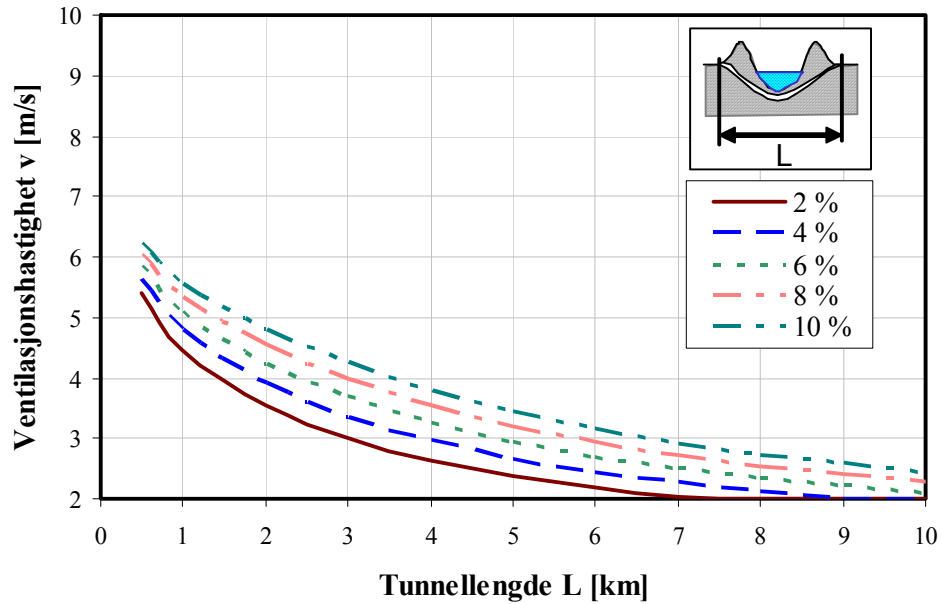
Figur D.9 Ventilasjonshastighet 20 MW brann, jevn stigning og  $\Delta p = 64$  Pa.

### Røykventilasjon, 20 MW brann, $\Delta P = 64$ Pa



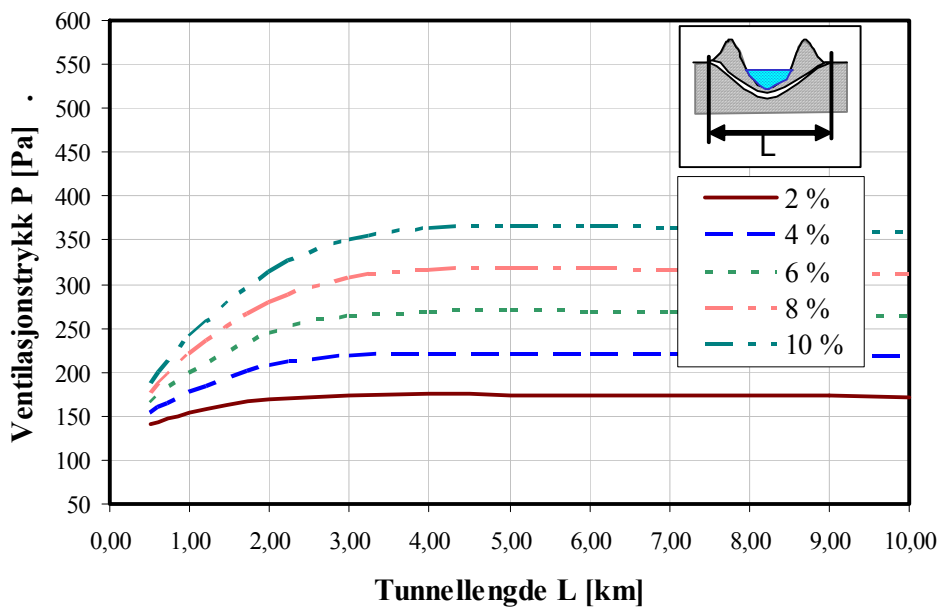
Figur D.10 Ventilasjonstrykk 20 MW brann, jevn stigning og  $\Delta p = 64$  Pa.

### Røykventilasjon, 20 MW brann, $\Delta P = 64$ Pa



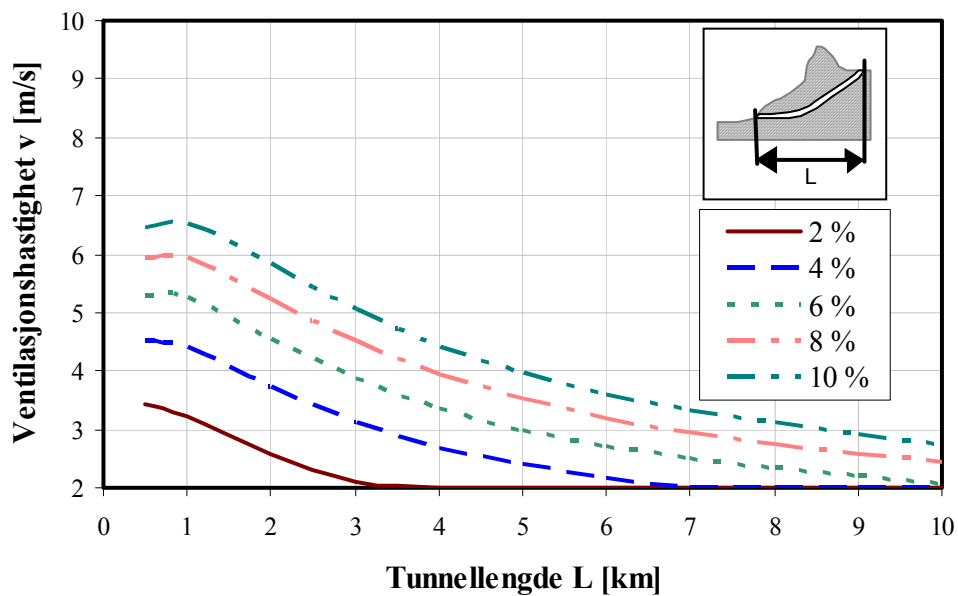
Figur D.11 Ventilasjonshastighet 20 MW brann, jevn stigning over halv lengde og  $\Delta p = 64$  Pa.

### Røykventilasjon, 20 MW brann, $\Delta P = 64$ Pa



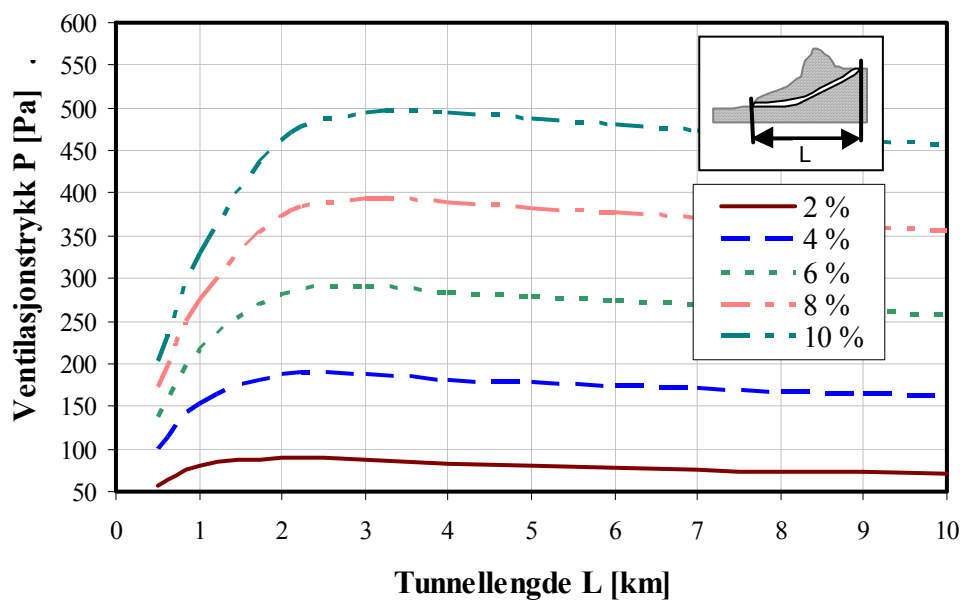
Figur D.12 Ventilasjonstrykk 20 MW brann, jevn stigning over halv lengde og  $\Delta p = 64$  Pa.

