



Vegtunneler

NORMAL

Håndbok N500



Håndbøker i Statens vegvesen

Dette er en håndbok i Statens vegvesens håndbokserie. Vegdirektoratet har ansvaret for utarbeidelse og ajourføring av håndbøkene.

Denne håndboka finnes kun digitalt (PDF) på Statens vegvesens nettsider, www.vegvesen.no.

Statens vegvesens håndbøker utgis på to nivåer:

Nivå 1: ● Oransje eller ● grønn

fargekode på omslaget – omfatter *normal* (oransje farge) og *retningslinje* (grønn farge) godkjent av overordnet myndighet eller av Vegdirektoratet etter fullmakt.

Nivå 2: ● Blå fargekode på omslaget – omfatter *veiledning* godkjent av den avdeling som har fått fullmakt til dette Vegdirektoratet.

Vegtunneler

Nr. N500 i Statens vegvesens håndbokserie

Forsidefoto: Dag Vidar Torget

ISBN: 978-82-7207-756-2

Forord

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

Håndbok N500 Vegtunneler gjelder alle typer vegtunneler på offentlig veg. Normalen gjelder for nye tunneler. I eksisterende tunneler skal håndbok N500 følges ved oppgradering av bergsikring, drenering, vann- og frostsikring, automasjon, sikkerhetsinstallasjoner og overvannshåndtering.

Det er gjennomført en oppdatering av håndbok N500 Vegtunneler. Håndboka gjelder fra januar 2020, og den erstatter foregående utgave fra 2016.

Deler av normalteksten fra tidligere utgave, som gjelder sikt, tunnelprofiler og gang-/sykkeltrafikk i tunnel er flyttet til håndbok N100 Veg- og gateutforming. Krav til utførelse og dokumentasjon av elektrotekniske anlegg som tilhører tunnel er flyttet til håndbok N601 Elektriske anlegg.

Vedlegg 2 fra 2016-utgaven er flyttet til kapittel 2; geologiske undersøkelser i tidlig planfase, i kommunedelplan og i reguleringsplan. Vedlegg 3 fra 2016-utgaven er flyttet til kapittel 8 (håndtering av vann) og til et nytt kapittel 10 Ytre miljø (delkapitlene om støv og støy). Delkapittel om vibrasjoner er tatt ut, teksten finnes i håndbok N200. Dokumentasjon er nå kapittel 11.

Andre endringer:

- Mindre justeringer i kap. 2: eksempler og formuleringer som beskriver håndtering av potensielt forurensende bergmasse og avrenning.
- Justeringer i tekst mht. nyere utgave av standarder, bl.a.: Eurokode 0 og Eurokode 7, og NS-EN 13491 Geosyntetiske membraner.
- Sikkerhetsutstyr: Rømningslys med 'håndlist' er endret til sammenhengende rømningslys. Presisering i tekst: ITV med AID og tunnelklasse B.

Veiledningstekst til N500 er gitt i håndbok V520 Tunnelveiledning.

Som grunnlag for senere revisjon, er det ønskelig at erfaringer og opplysninger av betydning sendes Vegdirektoratet, e-post: N500@vegvesen.no

Statens vegvesen Vegdirektoratet, januar 2020.

Innhold

Forord	3
1 Innledning	7
1.1 Generelt	7
1.2 Avgrensning mot øvrige normaler	7
1.3 Gyldighet/fravik	8
2 Geologiske forundersøkelser	9
2.1 Generelt	9
2.2 Kartgrunnlag for geologisk feltkartlegging og presentasjon av geologiske data	9
2.3 Kontroll og kvalitetssikring etter Eurokode 7	10
2.4 Geologiske forundersøkelser i tidlig planfase	11
2.5 Geologiske forundersøkelser i kommunedelplan12	
2.6 Geologiske forundersøkelser i reguleringsplan	13
2.7 Geologisk rapport for konkurransegrunnlag	14
3 Geometrisk utforming	16
3.1 Generelt	16
3.2 Linjeføring	16
3.2.1 Kjørefelt	16
3.2.2 Horisontalkurvatur	16
3.2.3 Vertikalkurvatur	16
3.2.4 Sikt	16
3.3 Portaler	17
3.4 Tunnelprofiler	17
3.4.1 Generelle krav til tunnelprofiler	17
3.4.2 Geometriske mål	18
3.4.3 Senterlinje	20
3.4.4 Tilpasninger av geometriske mål	20
3.4.5 Skulder	20
3.4.6 Veggelementer og føringskant av betong	20
3.4.7 Tunnelprofil for betongtunneler	20
3.5 Utvidelse for nisjer	21
3.5.1 Havarinisjer, snunisjer og møteplasser	21
3.5.2 Nisje for teknisk bygg	22
3.5.3 Nisje for nødstasjon	22
3.5.4 Pumpestasjon	22
3.6 Nødutganger	22
3.7 Kryss i forbindelse med tunnel	23
4 Sikkerhetstiltak	24
4.1 Generelt	24
4.1.1 Forskrifter om minimum sikkerhet i vegtunneler	24
4.1.2 Risikoanalyser for vegtunneler	24
4.1.3 Prinsipper	24

4.1.4	Beredskapsanalyser for vegtunneler	25
4.1.5	Beredskapsplan	25
4.2	Tunnelklasser	25
4.3	Sikkerhetstiltak og sikkerhetsutrustning	26
4.3.1	Generelt	26
4.3.2	Krav til utstyr som inngår i sikkerhetsutrustningen	29
4.3.3	Nødkommunikasjon, kringkasting og mobiltelefoni	31
4.3.4	Sikkerhetsmessig oppgradering av eksisterende tunneler	32
4.4	Brannsikring	32
4.4.1	Krav til brannmotstand for konstruksjoner	32
4.4.2	Brannteknisk dokumentasjon og prosedyre for testing	33
4.4.3	Sikring av brennbare materialer	35
5	Skilt og signaler	36
5.1	Generelt	36
5.2	Trafikkskilt for tunneler	36
5.2.1	Trafikkskilt utenfor tunnel	36
5.2.2	Trafikkskilt i tunnel	36
5.3	Trafikksignalanlegg for tunneler	36
6	Arbeider foran stuff og stabilitetssikring	37
6.1	Etablering av forskjæring og påhugg	37
6.2	Arbeider foran stuff	37
6.2.1	Sonderboring	37
6.2.2	Forinjeksjon	37
6.3	Stabilitetssikring	37
6.3.1	Generelt	37
6.3.2	Grunnlag for bestemmelse av permanent sikring – fastsettelse av sikringsklasse	38
6.4	Krav til utstyr og beredskap ved driving av undersjøiske tunneler	39
7	Vann- og frostsikring i tunnel	40
7.1	Generelt	40
7.2	Frostmengde og frostinntrengning	40
7.3	Konstruksjonstyper	41
7.4	Konstruksjonsdetaljer	41
7.4.1	Frostisolasjon	41
7.4.2	Membraner	42
7.4.3	Forankringsbolter og festedetaljer for vann- og frostsikring	43
7.4.4	Hvelv av betongelementer	44
7.4.5	Kontaktstøpt vann- og frostsikringshvelv med membran	45
7.4.6	Hvelv av sprøytebetong	45
7.4.7	Føringskant av betong	45
7.5	Dokumentasjon av nye konstruksjoner	46
7.6	Laster og dimensjonering	46
7.6.1	Generelt	46
7.6.2	Dimensjonerende lastvirkninger	47
7.6.3	Variable laster	48
7.6.4	Ulykkeslast	49