### Røykventilasjon, 50 MW brann, $\Delta P = 0$ Pa



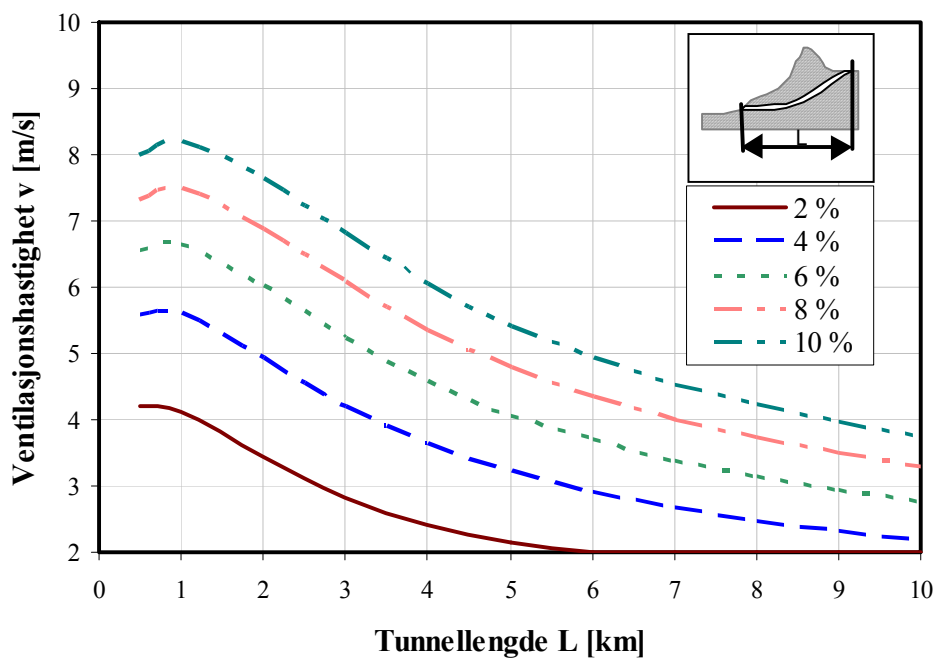
Figur D.13 Ventilasjonshastighet 50 MW brann, jevn stigning og  $\Delta p = 0$  Pa.

### Røykventilasjon 50 MW brann, $\Delta P = 0$ Pa



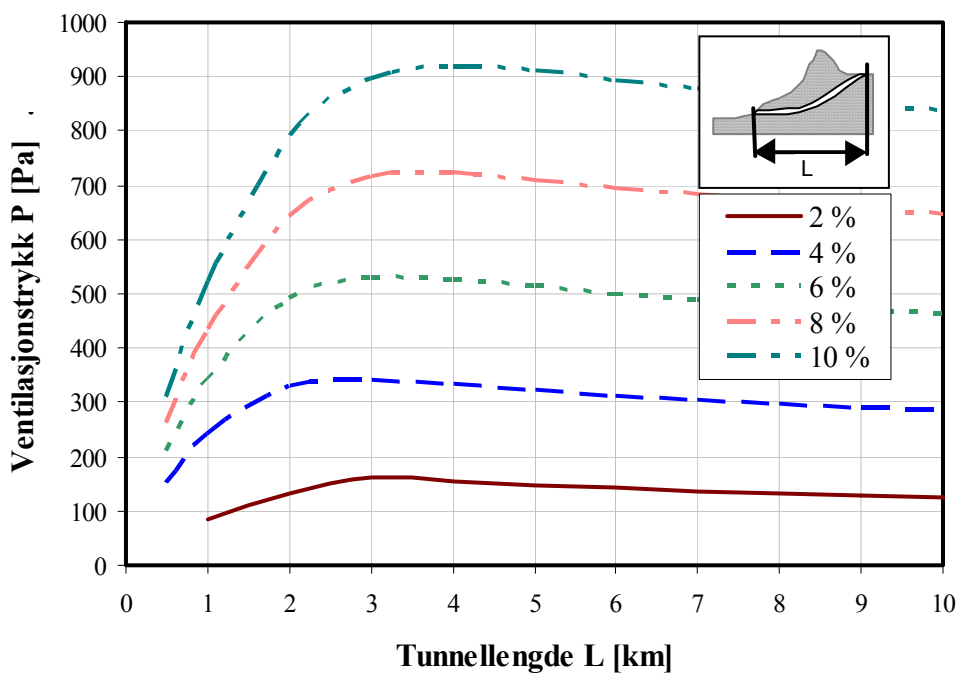
Figur D.14 Ventilasjonstrykk 50 MW brann, jevn stigning og  $\Delta p = 0$  Pa.

### Røykventilasjon, 100 MW brann, $\Delta P = 0$ Pa



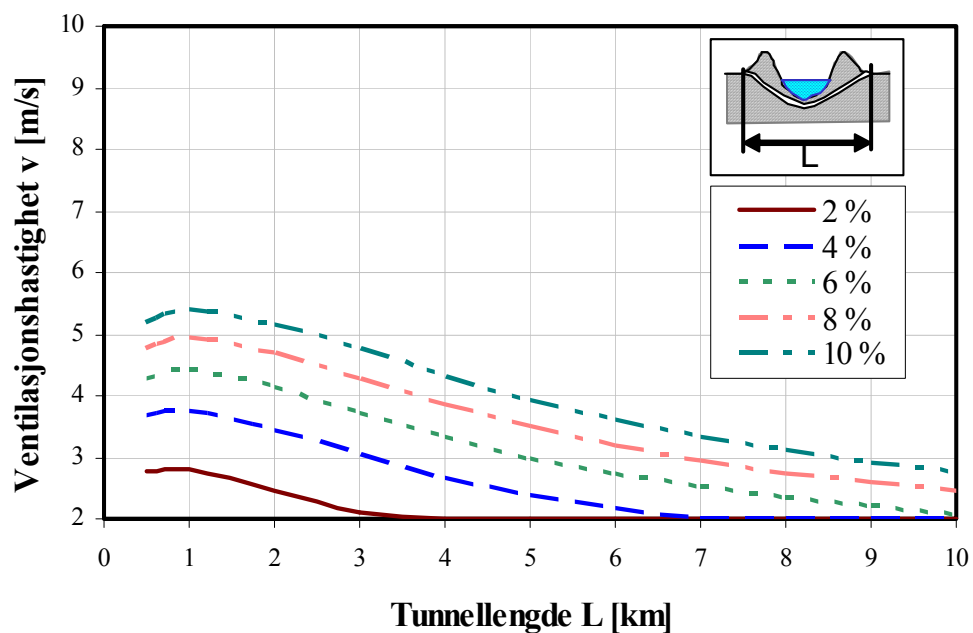
Figur D.15 Ventilasjons hastighet 100 MW brann, jevn stigning og  $\Delta p = 0$  Pa.

### Røykventilasjon, 100 MW brann, $\Delta P = 0$ Pa



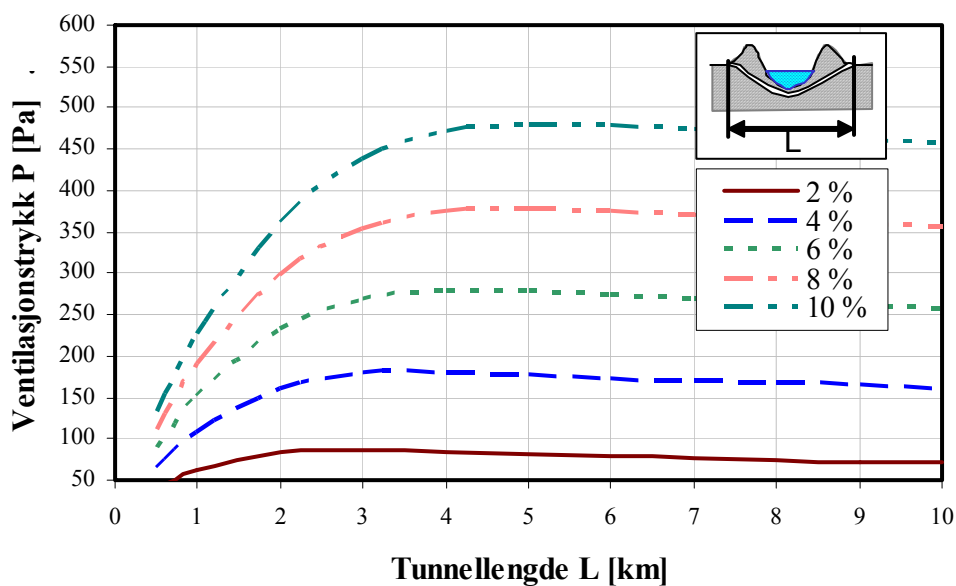
Figur D.16 Ventilasjons trykk 100 MW brann, jevn stigning og  $\Delta p = 0$  Pa.

### Røykventilasjon, 50 MW brann, $\Delta P = 0$ Pa



Figur D.17 Ventilasjonshastighet 50 MW brann, jevn stigning over halv lengde og  $\Delta p = 0$  Pa.

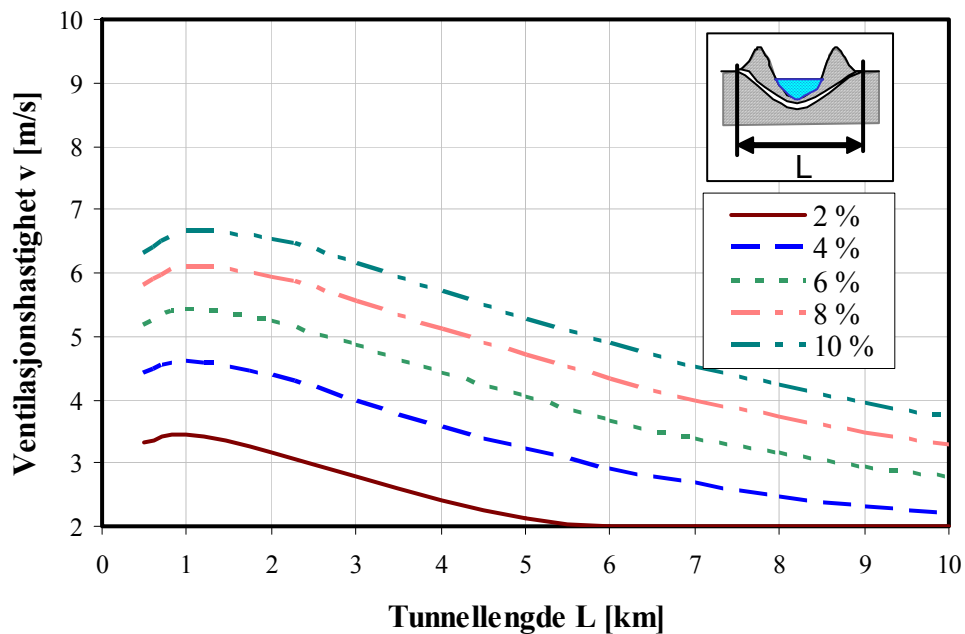
### Røykventilasjon, 50 MW brann, $\Delta P = 0$ Pa



Figur D.18 Ventilasjonstrykk 50 MW brann, jevn stigning over halv lengde og  $\Delta p = 0$  Pa.

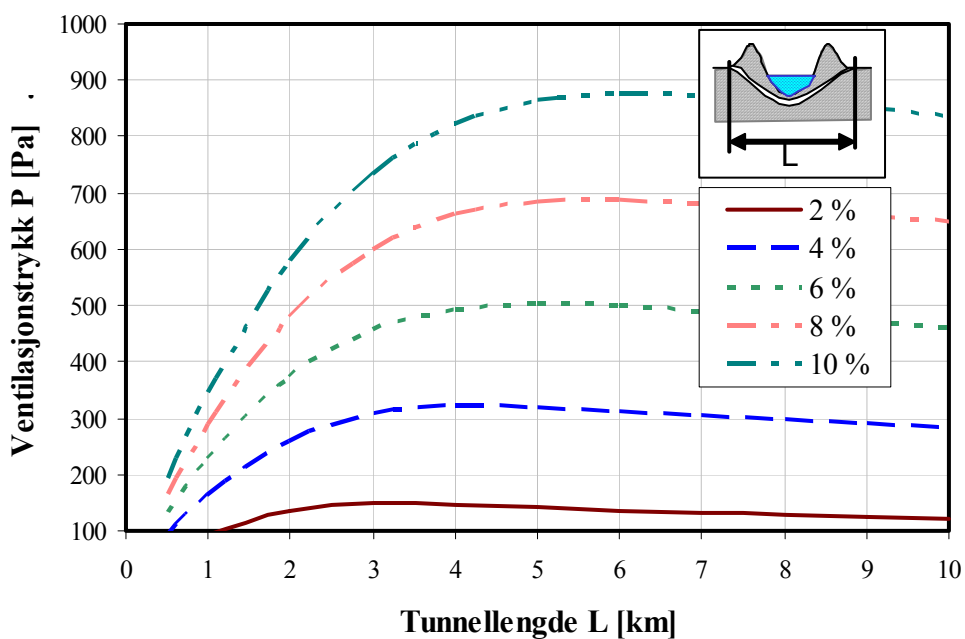


### Røykventilasjon, 100 MW brann, $\Delta P = 0$ Pa



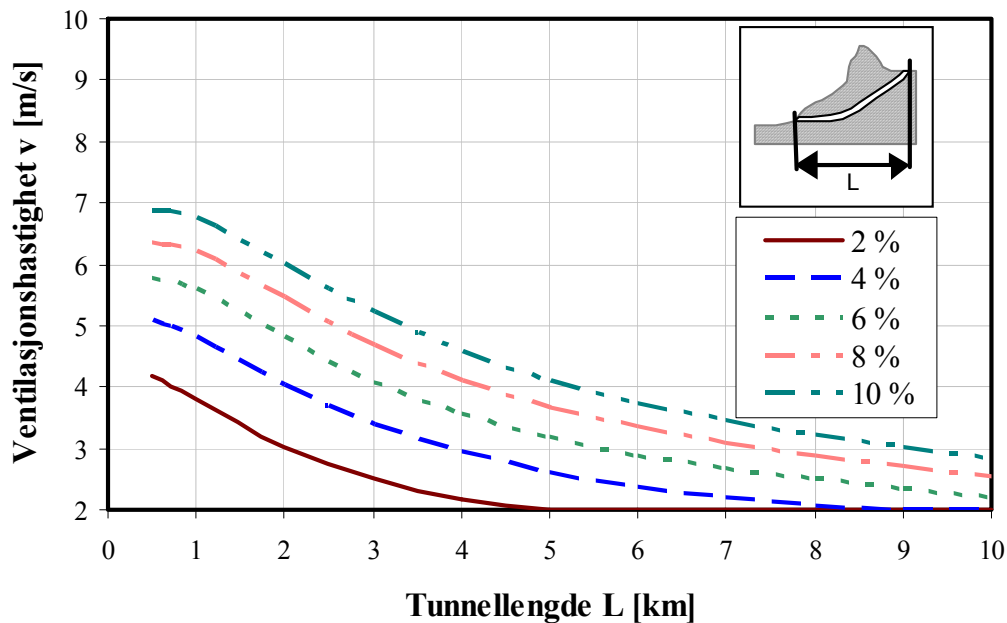
Figur D.19 Ventilasjonshastighet 100 MW brann, jevn stigning over halv lengde og  $\Delta p = 0$  Pa.

### Røykventilasjon, 100 MW brann, $\Delta P = 0$ Pa



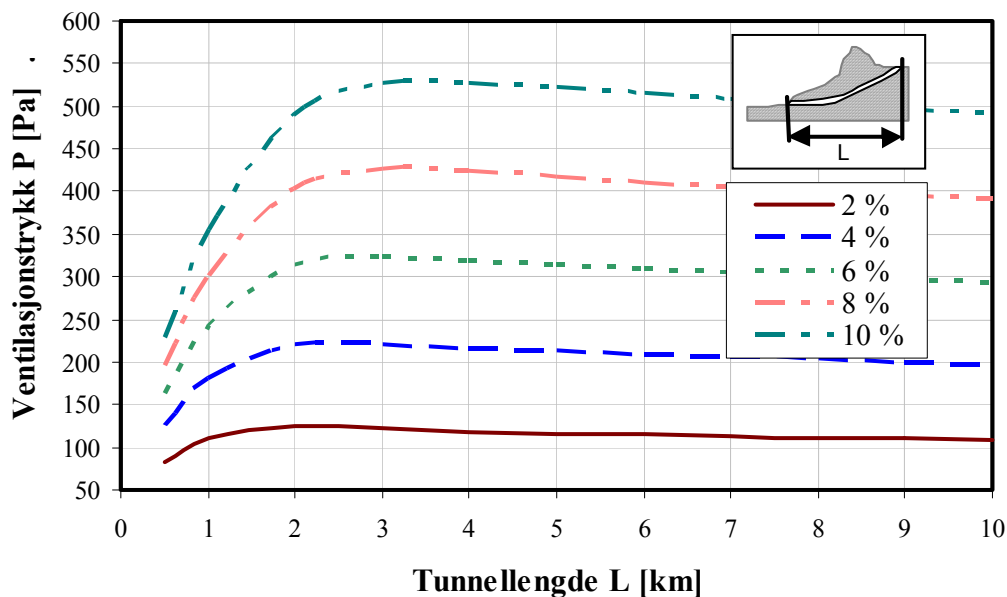
Figur D.20 Ventilasjonstrykk 100 MW brann, jevn stigning over halv lengde og  $\Delta p = 0$  Pa.