8	Drenering, vegfundament og vegdekke	51
8.1.	Drenssystem	51
8.1.1	Generelt	51
8.1.2	Vannmengder, ledningsdimensjoner og kummer	51
8.2	Grøfter	52
8.2.1	Utforming og plassering	52
8.2.2	Fundament, omfylling og frostsikring for ledninger	52
8.2.3	Utforming av frostsikring	53
8.3	System for oppsamling av overvann, brannfarlige og giftige væsker samt vaskevann	53
8.3.1	Ledninger og sandfang	53
8.3.2	Sluk	53
8.3.3	Håndtering av tunnelvaskevann og slam	53
8.3.4	Håndtering av vann og slam under anleggsfasen	54
8.4	Slokkevann	54
8.5	Pumpestasjoner og pumpeledninger	54
8.6	Vegfundament og vegdekke	55
8.6.1	Generelt	55
8.6.2	Planum	55
9	Tekniske anlegg	56
9.1	Generelt	56
9.1.1	Generelle elektrotekniske krav	56
9.1.2	Korrosjonsbeskyttelse av teknisk utrustning	56
9.1.3	Tekniske bygg	56
9.2	Strømforsyning	57
9.3	Belysning	57
9.3.1	Generelt	57
9.3.2	Belysningens kvalitet	57
9.3.3	Belysning av tunnelveggene	58
9.3.5	Sikkerhetsbelysning	58
9.4	Ventilasjon	59
9.4.1	Generelt	59
9.4.2	Krav til luftkvalitet i tunneler	59
9.4.3	Mekanisk ventilasjon	60
9.4.4	Brannventilasjon	60
10	Ytre miljø	62
10.1	Generelt	62
10.2	Støy ved tunnelåpninger	62
10.3	Utslipp av gasser og partikler	62
11	Dokumentasjon	64
11.1	Generelt	64
11.2	Ingeniørgeologisk sluttrapportering	64
11.3	Tekniske anlegg	64
	Referanser	65

1 Innledning

1.1 Generelt

Tunnel (veg tunnel) er definert som: Byggverk som fører vegen i en underjordisk eller undersjøisk passasje.

Håndbok N500 Vegtunneler omfatter forhold knyttet til planlegging og prosjektering.

Krav i håndboka gjelder både bergtunneler og andre bærende konstruksjoner med funksjon som tunnel.

Forundersøkelsene for tunnelprosjekter skal avklare alternativer og total kostnader, samt sikkerhetsmessige, samfunnsmessige og miljømessige forhold knyttet til prosjektene iht. håndbok V710 Oversiktsplanlegging [1], håndbok V712 Konsekvensanalyser [2] og håndbok R760 Styring av vegprosjekter [3].

Planlegging og prosjektering skal gjøres på bakgrunn av dimensjonerende brukstid, oppetidsberegninger, sårbarhets- og sikkerhetsvurderinger, samt forhold knyttet til drift og vedlikehold.

Dimensjonerende brukstid skal være:

- 100 år for tunnelkonstruksjonen, inklusive drens- og overvannssystem, og føringsveier for kabler i grunnen.
- 50 år for vann- og frostsikringskonstruksjon, teknisk infrastruktur som kabler inklusive føringsveier i tunnelrommet.
- 25 år for tekniske installasjoner.

Håndbok N500 Vegtunneler ivaretar minimum sikkerhetskrav i Tunnelsikkerhetsforskriftene for henholdsvis riksveg og for fylkesveger og kommunale veger i Oslo. På noen områder stilles det høyere krav til sikkerhet i håndbok N500 enn i Tunnelsikkerhetsforskriftene.

Veiledningstekst til håndbok N500 er gitt i håndbok V520 Tunnelveiledning [4].

1.2 Avgrensning mot øvrige normaler

N100 Veg- og gateutforming [5] beskriver krav til linjeføring, sikt og tunnelprofiler for de ulike tunnelklasser/dimensjoneringsklasser.

N101 Rekkverk og vegens sideområder [6] beskriver krav til rekkverk.

N200 Vegbygging [7] beskriver krav til dimensjonering av overbygning i tunnel.

N300 Trafikkskilt [8], N302 Vegoppmerking [9] og N303 Trafikksignalanlegg [10] beskriver krav som gjelder hele vegnettet, inklusive vegtunneler.

N400 Bruprosjektering [11] gjelder for tunnelkonstruksjoner som prosjekteres, bygges og forvaltes som bru (løsmassetunneler, tunnelportaler osv.).

N601 Elektriske anlegg [12] beskriver utførelse for anlegg tilhørende tunnel.

1.3 Gyldighet/fravik

Samlebegrepet «vegnormaler» innbefatter både normaler hjemlet i vegloven og normaler hjemlet i vegtrafikkloven/skiltforskriften. Denne håndboka er en vegnormal hjemlet i forskrift til veglovens § 13. Vegnormalene skal i henhold til forskriften etter veglovens § 13 gjelde for all planlegging og bygging av veger og gater på det offentlige vegnettet. Statens vegvesen kan fravike vegnormalene for riksveger. For fylkesveger og kommunale veger er denne myndighet tillagt henholdsvis fylkeskommunen og kommunen.

Vegnormalene har to nivå av krav – skal og bør, – der skal-krav er de viktigste. Betydningen av verbene skal, bør og kan, og hvem som har myndighet til å fravike de tekniske kravene for riksveger framgår av tabell 1.1. Søknad om fravik gjøres på eget skjema. Skjema og saksbehandlings-/prosesskrav finnes i Statens vegvesens kvalitetssystem. Før rette myndighet kan behandle fravikssøknaden, skal konsekvensene vurderes.

Tabell 1.1: Bruk av skal, bør og kan. Myndighet til å fravike krav for riksveger gitt i denne vegnormalen

Verb	Betydning	Myndighet til å fravike krav
Skal	Krav	Kravene fravikes av Vegdirektoratet. Søknad om fravik skal begrunnes
Bør	Krav	Kravene fravikes av Statens vegvesen. Søknad om fravik skal begrunnes, og Vegdirektoratet skal ha melding med mulighet for å endre fraviksvedtaket innen 3 uker (6 uker i perioden 1. juni til 31. august)
Kan	Anbefaling	Fravikes etter faglig vurdering uten krav til godkjenning

Det kan ikke gis fravik fra håndbok N500 Vegtunneler som er i strid med bestemmelser i Tunnelsikkerhetsforskriftene for hhv. riksveg og for fylkesveger og kommunale veger i Oslo.

2 Geologiske forundersøkelser

2.1 Generelt

Geologiske undersøkelser for tunnel skal omfatte geologisk og ingeniørgeologisk kartlegging. Det stilles spesielle krav til de geologiske undersøkelsene for tunnel, forskjæringer og påhuggsområder.

For ytre miljø i planfasen se kapittel 10.

For detaljering av innhold i feltundersøkelser og rapportering i de ulike fasene henvises til håndbok V520 Tunnelveiledning [4], håndbok R211 Feltundersøkelser [13] og håndbok R210 Laboratorieundersøkelser [14].

Den ingeniørgeologiske kartleggingen og rapporteringen skal i alle planfaser belyse de ingeniørgeologiske forholdene i tunnelnivå, inklusive eventuelle bergrom.

Kartleggingen suppleres som regel av geotekniske, hydrogeologiske, og geofysiske undersøkelser. For geotekniske undersøkelser vises det til håndbok N200 Vegbygging [7] og V220 Geoteknikk i vegbygging [15].

For kartgrunnlag for geologisk kartlegging i felt og presentasjon av geologiske data, se kap. 2.2.

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. Rapportene er selvstendige dokumenter og skal inneholde informasjon fra alle undersøkelsene som er utført. Det skal utføres bergmasseklassifisering med bruk av Q-metoden.

Det skal skilles mellom måleresultater, faktiske observasjoner og tolkninger.

Geologiske rapporter i de ulike planfasene skal gi en oversikt over antatt sikringsmengde og aktuelle sikringsmetoder (i henhold til tabell 6.1), basert på de geologiske forholdene som kan forventes.

Forundersøkelser skal omfatte vurdering av områder som er spesielt utsatt for påvirkning fra tunnelen. Dette gjelder forhold som fare for skadelig grunnvannssenkning, setninger og vibrasjoner, og miljøskadelig avrenning fra tunnel eller tunnelmasse.

For undersjøiske tunneler skal resultater fra akustikk og refraksjonsseismiske undersøkelser presenteres for hele den undersjøiske delen av traseen og overgangssonene mellom land og sjø.

Undersjøiske tunnelprosjekter skal planlegges ut fra et krav til minste bergoverdekning på 50 m.

2.2 Kartgrunnlag for geologisk feltkartlegging og presentasjon av geologiske data

Kartgrunnlaget skal brukes til registrering i forbindelse med geologiske forundersøkelser i felt, samt til digitalisering av registreringene. Kartets innhold og opptegning skal være egnet som grunnlag for å tegne inn geologiske registreringer for hånd.