### Røykventilasjon, 50 MW brann, $\Delta P = 16$ Pa



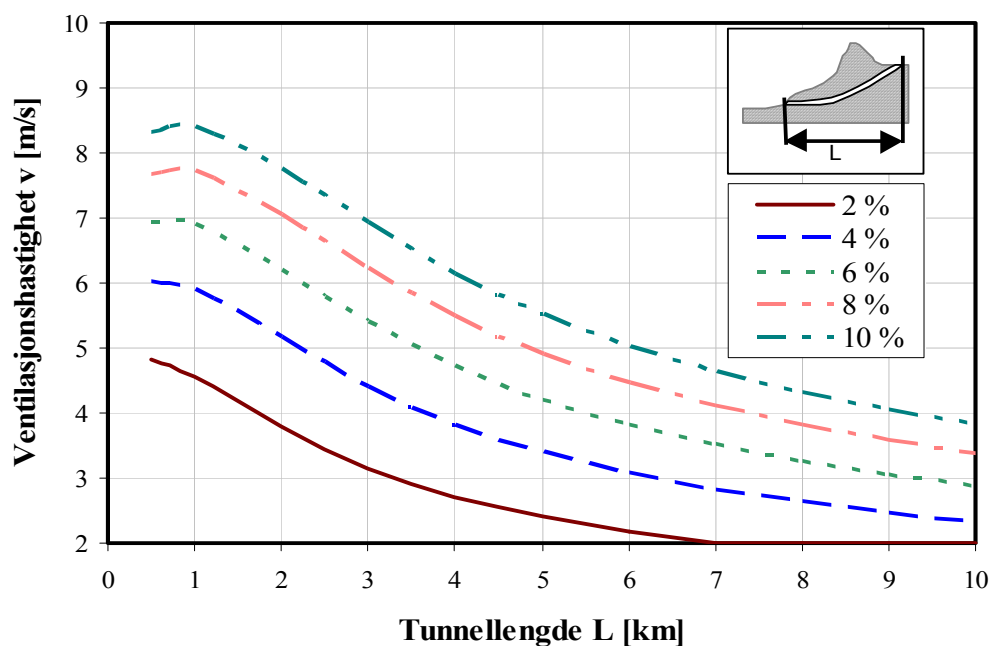
Figur D.21 Ventilasjonshastighet 50 MW brann, jevn stigning og  $\Delta p = 16$  Pa.

### Røykventilasjon 50 MW brann, $\Delta P = 16$ Pa



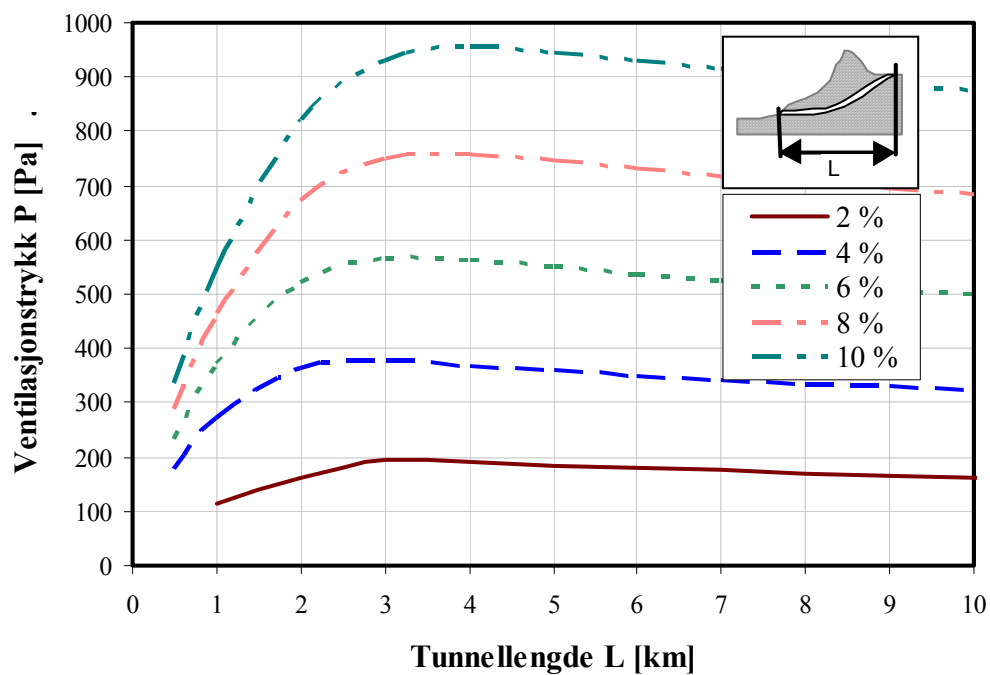
Figur D.22 Ventilasjonstrykk 50 MW brann, jevn stigning og  $\Delta p = 16$  Pa.

### Røykventilasjon, 100 MW brann, $\Delta P = 16$ Pa



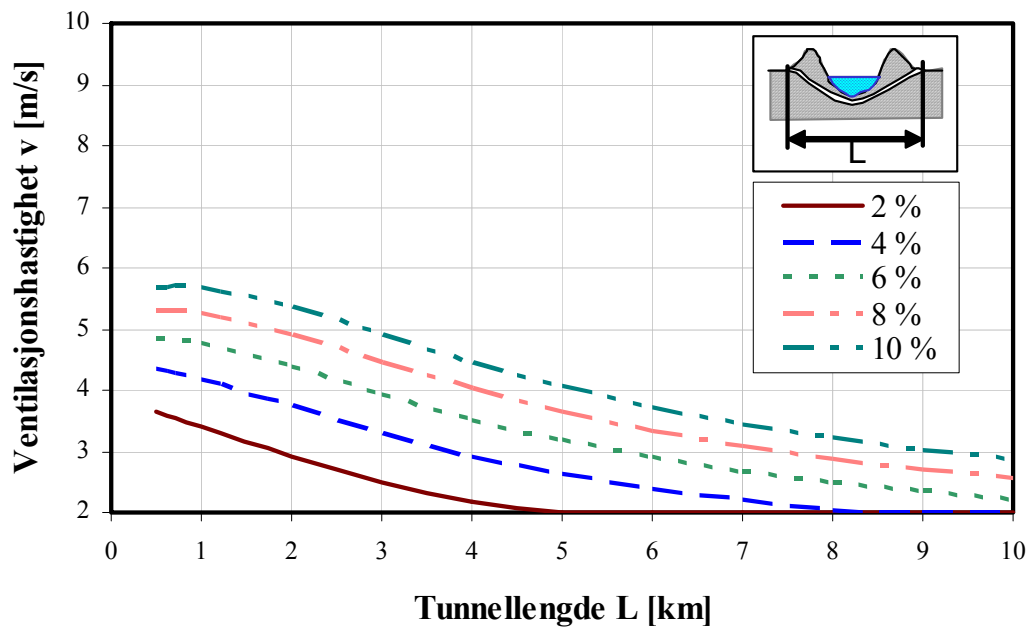
Figur D.23 Ventilasjonshastighet 100 MW brann, jevn stigning og  $\Delta p = 16$  Pa.