Kart-data (FKB; Felles kartdatabase) skal ha nøyaktighet minimum: +/- 0,2 m til 2 m. Der det finnes terrenngmodeller med bedre nøyaktighet i vegprosjektet (for eksempel etter flybåren skanning) skal disse brukes som grunnlag for høydekotene i kartet.

Innhold i kartgrunnlaget:

- Objekter i kartgrunnlaget skal tegnes med omriss i svart-hvitt. Kartet skal ikke ha fargelagte/ skraverete flater.
- Planlagt veg og tunnel, inklusive påhugg, skal vises på kartet. For veg og tunnel skal hele tverrsnittet vises, ikke bare senterlinjen(e).
- Høydekoter med 1 m ekvidistanse og tellekoter pr. 5 m, inklusive høydepåskrift på 5 m kotene.
- Elver, bekker og vann skal vises på kartet.
- I områder som grenser mot vann/sjø/elv osv. skal koter under vannflaten også tas med.
- Der det finnes grunnboringer skal borepunkt inngå i kartet.
- For FKB-tema som kan inngå i kartet, se håndbok V520 [4].

Digitalt kart skal leveres som vektor-kart på SOSI-format.

Kartet skal foreligge i vegprosjektets vedtatte koordinatreferansesystem og sone.

For 3D-prosjektering beskriver håndbok V770 Modellgrunnlag [16] hvordan grunnlagsdata og modeller bestilles, utarbeides og leveres i vegprosjekter.

2.3 Kontroll og kvalitetssikring etter Eurokode 7

Med utgangspunkt i Eurokode 7, NS-EN 1997 Geoteknisk prosjektering [17], sammen med registrert bergkvalitet fra geologiske undersøkelser, skal det som en del av kvalitetsplanen utarbeides et kontrollomfang for tunnelprosjekter i alle faser.

Kontroll etter Eurokode 7 deles inn i tre geotekniske kategorier med tilhørende kontrollnivå. Alle veg-tunnelprosjekter skal i utgangspunktet ligge i geoteknisk kategori 3.

I klassifiseringen ligger det muligheter til å variere geoteknisk kategori innenfor forskjellige deler av prosjektet og i ulike faser av prosjektet (se også tabell 2.1). For tunneler der forundersøkelsene viser godt og forutsigbart berg kan det være aktuelt å benytte geoteknisk kategori 2. Ingen deler av tunnelprosjekter skal ligge i geoteknisk kategori 1.

Tabell 2.1 gir en oversikt over tunneler og tunnelstrekninger som skal klassifiseres som geoteknisk kategori 3.

Kontrollform og kontrollklasser ved prosjektering og ved utførelse er gitt i håndbok N200 Vegbygging [7] og Eurokode 0, NS-EN 1990 Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner [18]. Kontrollklasser som gjelder for vegtunneler:

- Geoteknisk kategori 3 gir pålitelighetsklasse RC3, prosjekteringskontrollklasse PKK3 og utførelseskontrollklasse UKK 3.
- Geoteknisk kategori 2 gir pålitelighetsklasse RC2, prosjekteringskontrollklasse PKK2 og utførelseskontrollklasse UKK2.

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

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

Tabell 2.1 Tunnelstrekninger der geoteknisk kategori 3 beholdes gjennom prosjektering og bygging:

Geoteknisk kategori 3	Merknad
Undersjøiske tunneler	
Tunnelpåhugg	
Tunneler/tunnelstrekninger i tettbygd strøk/byområder	Tunneltraseen ligger ikke nødvendigvis i de optimale grunnforholdene
Liten bergoverdekning, dvs. strekninger der bergoverdekning \leq tunnelvernsnittet (teoretisk sprengningsprofil)	
Tunnel/tunnelstrekninger der det forventes ugunstige grunn- og stabilitetsforhold, eller en kombinasjon av flere uheldige forhold	Eksempler: Nærhet til andre bygg, konstruksjoner og tunnelrom, strenge tetthetskrav, bergspenninger, etc. Også kombinasjoner som spesielle bergarter og/eller sprekemønstre og stor spennvidde

2.4 Geologiske forundersøkelser i tidlig planfase

De geologiske forundersøkelsene skal gi grunnlag for å vurdere gjennomførbarheten av tunnelprosjektet. Det er viktig å oppnå en forståelse av de regionalgeologiske forhold for å tolke forløp av bergarter og strukturer langs traseene.

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.

Det skal legges spesiell vekt på plassering og utforming av påhugg og innkjøringssoner i forhold til skredfare og oversvømmelser.

Forundersøkelsene skal som et minimum omfatte:

- Innsamling og vurdering av eksisterende informasjon. Geologiske og topografiske kart, publikasjoner (NGU osv.) og rapporter fra tidligere utførte undersøkelser.
- Geologisk informasjon fra eventuelle nærliggende anlegg og eksisterende tunneler.
- Lineamentsanalyse på bakgrunn av kart og/eller flyfoto.
- Geologisk kartlegging (se håndbok R211 Feltundersøkelser [13]) ved bruk av beste tilgjengelige kartgrunnlag. Målestokk fortrinnsvis 1:1000. For områder der informasjon er begrenset (for eksempel høye fjellpartier og stor bergoverdekning) kan målestokken være mindre (1:2000–1:5000).
- Vurdering av områder som kan være spesielt utsatt for påvirkning fra tunnelen. Dette gjelder forhold som fare for skadelig grunnvannssenkning, setninger, vibrasjoner, utslipp til miljø mv.
- Vurdering av usikkerhet vedrørende bergoverdekning.

Forundersøkelsene skal sammenstilles i en rapport som skal inneholde:

- Oversiktskart med tunneltrasé(er), profilnummer for hvert tunneløp.
- Geologiske kart i målestokk fra 1:1000 til 1:5000 i A3, avhengig av prosjektets omfang. Kartet skal vise data fra feltkartlegging med geologiske observasjoner, presentert med sprekemålinger langs trasé, bergmasseklassifisering med sikringsestimat langs trasé, utførte grunnboringer, eventuelt utførte seismiske undersøkelser, kjerneboringer, øvrige undersøkelser.
- Geologiske profiler for alternativene presentert med høyde/lengde 1:1. Profiler skal inkludere utførte grunnboringer.
- 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, herunder eventuell forekomst av dypforvitring, potensielt forurensende bergmasse, m.m.

- Beskrivelse av geologiske forhold og vurdering av gjennomførbarhet for hvert tunnelalternativ
- Forslag til plan for videre forundersøkelser med foreløpig overslag over behov for boringer, geofysiske undersøkelser, prøvetaking, laboratorieanalyser m.m.
- Referanser.

2.5 Geologiske forundersøkelser i kommunedelplan

Forundersøkelsene skal danne det geologiske grunnlaget for valg av veglinjealternativ.

Forundersøkelsene skal baseres på utførte forundersøkelser i tidlig planfase, og skal som et minimum omfatte:

- Kartlegging i målestokk 1:1000, av løsmasser og berg i dagen, svakhetssoner og strukturretninger i berget.
- Felt- og grunnundersøkelser.

Felt- og grunnundersøkelsene og vurderingene skal omfatte følgende:

- Bergmassen
 - Bergarter og bergartsgrenser. For undersjøiske tunneler angis også bergarter på landsidene, med påhuggsområdene
 - Lagdeling og foliasjon
 - Sprekkemønster og sprekketetthet
 - Svakhetssoner
 - Lineamentsstudier fra kart og oversiktsfoto fra fly eller andre digitale karttjenester
 - Omfang av dypforvitring
 - Behov for detaljerte undersøkelser av miljøfarlig bergmasse, for avklaring om det kreves videre håndtering
- Løsmasser, typer og mektighet. For undersjøiske tunneler angis også vanndybder/ sjøbunns-topografi.
- Bergoverdekning.
- Hydrologiske og hydrogeologiske registreringer:
 - Måleprogram for grunnvannsnivå og poretrykk der dette er nødvendig, inkludert registrering av vannreservoarer og myrområder samt årstidsvariasjoner for disse
 - Sårbarhet i forhold til flora og fauna
 - Kartlegging av setningsømfintlige områder
 - Krav til begrensning av innlekkasje i de ulike deler av tunnelen, basert på poretrykksmålinger og tolkning av skadepotensiale
 - Fastsettelse av influensområde
- Kvalitet på steinmaterialer med tanke på f.eks. bruk i vegbyggingen, behov for spesialdeponi.
- Identifisere bergarter som kan føre til sur/giftig avrenning (høyt kisinnhold, alunskifer, annet).
- 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, for eksempel med månedlige intervaller.