### Røykventilasjon, 100 MW brann, $\Delta P = 16$ Pa



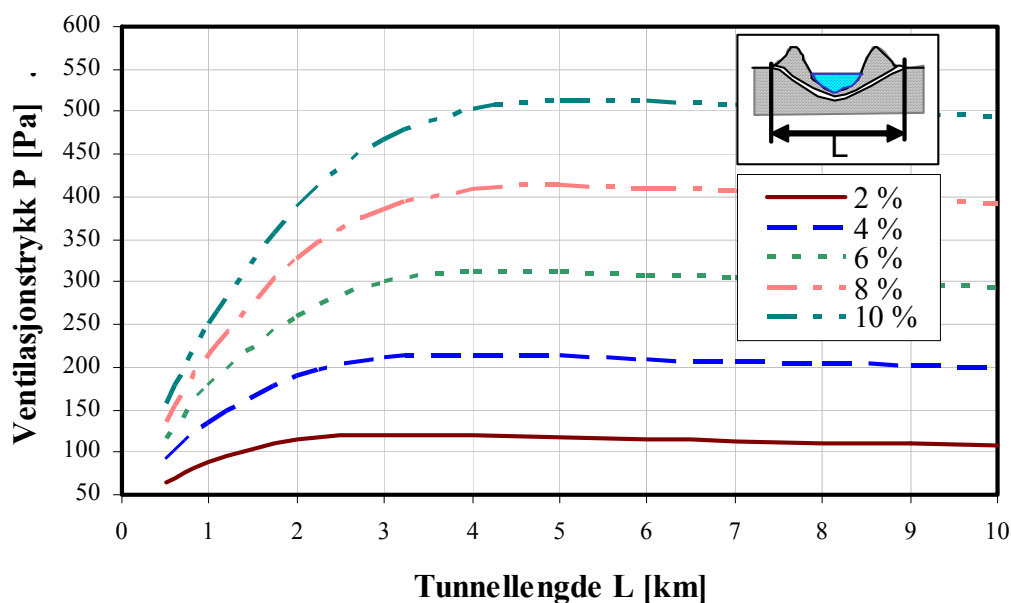
Figur D.24 Ventilasjonstrykk 100 MW brann, jevn stigning og  $\Delta p = 16$  Pa.

### Røykventilasjon, 50 MW brann, $\Delta P = 16$ Pa



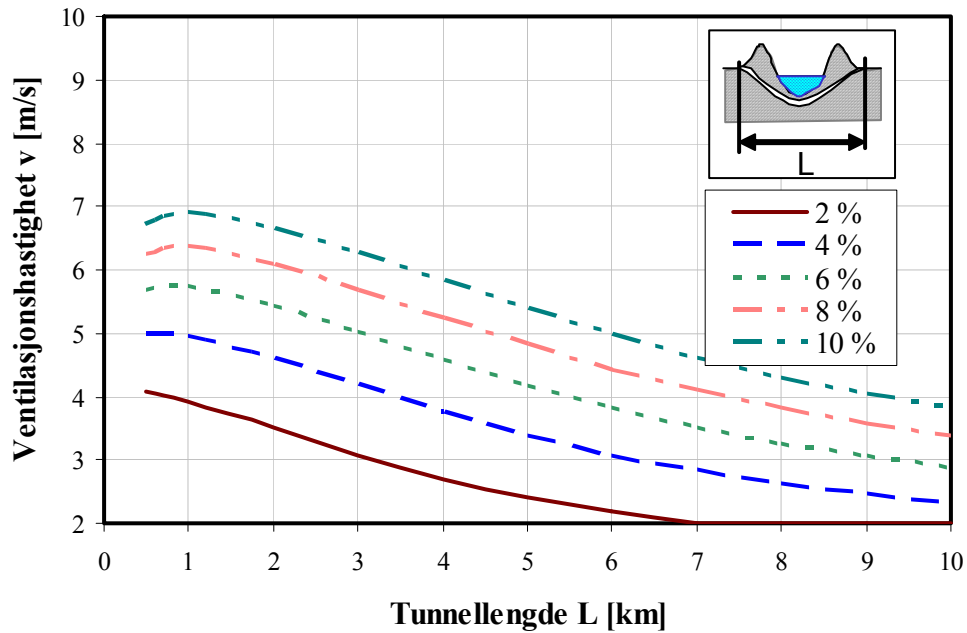
Figur D.25 Ventilasjonshastighet 50 MW brann, jevn stigning over halv lengde og  $\Delta p = 16$  Pa.

### Røykventilasjon, 50 MW brann, $\Delta P = 16$ Pa



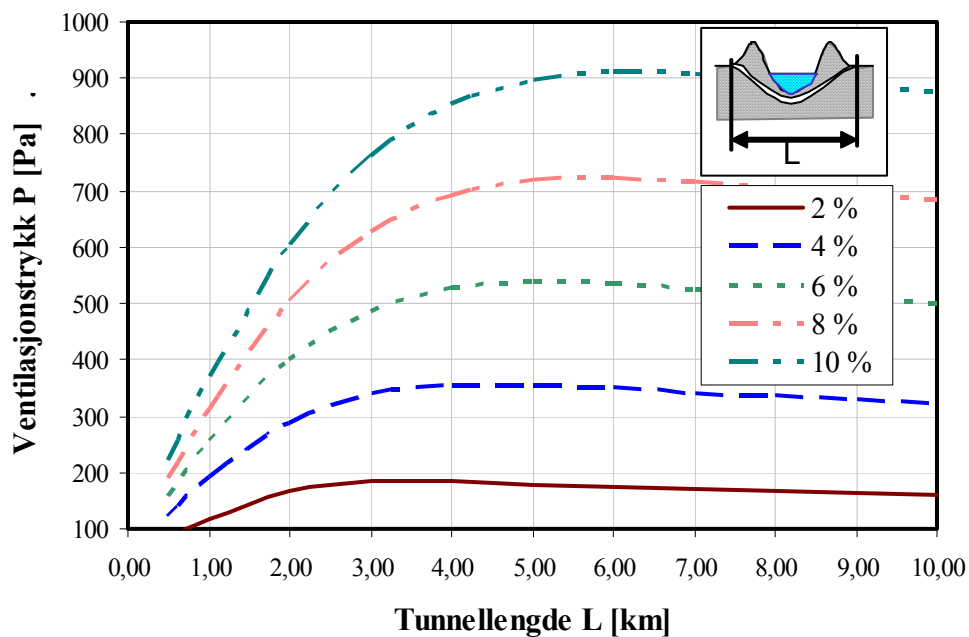
Figur D.26 Ventilasjonstrykk 50 MW brann, jevn stigning over halv lengde og  $\Delta p = 16$  Pa.

### Røykventilasjon, 100 MW brann, $\Delta P = 16$ Pa



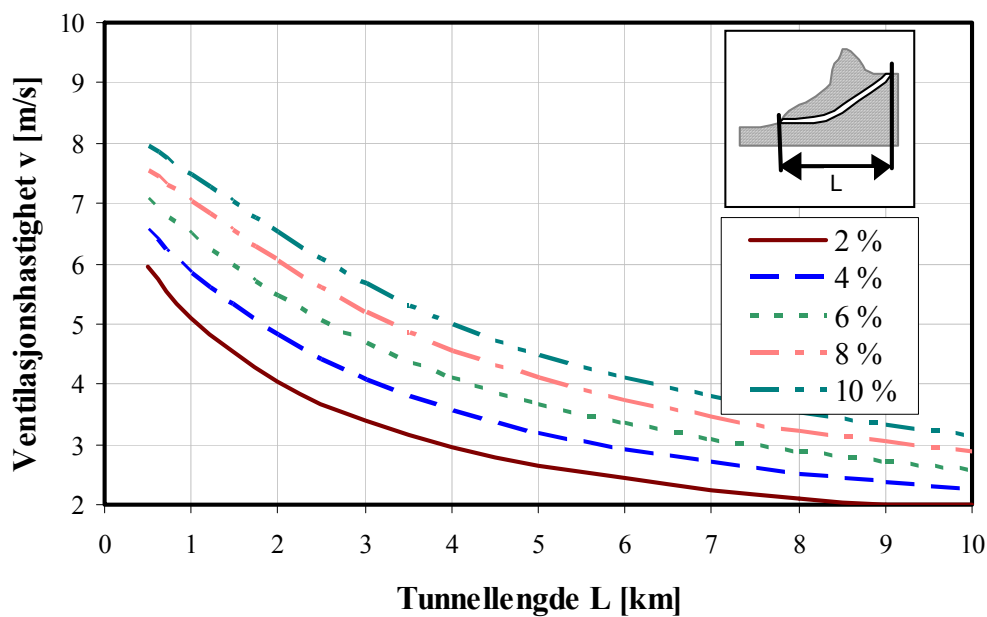
Figur D.27 Ventilasjonshastighet 100 MW brann, jevn stigning over halv lengde og  $\Delta p = 16$  Pa.