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

Etter at undersøkelsene er utført skal det utarbeides en geologisk rapport basert på både tidligere undersøkelser og grunnundersøkelser/feltarbeid i forbindelse med dette plannivået.

Forundersøkelsene skal sammenstilles i en rapport som skal inneholde:

- Oversiktskart med tunneltrasé(er), profilnummer for hvert tunnellopp.
- Geologiske kart i målestokk 1:1000 i A3. Kartet skal vise data fra feltkartlegging med geologiske observasjoner, presentert med sprekkemålinger langs trasé, bergmasseklassifisering med sikringsestimat langs trasé, utførte grunnboringer, eventuelt utførte seismiske undersøkelser, kjerneboringer, øvrige undersøkelser.
- Geologiske profiler for alternativene presentert med høyde/lengde 1:1.
- En oversikt over områdets geologi, og en beskrivelse av strukturgeologiske, hydrogeologiske og miljøgeologiske forhold som kan være av betydning for valg av alternativ.
- Oversikt over områder som krever spesielle tiltak, for eksempel svakhetssoner, høye bergspenninger, berg som kan representere en miljøfare m.m.
- Oppdatert forslag til plan for videre forundersøkelser, med overslag over behov for boringer, geofysiske undersøkelser, prøvetaking, laboratorieanalyse m.m.
- Referanser.

2.6 Geologiske forundersøkelser i reguleringsplan

Sammen med undersøkelsene fra tidligere planfaser, danner forundersøkelsene i reguleringsplanen grunnlaget for prosjektering og utarbeidelse av konkurransegrunnlaget.

Alle undersøkelser skal være utført i løpet av dette planstadiet.

Følgende skal utføres:

- Gjennomgang av resultatene fra tidligere undersøkelser.
- Gjennomføring av resterende grunnundersøkelser.
- Vurdering av grunnvann, poretrykk, setninger og forurensning.
Med utgangspunkt i undersøkelser utført i forbindelse med tidligere planfaser 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 tillatelse for regulering av vann, utdrenering mv.

Følgende forhold skal blant annet utredes:

- Influensområder.
- Kartlegging av løsmasser: tykkelse og setningsømfintlighet.
- Registrering av fundamenteringsforhold for byggverk.
- Fastlegging av tillatte innlekkasjer langs tunneltraseen.
- Vurdering av aktuelle tiltak for å oppfylle fastsatte lekkasjekrav.
- Vurdering av miljømessige konsekvenser ved avrenning fra tunnel.

For undersjøiske tunneler gjelder spesielt: Bergoverdekning mindre enn 50 m skal godkjennes av Vegdirektoratet, basert på dokumentasjon som viser at dette er forsvarlig.

Det skal utarbeides egen geologisk rapport for reguleringsplanen, basert på både tidligere undersøkelser og grunnundersøkelser/feltarbeid i forbindelse med dette plannivået.

Geologisk rapport til reguleringsplan skal inndeles i en faktadel og en tolkningsdel:

Del 1: Faktadelen i rapport for reguleringsplan skal inneholde:

- Oversiktskart med tunneltrasé(er), profilnummer.
- Geologisk kart og profil av traseen (målestokk 1:1000 i A3). Alle registreringer skal presenteres på kart og profil sammen med tunneltraseen. Kart skal vise geologiske observasjoner: bart berg/løsmasser, bergarter/bergartsgrenser, svakhetssoner, sprekker/ foliasjon, alle typer boringer, ev. seismiske undersøkelser og ev. øvrige undersøkelser.
- Geologisk kart, lengde- og tverrprofiler av forskjæring og påhuggsområdene og andre kritiske områder (målestokk 1:500 - 1:1000 i A3).

- Geologiske profiler skal presenteres med høyde/lengde 1:1.
- Beskrivelse av bergarter, foliasjon, strukturer og andre geologiske observasjoner.
- Analyse av sprekketetthet og sprekkorientering. Sprekkerose og stereoplott.
- Resultater fra utførte undersøkelser:
 - Grunnboringer (bergkontroll, totalsondering, annen sondering).
 - Kjerneboringer.
 - Geofysiske undersøkelser.
 - Kvalitetsanalyser av steinmaterialer.
 - Miljøgeologiske undersøkelser.
- Spesielle lokale hensyn.
- Oppsummering/ konklusjon.
- Referanseliste over alle rapporter og annet som rapporten bygger på.

Del 2: Tolkingsdelen i rapport til reguleringsplan bør inneholde:

- Tolkninger av de geologiske forholdene langs tunneltraseen: bergartsgrenser, bruddstrukturer og svakhetssoner og mulig lokalisering i tunnelnivå.
- Usikkerhet mht. bergoverdekning og påhugg.
- Bergmasseklassifisering (Q-verdier) fra feltkartlegging og estimert i tunnelnivå presentert langs trasé, med sikringsestimat iht. tabell 6.1.
- Løsmasser og geotekniske forhold. Konsekvenser for skredfare, setninger og miljø.
- Hydrogeologiske forhold, eventuelle brønner og vannmagasiner.
- Sannsynligheten for å påtreffe vann som kan skape driveproblemer.
- Anbefalt maksimal innlekkasje for å unngå skadelig poretrykkssenkning.
- Antatt omfang av injeksjonsarbeider.
- Påpekning av eventuelle forhold som kan ha betydning for boring og sprengning (boreavvik, ladevansker o.a.).
- Sannsynlighet for å påtreffe høye/lave bergspenninger.
- Påpekning av usikkerheter eller spesielle risikoer.

Spesielle/lokale forhold kan medføre at tolkningsdelen utvides med flere punkt.

Geologisk rapport for reguleringsplan skal også foreslå bemanning i byggefase, ut fra forventede geologiske utfordringer.

2.7 Geologisk rapport for konkurransegrunnlag

I prosjekteringsfasen skal prosjektet bearbeides frem til ferdige konkurransegrunnlag.

Det skal utarbeides en egen rapport for konkurransegrunnlaget. Rapporten utarbeides på grunnlag av undersøkelser utført i alle foregående planfaser.

Det kan være aktuelt med supplerende (avsluttende) grunnundersøkelser for å bekrefte mengdeanslagene eller som følge av andre forhold, 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 (grunnvann, setningsfare), blant annet basert på de måleresultater som foreligger.

Resultater skal rapporteres i geologisk rapport til konkurransegrunnlag.

Løsninger og ytelsesbeskrivelser knyttet til tetting, driving, sikring, komplettering etc. behandles andre steder i konkurransegrunnlaget og er ikke en del av geologisk rapport.

En fagansvarlig for de geologiske undersøkelsene skal kvalitetssikre at konkurransegrunnlaget gjenspeiler de geologiske utfordringene vedrørende sikringsmengder, sikringsmetoder etc., som kan forventes i forbindelse med gjennomføring av tunnelen.

Geologisk rapport skal inneholde en faktadel og en tolkningsdel.

Tolkningsdelen inneholder geologiske vurderinger, slik at den utførende får best mulig informasjon om bergforholdene for egne vurderinger og tolkninger.

Del 1: Faktadelen skal inneholde:

- Geologisk kart og profil av traseen (målestokk 1:1000 i A3). Alle registreringer skal presenteres på kart og profil sammen med tunneltraseen. Kart skal vise geologiske observasjoner: bart berg/løsmasser, bergarter/bergartsgrenser, svakhetssoner, sprekker/foliasjoner, alle typer boringer, eventuelle seismiske undersøkelser og eventuelle øvrige undersøkelser.
- Geologisk kart og profiler av påhuggsområdene (målestokk 1:500 - 1:1000).
- Geologiske profiler skal presenteres med høyde/lengde 1:1.
- Beskrivelse av bergarter, foliasjoner, strukturer og andre geologiske observasjoner.
- Analyse av sprekketetthet og sprekkeorienteringer. Sprekkeroser og stereoplott.
- Resultater av grunnboringer.
- Resultater av eventuelle kjerneboringer.
- Resultater av eventuelle geofysiske undersøkelser.
- Resultater fra eventuelle miljøgeologiske/vannkjemiske undersøkelser.
- Resultater fra undersøkelser av steinmaterialkvalitet.
- Resultater av eventuelle andre undersøkelser og målinger.
- Spesielle lokale hensyn.
- Referanseliste over alle rapporter og annet som rapporten bygger på.