### Røykventilasjon, 100 MW brann, $\Delta P = 16$ Pa



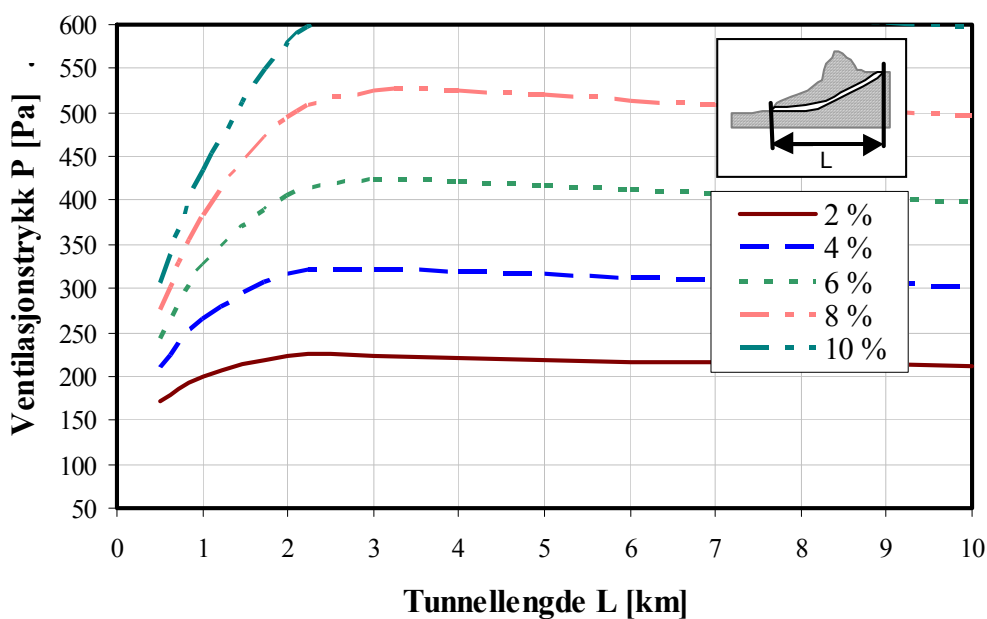
Figur D.28 Ventilasjonstrykk 100 MW brann, jevn stigning over halv lengde og  $\Delta p = 16$  Pa.

### Røykventilasjon, 50 MW brann, $\Delta P = 64$ Pa



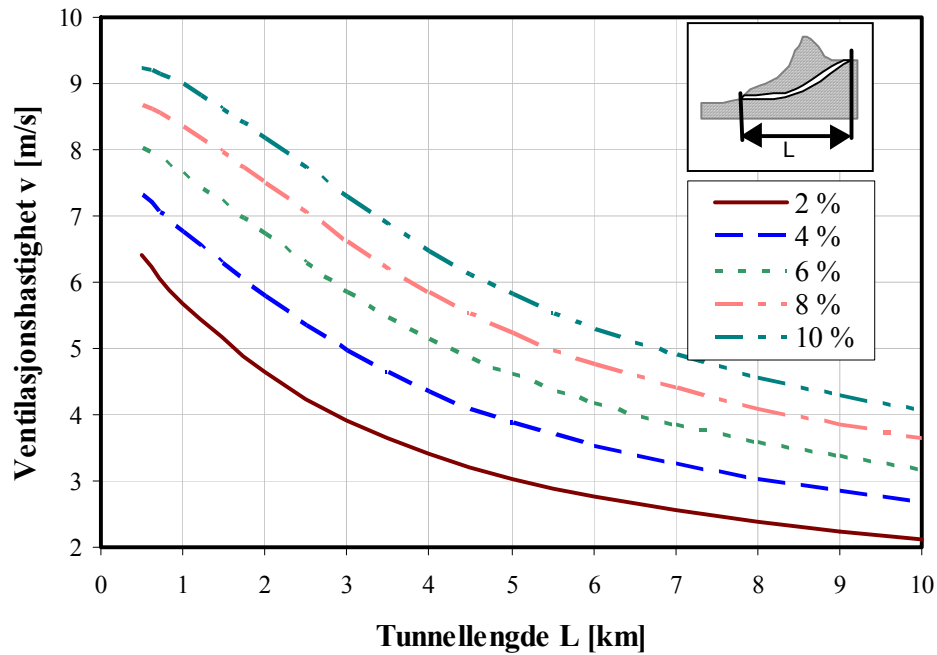
Figur D.29 Ventilasjonshastighet 50 MW brann, jevn stigning og  $\Delta p = 64$  Pa.

### Røykventilasjon 50 MW brann, $\Delta P = 64$ Pa



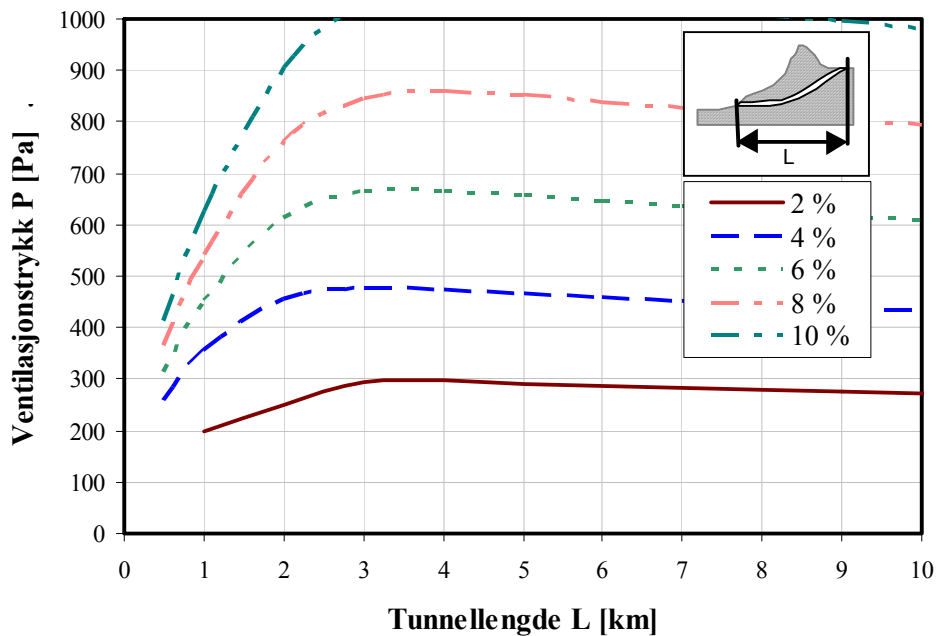
Figur D.30 Ventilasjonstrykk 50 MW brann, jevn stigning og  $\Delta p = 64$  Pa.

### Røykventilasjon, 100 MW brann, $\Delta P = 64$ Pa

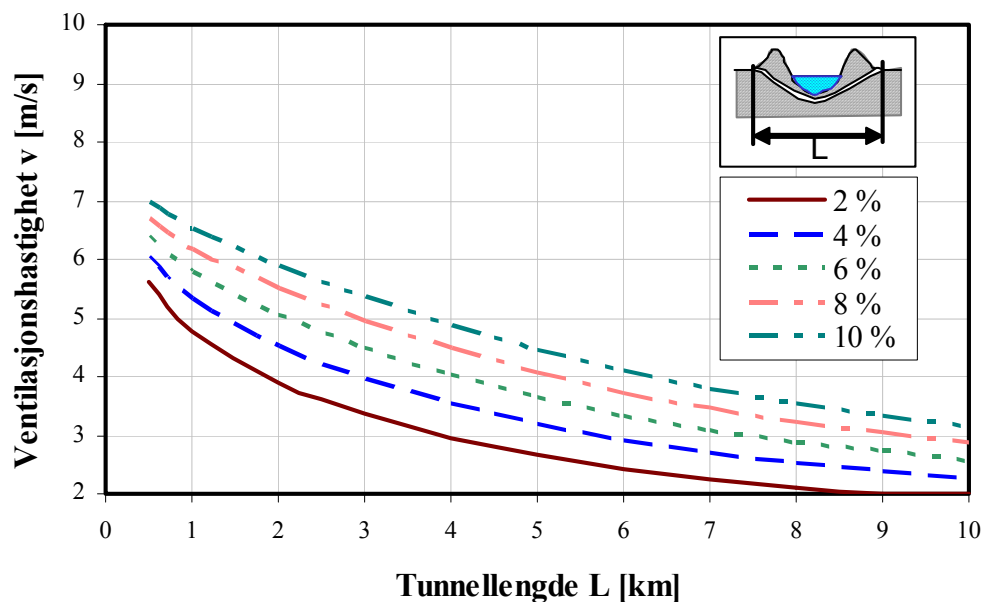
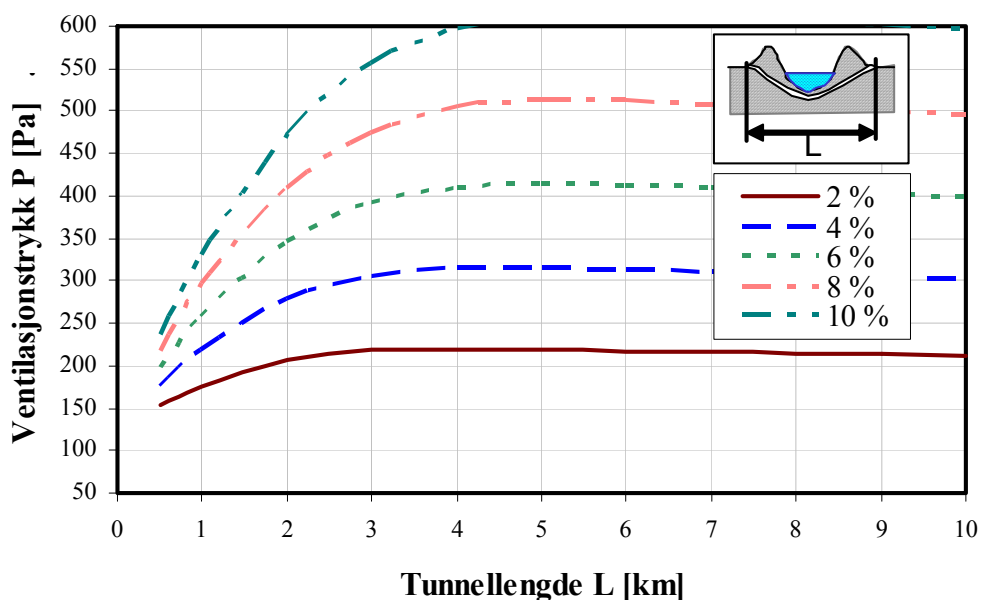