Del 2: Tolkningsdelen skal inneholde:

- Tolknninger av de geologiske forholdene langs tunneltraseen: bergartsgrenser, bruddstrukturer, svakhetssoner, forvitningsomfang og mulig lokalisering i tunnelnivå.
- Usikkerhet med hensyn til bergoverdekning og påhugg.
- Bergmasseklassifisering (Q-verdier) i felt, langs trasé og fra eventuell kjernelogging.
- Løsmasser og geotekniske forhold med konsekvenser for skredfare og setninger.
- Hydrogeologiske forhold, eventuelle brønner og vannmagasiner.
- Sannsynligheten for å påtreffe vann som kan skape driveproblemer.
- Anbefalt innlekkasjenivå for å unngå skadelig poretrykksenkning.
- Antatt omfang av injeksjonsarbeider.
- Påpekning av eventuelle forhold som kan ha betydning for boring og sprengning (boreavvik, ladevansker o.a.).
- Sannsynlighet for å påtreffe høye/lave bergspenninger.
- Behov for spesiell håndtering/deponering av forurensende masser.
- Sannsynlig variasjon med tanke på steinmaterialkvalitet.
- Påpekning av usikkerheter og spesielle risikoer.

Spesielle/lokale forhold kan medføre at tolkningsdelen utvides med flere punkt.

3 Geometrisk utforming

3.1 Generelt

Tunnellengden for bytunneler og motorveg-tunneler bør begrenses og bør ikke være lengre enn 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.

Tunneler med lengde over 10 km skal vurderes særskilt og godkjennes av vegmyndighet.

Ved strukturell oppgradering av tunnelrommet i eksisterende tunneler skal fri høyde legges på minimum 4,2 m og kjørefeltbredder skal følge standardkrav for nye tunneler.

3.2 Linjeføring

3.2.1 Kjørefelt

Antall ordinære kjørefelt i hver retning skal ikke reduseres inne i tunnelen. Kryss i tunnel skal ikke anlegges, jf. kap. 3.7. Hvis kryss i tunnel er godkjent som fravik skal ramper og fartsendringsfelt utformes som angitt i håndbok N100 Veg- og gateutforming [5]. Ingen del av krysset skal ligge nærmere tunnelåpningen enn stoppsikt.

I tunnel skal det ikke være forbi-kjøringsfelt, med unntak for lange stigninger hvor det er krav om forbi-kjøringsfelt i henhold til håndbok N100 [5]. Et forbi-kjøringsfelt 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 med hastighet lik fartsgrensen.

3.2.2 Horisontalkurvatur

Kravene til minste horisontalkurvatur, gitt i håndbok N100 [5], skal tilfredsstilles også i tunnel.

Krav til breddeutvidelse i kurver med radius mindre enn 500 m skal være som for veg i dagen [5].

3.2.3 Vertikalkurvatur

Krav til minste vertikalkurveradius er gitt i håndbok N100 [5].

Tunnel skal bygges med stigning $\leq 5\%$. Det fremgår av Tunnelsikkerhetsforskriftene at det for tunneler med stigning på mer enn 3 % skal treffes ekstra og/eller forsterkede tiltak for å forbedre sikkerheten på grunnlag av en risikoanalyse. Slike ekstra og/eller forsterkede tiltak er innarbeidet i normalkravene.

3.2.4 Sikt

Krav til sikt i tunneler er gitt i håndbok N100 Veg- og gateutforming [5]. Krav til stoppsikt skal tilfredsstilles. For enfeltstunneler med toveis trafikk skal krav til møtesikt tilfredsstilles.

Tunnelbredden skal om nødvendig utvides med ekstra bredde på sidearealet i innerkurve.

3.3 Portaler

Portaler skal prosjekteres i henhold til håndbok N400 Bruprosjektering [11].

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

Det skal sikres at forskjæringen inn mot portalen har tilstrekkelig bredde ut fra plassbehov ved mulig nedfall av is, snø eller stein og plassbehov for portalstøp.

Lengden på frittstående del utenfor tilbakefyllingsmasser skal være minimum to meter. Portalen skal avsluttes med en fritt oppstikkende, vertikal krage på minimum 300 mm.

Tunnelportalen og tilhørende rekkverk skal utformes slik at de ivaretar sikkerhet for påkjørsel. Ved ÅDT > 6 000 skal portalen utformes med traktform. Trakten skal utformes slik at tangentene til sirkelbuene er parallelle i overgangspunkter i profilet. Radius i veggen holdes konstant i henhold til normalprofilene. Radius i hengen skal tilpasses slik at hengen får en jevn overgang.

Lengden på kontaktstøpt del av portalen fastsettes på grunnlag av bergmassekvalitet og bergoverdekning.

Vanntett utførelse av selve portalen skal ivaretas 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.

Behovet for portaler for rømningstunneler og nødutganger til det fri (se kap. 3.6) skal vurderes spesielt.

3.4 Tunnelprofiler

3.4.1 Generelle krav til tunnelprofiler

Skjematisk tunnelprofil er vist i figur 3.1.

De enkelte tunnelprofilene med feltinndeling for to eller tre felt og feltinndeling ved havarinisje er vist i håndbok N100 [5].

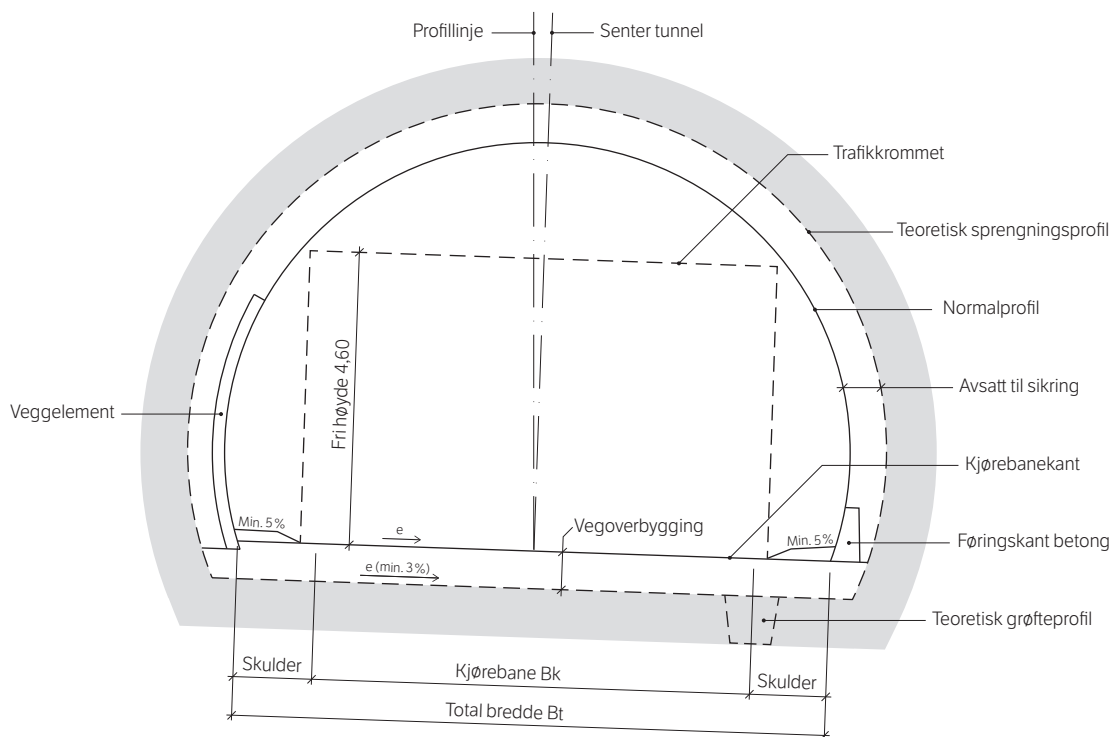
Fri høyde i tunneler skal være 4,6 m. Kravet til fri høyde gjelder vinkelrett på kjørebanelen, målt ved kantstein.