Figur D.31 Ventilasjons hastighet 100 MW brann, jevn stigning og  $\Delta p = 64$  Pa.

### Røykventilasjon, 100 MW brann, $\Delta P = 64$ Pa

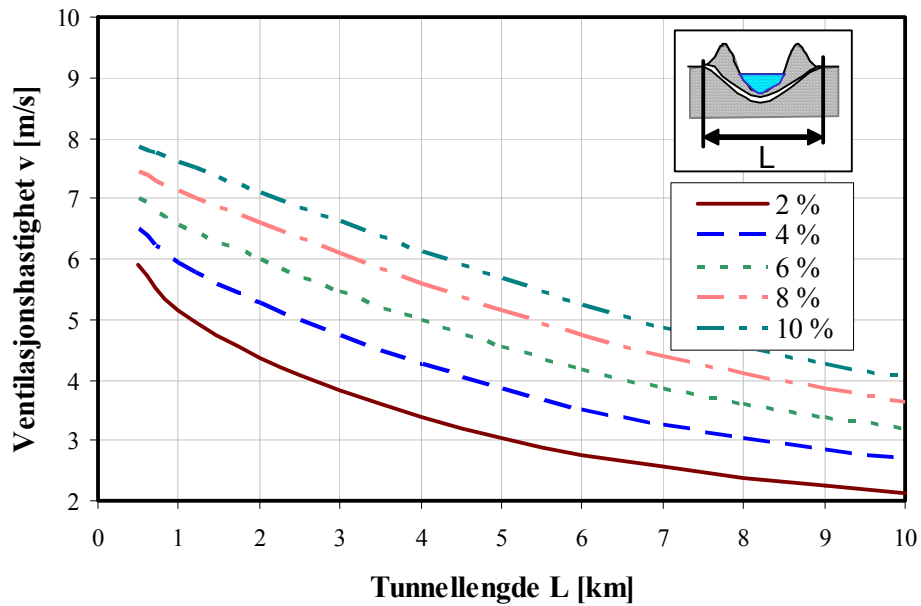


Figur D.32 Ventilasjons trykk 100 MW brann, jevn stigning og  $\Delta p = 64$  Pa.

**Røykventilasjon, 50 MW brann,  $\Delta P = 64$  Pa**Figur D.33 Ventilasjonshastighet 50 MW brann, jevn stigning over halv lengde og  $\Delta p = 16$  Pa.**Røykventilasjon, 50 MW brann,  $\Delta P = 64$  Pa**Figur D.34 Ventilasjonstrykk 50 MW brann, jevn stigning over halv lengde og  $\Delta p = 16$  Pa.

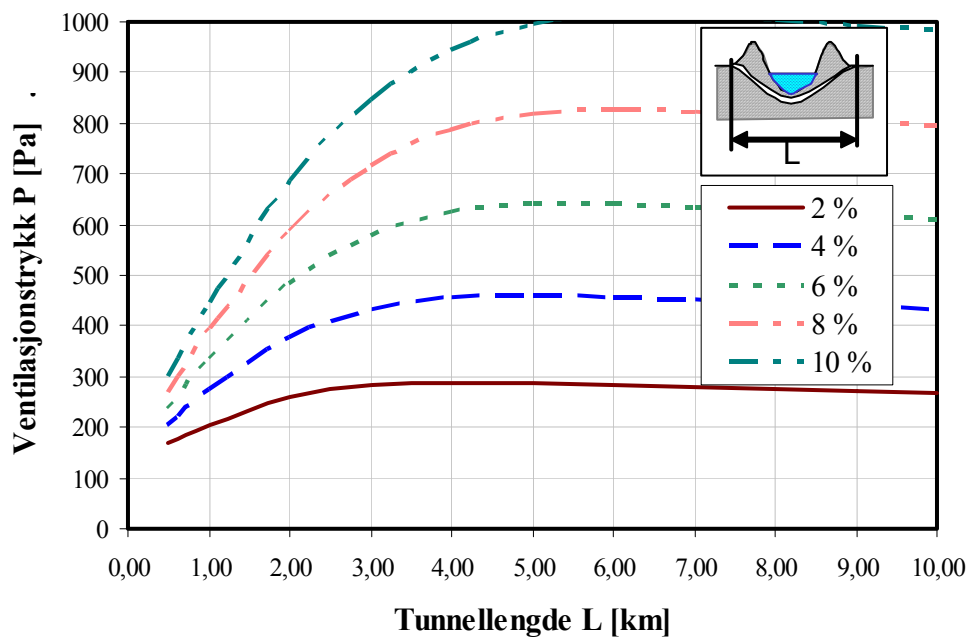


### Røykventilasjon, 100 MW brann, $\Delta P = 64$ Pa



Figur D.35 Ventilasjonshastighet 100 MW brann, jevn stigning over halv lengde og  $\Delta p = 16$  Pa.

### Røykventilasjon, 100 MW brann, $\Delta P = 64$ Pa



Figur D.36 Ventilasjonstrykk 100 MW brann, jevn stigning over halv lengde og  $\Delta p = 16$  Pa.

### Gyldighetsområde og begrensninger

Beregning av oppdriftstrykk i henhold til den utviklede beregningsmodellen forutsetter en viss helning for å gi et rimelig estimat. Det vil si at oppdriftstrykket må være vesentlig større enn lokal trykkoppbygging (10 - 20 Pa for en 5 MW brann i en tunnel). Trykkeffekter nær selve brannen er neglisjert, og oppdrift beregnes etter det såkalte skorsteinsprinsippet. For å bruke ligningene må høydeforskjellen i tunnelens lengderetning være mye større enn innvendig høyde. Man kan anta at lokal trykkoppbygging nær brannstedet ligger i størrelsesorden 10 - 20 Pa, og kommer i tillegg til oppdriften i tunnelens lengderetning. Hvis beregningen her gir lavere skyvtrykk enn 50 Pa, velges skyvtrykket lik 50 Pa eller 2 m/s som ventilasjonshastighet.

Der ventilasjonshastigheten ( $v$ ) bare er litt større enn oppdriftshastigheten, kan det oppstå sjiktning og todimensjonal strømming i tunnelen med en tunge av røyk som går mot ventilasjonsretningen. Dette kan løses ved å innføre en sikkerhetsfaktor,  $n_s$ , som brukes ved beregning av nødvendig skyvkraft for viftene i ligning 7.

### Dimensjonering av viftekapasitet

Forskjellige tunnelkonfigurasjoner vil gi forskjellige ventilasjonshastigheter ( $v$ ). Nødvendig ventilasjonshastighet vil øke med økende helning ( $I$ ), økende branneffekt ( $Q$ ), økende ekstern vind ( $u_\infty$ ), økende tverrsnittsareal ( $A$ ) og økende tunnellengde ( $L$ ).