Fri høyde for gående og syklende i tunnel skal være minimum 3,0 m.

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. Behov for lokale utvidelser vurderes i hvert enkelt tilfelle. Minimum høyde til teknisk utrustning skal være 4,8 m over kjørebanelen. For side-montert utstyr som skilt og signalanlegg skal klaring til trafikkrommet vurderes spesielt. For krav til skilt se kapittel 5.



Figur 3.1 Skjematisk tunnelprofil, vist med eksempel på veggelement og føringskant av betong.

3.4.2 Geometriske mål

Tunneler skal utformes i henhold til geometriske mål gitt i tabell 3.1, og vist i figur 3.2 og figur 3.3.

Tverrsnittsdata for tunnelprofilene under gitte forutsetninger fremgår av tabell 3.2 og figur 3.1.

Tabellene gjelder for tunnelprofiler med ensidig tverrfall minimum 3 %. Ved ensidig tverrfall dreies profilet om vegens senterlinje. Tabellene gjelder derfor uavhengig av tverrfallets størrelse.

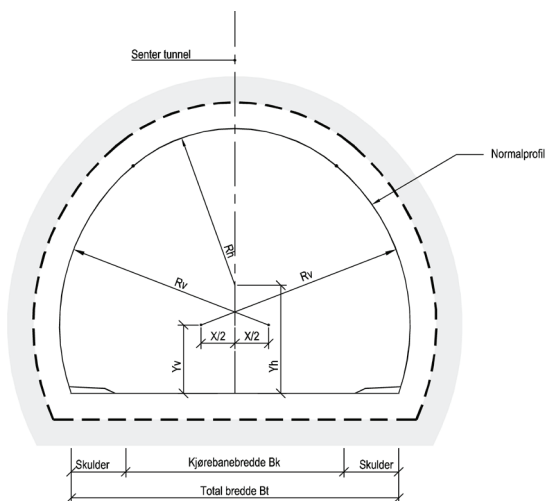
Tabell 3.1 Geometriske mål for de ulike tunnelprofilene (alle mål gitt i m)

Profil	Total bredde B_t	Kjørebane- bredde B_k	Senterhøyde veggradier Y_v	Vegradius R_v	Senter- avstand veggradier X	Senterhøyde hengradius Y_h	Hengradius R_h
T4	4,0	3,00	–	–	–	1,330	2,400
T5,5	5,5	3,50	1,770	4,790	3,402	3,171	2,587
T8,5	8,5	6,50	1,770	4,790	0,402	1,981	4,500
T11,5	11,5	9,50	1,770	4,790	2,598	-0,258	7,199
T7,5	7,5	5,00	1,570	4,790	1,550	2,481	3,594
T9,5	9,5	7,00	1,570	4,790	0,450	1,213	5,212
T10,5	10,5	8,00	1,570	4,790	1,450	0,664	5,950
T12,5	12,5	10,00	1,570	4,790	3,450	-0,466	7,458
T13	13,0	10,50	1,570	4,790	3,950	-0,735	7,825
T13,5	13,5	11,00	1,570	4,790	4,450	-0,817	8,053
T14,0	14,0	11,50	1,570	4,790	4,950	-1,294	8,575

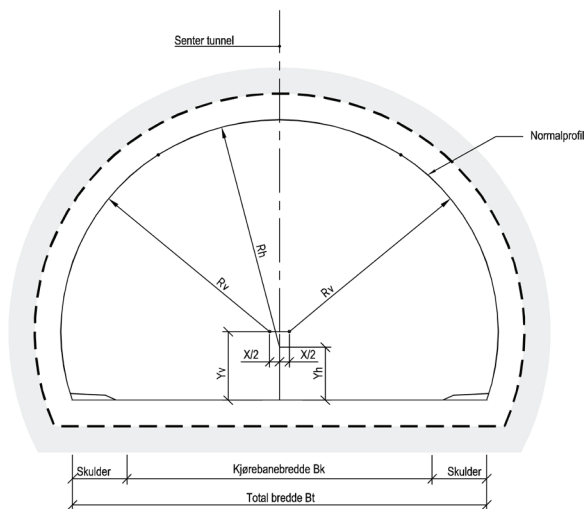
Tabell 3.2 Tunnelvernsnittdata for de ulike tunnelprofilene

Tunnelprofil	Teoretisk sprengningsprofil		Normalprofil	
	Areal A_s m ²	Buelengde, B_s m	Areal A_N m ²	Buelengde, B_N m
T4	20,32	12,31	13,57	9,85
T5,5	39,10	17,12	29,72	14,55
T8,5	61,92	20,56	49,66	17,99
T11,5	85,92	23,75	70,89	21,18
T7,5	51,56	18,88	40,46	16,30
T9,5	66,62	21,04	53,61	18,46
T10,5	74,59	22,13	60,64	19,55
T12,5	91,32	24,32	75,49	21,73
T13	95,69	24,86	79,39	22,28
T13,5	100,52	25,46	83,73	22,88
T14	104,58	25,96	87,35	23,88

Data avhenger 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 0,4 m avsatt 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 planum forutsatt 0,5 m vegoverbygning og 0,4 m avsatt til sikring.
 B_N = Buelengde regnet etter normalprofil ned til nivå for kjørebane.



Figur 3.2 Geometriske mål for tunnelprofil T5,5 – T8,5 (målene er gitt i tabell 3.1)



Figur 3.3 Geometriske mål for tunnelprofil T9,5 – T14,0 (målene er gitt i tabell 3.1)

3.4.3 Senterlinje

Tunnelprofilen i ettløpstunneler skal dreies om vegens senterlinje til aktuelt tverrfall (3 % på rettstreknin-ger). I toløpstunneler skal det etableres en senterlinje for hvert løp. For toløpstunneler dreies dermed hvert enkelt løp om sin senterlinje ved tverrfallsendringer.

3.4.4 Tilpasninger av geometriske mål

3.4.4.1 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 skal holdes konstant i henhold til normalprofilene i tabell 3.1. Radius i hengen tilpasses slik at hengen får en jevn overgang. Konstruksjon av mellomliggende profiler bør dokumenteres slik at andre installasjoner som vegg og takelementer samt øvrig sikring får tilstrekkelig plass og bergmekaniske forhold er ivaretatt.

3.4.4.2 Tunnelprofiler ved overgang til ramper

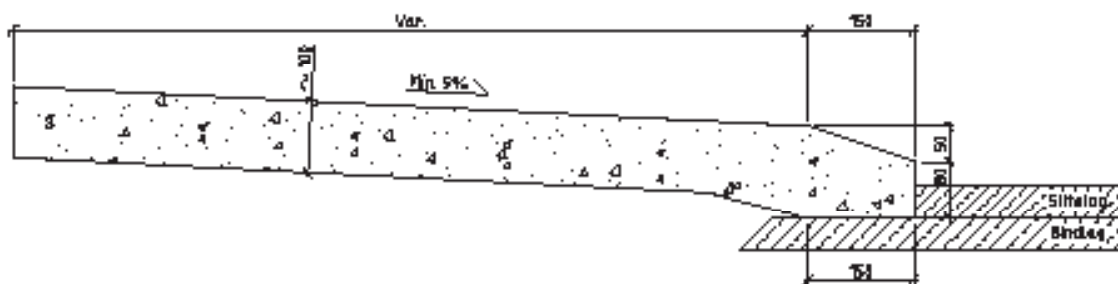
Beskrivelsen av profilet skal dokumenteres i forhold til vegens senterlinje i rampe og i forhold til vegens senterlinje i hovedløp.

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 tilfredsstillt.

3.4.5 Skulder

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

Opphøyd del av skulder skal utføres med kantstein og med asfalt eller betongdekke, med minimum 5 % fall mot kjørebanelen (figur 3.4). Kantstein skal være lav og ikke-avvisende og plasseres minst 0,25 m fra kjørebanelokant (figur 3.1). Kantstein plasseres på bindlaget i vegoverbygningen.