Skyvkraften  $P_v$  beregnes i henhold til ligning 7, der sikkerhetsfaktor for beregningene,  $n_s$  anbefales satt lik 1,1.

### Ligning (7):

$$P_v = \frac{n_s}{n_v} \cdot \Delta p_s \cdot A \quad [\text{N}]$$

$P_v$	[N]	påtrykt kraft fra ventilasjon (dimensjonerende skyvkraft)
$\Delta p_s$	[Pa]	påtrykt drivtrykk fra ventilasjon når brannen er overvunnet med hastighet $u$ (etter at dynamiske krefter er overvunnet)
$n_s$	[-]	sikkerhetsfaktor for beregningene
$n_v$	[-]	virkningsgrad for vifter
$A$	[m <sup>2</sup> ]	tunnelens tverrsnittsareal

## E ÅRSMIDDELTEMPERATUR OG FROSTMENGDER

Vedlegg E gir årsmiddeltemperatur (°C) og frostmengder i timegrader (h°C) for alle landets kommuner og er hentet fra håndbok 018 Vegbygging. Kommunedatabellene er ordnet fylkesvis basert på offisiell nummerering (ajourført 1990).

- $t_m$  : Årsmiddeltemperatur
- $F_2$  : Frostmengden overskrides 1 gang i en 2-års periode
- $F_5$  : Frostmengden overskrides 1 gang i en 5-års periode
- $F_{10}$  : Frostmengden overskrides 1 gang i en 10-års periode
- $F_{100}$  : Frostmengden overskrides 1 gang i en 100-års periode

Det klimatiske grunnlaget for kommunetabellen er den statistiske undersøkelsen av dimensjonerende frostmengder ved 69 værstasjoner, og årsmiddeltemperatur og normal frostmengde ved 360 værstasjoner i perioden 1931-60.

Vanligvis er verdiene i tabellene knyttet til kommunesenteret. Innen de enkelte kommunene kan det være meget store lokale variasjoner i klima (kyst/innland, høyde over havet). Ved bruk av tabellen skal dette tas hensyn til.

Forholdsvis sikre verdier kan oppnås for dimensjonerende frostmengde ved å utføre målinger (det finnes enkle måleinstrument) over en måned eller lenger tid, og sammenligne målt frostmengde i samme periode med målte verdier fra den værstasjonen som er grunnlaget for kommunetabellen.





KOMMUNE	TEMP.	FROSTMENGDEN			
	t <sub>m</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>5</sub>	F <sub>10</sub>	F <sub>100</sub>
	°C	h°C			
1818 Herøy	5,5	2 000	4 000	7 000	11 000
1820 Alstahaug	5,5	1 000	4 000	7 000	13 000
1822 Leirfjord	5,0	3 000	6 000	9 000	15 000
1824 Vefsn	3,5	13 000	16 000	21 000	27 000
1825 Grane	2,5	18 000	23 000	28 000	32 000
1826 Hattfjelldal	1,5	26 000	32 000	37 000	42 000
1827 Dønna	5,5	2 000	4 000	7 000	11 000
1828 Nesna	5,5	2 000	4 000	7 000	11 000
1832 Hemnes	3,0	18 000	23 000	29 000	37 000
1833 Rana	3,0	16 000	18 000	25 000	35 000
1834 Lurøy	5,5	2 000	4 000	8 000	13 000
1835 Træna	6,0	0	1 000	2 000	6 000
1836 Røley	5,0	3 000	5 000	10 000	15 000
1837 Meløy	5,0	3 000	5 000	10 000	15 000
1838 Gildeskål	5,0	2 000	4 000	9 000	14 000
1839 Beiern	3,5	10 000	13 000	18 000	24 000
1840 Saltdal	2,0	18 000	22 000	28 000	37 000
1841 Fauske	3,5	14 000	17 000	22 000	28 000
1842 Skjerstad	4,0	10 000	13 000	18 000	24 000
1845 Sørfold	4,0	10 000	13 000	18 000	24 000
1848 Steigen	4,5	4 000	6 000	10 000	15 000
1849 Hamarøy	4,0	7 000	9 000	13 000	18 000
1850 Tysfjord	3,5	10 000	13 000	18 000	24 000
1851 Ledingen	4,0	7 000	10 000	13 000	18 000
1852 Tjeldsund	4,0	8 000	11 000	14 000	19 000
1853 Evenes	3,5	9 000	11 000	15 000	21 000
1854 Ballangen	3,5	10 000	13 000	17 000	24 000
1856 Røst	5,5	0	1 000	2 000	6 000
1857 Værøy	5,5	0	1 000	2 000	6 000
1859 Flakstad	5,0	1 000	3 000	5 000	12 000
1860 Vestvågå	5,0	3 000	5 000	8 000	14 000
1865 Vågan	5,0	3 000	5 000	8 000	14 000
1866 Hadsel	4,5	4 000	6 000	9 000	15 000
1867 Bø	4,5	3 000	4 000	7 000	14 000
1868 Øknes	4,5	3 000	4 000	7 000	15 000
1870 Sortland	4,5	4 000	6 000	9 000	16 000
1871 Andøy	4,0	4 000	5 000	8 000	16 000
1874 Moskenes	5,0	1 000	3 000	5 000	12 000
<b>19 TROMS</b>					
1901 Harstad	4,5	5 000	7 000	10 000	16 000
1902 Tromsø	3,5	10 000	13 000	16 000	21 000
1911 Kvæfjord	4,5	7 000	9 000	12 000	18 000
1913 Skånland	4,0	8 000	10 000	13 000	19 000
1915 Bjerke	4,5	6 000	8 000	10 000	16 000
1917 Ibestad	4,5	7 000	9 000	12 000	18 000
1919 Gratangen	3,5	11 000	14 000	18 000	25 000
1920 Lavangen	3,5	12 000	15 000	19 000	26 000
1922 Bardu	2,0	27 000	29 000	36 000	47 000
1923 Salangen	3,5	12 000	15 000	19 000	26 000
1924 Målselv	2,0	27 000	29 000	36 000	47 000
1925 Sørreisa	3,0	12 000	16 000	19 000	26 000
1926 Dyrøy	3,5	11 000	15 000	18 000	25 000
1927 Tranøy	3,5	10 000	14 000	17 000	24 000
1928 Torsken	3,5	8 000	11 000	14 000	20 000
1929 Berg	3,5	10 000	13 000	16 000	21 000
1931 Lenvik	3,5	11 000	15 000	18 000	25 000
1933 Balsfjord	3,0	15 000	18 000	22 000	29 000
1936 Karlsøy	4,0	8 000	11 000	15 000	19 000
1938 Lyngen	3,0	17 000	21 000	25 000	31 000
1939 Storfjord	2,0	23 000	26 000	30 000	42 000
1940 Råfjord	2,0	23 000	26 000	30 000	42 000
1941 Skjervøy	3,5	10 000	14 000	19 000	24 000
1942 Nordreisa	2,0	23 000	26 000	30 000	42 000
1943 Kvanangen	2,0	25 000	28 000	32 000	44 000
<b>20 FINNMARK</b>					
2001 Hammerfest	2,0	15 000	18 000	21 000	32 000
2002 Vardø	1,0	17 000	23 000	26 000	33 000
2003 Vadsø	1,0	18 000	25 000	29 000	37 000
2011 Kautokeino	-2,0	51 000	56 000	65 000	76 000
2012 Alta	1,5	25 000	28 000	32 000	44 000
2014 Loppa	2,5	10 000	13 000	16 000	27 000
2015 Hasvik	3,0	8 000	11 000	14 000	25 000
2016 Sørfjell	3,0	9 000	12 000	15 000	26 000
2017 Kvalsund	2,0	18 000	21 000	26 000	37 000
2018 Måsøy	2,0	13 000	16 000	20 000	30 000
2019 Nordkapp	2,5	12 000	15 000	19 000	29 000
2020 Porsanger	1,5	30 000	33 000	37 000	49 000
2021 Karasjok	-1,5	52 000	57 000	69 000	78 000
2022 Lebesby	1,5	25 000	28 000	33 000	44 000
2023 Gamvik	1,5	17 000	20 000	24 000	34 000
2024 Berlevåg	1,5	18 000	24 000	28 000	35 000
2025 Tana	0,5	30 000	33 000	38 000	49 000
2027 Nesseby	1,0	30 000	35 000	40 000	49 000
2028 Båtsfjord	1,0	18 000	25 000	28 000	36 000
2030 Sør-Varanger	0,5	31 000	35 000	43 000	50 000