Figur 3.4 Eksempel på kantstein og betongsåle, her vist som plasstøpt løsning. Mål i mm.

3.4.6 Veggelementer og føringskant av betong

I tunnelens lengderetning skal det monteres enten veggelementer av betong eller føringskant av betong. Se kapittel 7.

3.4.7 Tunnelprofil for betongtunneler

I utgangspunktet utformes tunnelprofil som vist i håndbok N100 [5].

Eksempler der det kan være grunn til å fravike standard tunnelutforming:

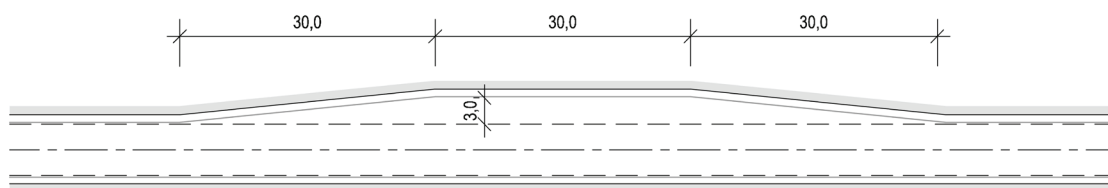
- Behov for å legge traseen grunt. Tunneltaket legges parallelt kjørebanelen mens det sirkulære profil beholdes for veggene.
- Behov for å redusere bredden på byggegropa.
- For tunneler som dimensjoneres for vanntrykk gir firkantprofil mindre volum og dermed mindre oppdrift. Betongtunneler med firkantet profil skal som minimum oppfylle areal tilsvarende fri høyde og total bredde vist i tunnelprofil. Det skal være plass til nødvendige installasjoner og skilt.

3.5 Utvidelse for nisjer

3.5.1 Havarinisjer, snunisjer og møteplasser

Krav til avstand mellom nisjer er gitt i kapittel 4 (tabell 4.2). Plassering skal tilpasses lokale forhold som bergforhold og geometri. Toleranse i plassering bør være innenfor ± 50 m for havarinisjer og snunisjer. Det skal tas hensyn til mulighetene for å kombinere nisjene med nisjer for andre behov, for eksempel pumpestasjoner, teknisk bygg etc.

Havarinisjer skal muliggjøre parkering utenfor kjørebanelen ved nødstop. Havarinisjer skal utformes som vist på figur 3.5. For tunnelprofil i havarinisjer, se håndbok N100 [5].

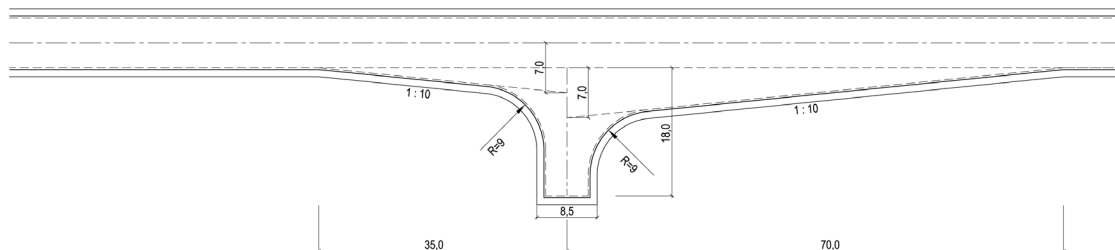


Figur 3.5 Havarinisje (mål i m)

Starten på første havarinisje i tilknytning til inngående kjørefelt skal plasseres 250 m fra tunnelåpningen, med en toleranse på ± 50 m.

I enfeltstunneler med toveistrafikk skal det anlegges møteplasser. Møteplasser skal utformes som havarinisjer (figur 3.5). Avstanden mellom møteplassene skal maksimalt være 250 m (c-c), men aldri lenger enn at bilfører kan se fra en møteplass til den neste.

Et eksempel på utforming av snunisje er vist i figur 3.6.



Figur 3.6 Eksempel på utforming av snunisje (mål i m)

Snunisjer bør ikke plasseres i innerkurve på grunn av siktforhold.

3.5.2 Nisje for teknisk bygg

Plassbehov for teknisk bygg (se kap. 9.1), med vurdering av fremtidige oppgraderingsbehov, skal avklares i plan-/prosjekteringsfasen.

Teknisk bygg skal plasseres i egen nisje med tett vegg mot trafikkrommet. Nisjen bør plasseres i forbindelse med havarinisje.

Der teknisk bygg plasseres i tunnelens lavbrekk skal gulvet i teknisk bygg være minimum 1 m over kjørebanelnivå.

3.5.3 Nisje for nødstasjon

Det skal bygges nisje for kiosk til nødstasjon i tilknytning til havarinisjer.

Skap til nødstasjon mellom havarinisjene kan innfelles i nisjer i tunnelveggen. Se kap. 4.3.

3.5.4 Pumpestasjon

I tunneler med lavbrekk, der det er nødvendig å pumpe vannet ut av tunnelen, skal det bygges pumpestasjon i lavbrekket. Se kap. 8.5.

Størrelsen på pumpestasjon(er) skal dimensjoneres ut fra type og mengde av utstyr og beregnet lekkasjevolum.

3.6 Nødutganger

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

Det skal etableres nødutganger for tunneler med ÅDT > 8 000 med lengde 0,5 – 10 km. Det skal etableres nødutganger for tunneler med ÅDT > 4 000 med lengde > 10 km. Kravene inntre på det tidspunkt ÅDT overstiger de gjengitte verdiene og det skal i planfasen avklares når og hvordan krav om nødutgang skal etableres (jf. figur 4.1).

For toløps tunneler skal det etableres nødutganger med gangbare tverrforbindelser mellom tunnelløpene med innbyrdes avstand på 250 m.

For ettløps tunneler kan nødutganger etableres med utganger direkte til det fri, utganger til rømnings-tunnel eller ved bygging av ekstra tunnellop med gangbare tverrforbindelser mellom tunnellopene. Valg av løsning skal godkjennes av Vegdirektoratet for riksveg.

Krav til nødutganger gjelder også for ramper tilknyttet tunnelsystemet.

Tilstrekkelig evakueringskapasitet for tverrforbindelsene skal sikres spesielt.

Gangbare tverrforbindelser og nødutganger til det fri skal ha tunnelprofil T4. Rømnings-tunnel skal ha tunnelprofil T5,5 [5].

Krav til utforming av nødutganger:

- Helningsgraden på nødutgangen skal ikke være brattere enn maksimalt 5 % (1:20).
- Nødutgangen skal ha fast dekke.
- Det skal være nedsenka kantstein ved nødutganger i tunnel, utformet med 20 mm vis og helling 1:10 opp mot dør til nødutgang.

- Dør til rømningsvei skal utføres og utstyres slik at den sikrer rask evakuering. Dør til rømningsvei skal ha grønn farge (for eksempel RAL 6016). Se NS-EN 16276 [19].
- Vegg mellom hovedtunnel og nødutgang skal ha brannmotstand minimum REI 120-M [20], ubrennbare materialer.
- Tverrforbindelser skal utføres som brannsluse med brannmotstand minimum EI 60 [20] mot begge tunnellop og mot rømningstunnel.
- Nødutganger skal berg-, vann- og frostsikres.
- Utgangene til det fri skal stenges med låsbare porter.

For øvrig vises det til kapittel 4 Sikkerhetstiltak, kapittel 5 om skilting av nødutganger, og kapittel 9 for belysning.

3.7 Kryss i forbindelse med tunnel

Kryss skal ikke anlegges i tunnel.

Krav til avstand mellom kryss utenfor tunnel og tunnelåpning er gitt i håndbok N100 Veg- og gateutforming [5]. Når kryss plasseres nær tunnelåpningen, skal risiko for tilbakeblokkering inn i tunnelen vurderes.

Krav til kryss er gitt i håndbok N100 [5].

4 Sikkerhetstiltak

4.1 Generelt

4.1.1 Forskrifter om minimum sikkerhet i vegtunneler

Krav til planlegging og sikkerhetsutstyr i vegtunneler er gitt i Forskrift om minimum sikkerhetskrav til visse vegtunneler og Forskrift om minimum sikkerhetskrav til visse tunneler på fylkesvegnettet og kommunalt vegnett i Oslo (Tunnelsikkerhetsforskriftene). Forskriftene gir minimum sikkerhetskrav. Forskriften som omfatter krav til riksveger gjelder for tunneler lengre enn 500 m. Forskriften som dekker fylkesveg og kommunal veg i Oslo gjelder for tunneler lengre enn 500 m og som har ÅDT over 300. Forskriftene setter krav både til tunneler under planlegging og tunneler som er i drift. Se for øvrig håndbok R511 Sikkerhetsforvaltning av vegtunneler [21].

Det fremgår av forskriftene at nye tunneler med lengde > 500 m skal sikkerhetsgodkjennes før bygging og før de kan åpnes for trafikk. Denne myndigheten ligger til Vegdirektoratet både for tunneler på riksvegnettet, på fylkesvegnettet og på det kommunale vegnettet i Oslo. Fremgangsmåten er fastsatt i forskriftene.

Tunnelene som omfattes av Tunnelsikkerhetsforskriftene skal oppfylle minstekrav til sikkerhet fastsatt i vedlegg I og II til forskriftene.

4.1.2 Risikoanalyser for vegtunneler

Tunnelsikkerhetsforskriftene har bestemmelser for gjennomføring av risikoanalyser. Risikoanalysen er en særskilt studie av farer, med beskrivelse av mulige ulykker som tydelig berører sikkerheten for trafikanter i tunneler og som vil kunne inntreffe i løpet av brukstiden, samt art og størrelsesorden av de mulige konsekvensene av dem. Risikoanalysen skal presisere og begrunne tiltak for å redusere sannsynligheten for ulykker og deres konsekvenser.

Risikoanalysen kan være kvalitativ eller kvantitativ. For planlegging av nye tunneler over 500 m skal både kvantitativ og kvalitativ risikoanalyse benyttes for å dokumentere risiko.

Ved søknad om fravik fra en eller flere bestemmelser i denne normalen skal det ved hjelp av en risikoanalyse bekreftes at avbøtende tiltak gir samme eller bedre sikkerhet. Risikoanalyse er en viktig del av sikkerhetsdokumentasjonen for tunneler over 500 m.

Risikoanalyser skal gjennomføres av et organ som er funksjonsmessig uavhengig av tunnelforvalter. For utarbeidelse av risikoanalyser skal det brukes en metode som er godkjent av Vegdirektoratet.

Der det er aktuelt med transport av farlig gods i vegtunnelen, skal det utføres en risikovurdering i samarbeid med brannmyndigheten for å kunne vurdere behov for og eventuelt fastlegge regler og krav til transport av farlig gods gjennom tunnelen.

4.1.3 Prinsipper

Ramper skal ha samme krav til sikkerhetsnivå som for hovedtunnelen.

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

Evakuering av tunnel ved brann og annen hendelse har som utgangspunkt prinsippet om selvredning. Det vil si at trafikantene selv tar seg ut av tunnelen, enten til fots eller ved hjelp av kjøretøy.

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

For ettløpstunneler skal det vurderes behov for å etablere et areal som kan benyttes som landingsplass for helikopter og for kontroll av kjøretøy.

4.1.4 Beredskapsanalyser for vegtunneler

Beredskapsanalyse skal benyttes for planlegging av nye tunneler som er lengre enn 1000 m, og ved vesentlige endringer i konstruksjon, utrustning eller bruk i driftsperioden ved tilsvarende tunneler.

Beredskapsanalyse gir oss et bilde på hvilken innsats og redning som kan forventes ved den enkelte tunnel, hvilke ressurser som er tilgjengelige og når disse er tilgjengelige. Beredskapsanalyse brukes for å få et bedre grunnlag for å utarbeide beredskapsplan, og for å vurdere behov for eventuelle avbøtende tiltak. Beredskapsanalysen skal også dokumentere hva som er tilstrekkelig.

For utarbeidelse av beredskapsanalyser skal det brukes en metode og mal som er godkjent av Vegdirektoratet. Se også håndbok R511 [21].

Beredskapsanalysen skal ta utgangspunkt i fasene varsling, mobilisering, redning, evakuering og normalisering. Det kartlegges forventet utvikling ved de forskjellige scenarier, krav til beredskap og hvordan den eksisterende/planlagte beredskapen er i de ulike beredskapsfasene. Ansvar for utarbeidelse av beredskapsanalyse påhviler tunnelforvalter og gjøres i et samarbeid med nødetater, vegtrafikksentral og de som skal drifte og forvalte tunnelen.

4.1.5 Beredskapsplan

Det skal foreligge beredskapsplaner for alle tunneler over 500 m. Beredskapsplan skal omfatte både teknisk beredskap og beredskap ved trafikale hendelser. Planen skal utarbeides i samarbeid med lokale redningsetater.

Beredskapsplan for tunneler består i hovedsak av:

- En beskrivelse av tunnelen, utstyret i tunnelen, omkjøringsmuligheter og disponibelt innsatsutstyr.
- En risikoanalyse, der dette er påkrevd.
- Rutiner for hendelser og svikt i det tekniske utstyret, inkludert sikkerhetsutstyr, og med korrektive tiltak for mulige hendelser i tunnel.
- Beskrivelse av sentrale og 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.

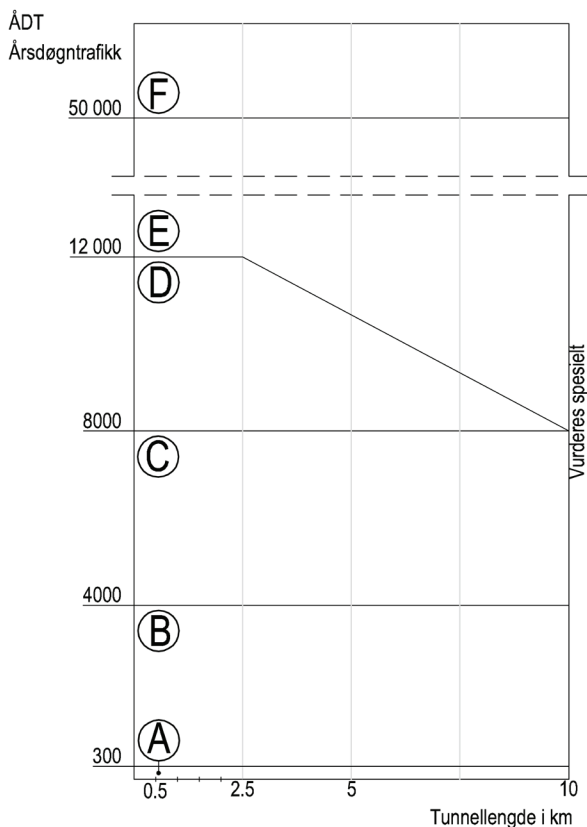
I arbeidet med beredskapsplanen skal også eventuelle restriksjoner på transport av farlig gods gjennom tunnelen vurderes.

4.2 Tunnelklasser

Tunnelene skal inndeles i tunnelklasser basert på trafikkmengde og tunnellengde, se figur 4.1. Trafikkmengde angis som den årsdøgntrafikk, ÅDT, som kan forventes 20 år 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, anbefales tunnelklasse valgt ut fra en spesiell vurdering. En slik spesiell vurdering for valg av tunnelklasse skal være basert på risikoanalyse.

Tunnelklassene bestemmer kravene til sikkerhetstiltak og sikkerhetsutrustning i tunneler med lengde over 500 m. Dette gjelder antall tunneløp, behov for havarinisjer, snunisjer, nødutganger samt sikkerhetsutrustning.

Sikkerhetstiltak og sikkerhetsutstyr i tunneler med lengde over 10 km skal vurderes spesielt.



Figur 4.1 Tunnelklasser A – F, for ÅDT(20) og lengde 0,5 – 10 km.
Tunnelklasse E og F skal ha to løp. Krav til nødutganger kan utløse behov for bygging av toløpstunneler også for tunnelklasse C og D, jf. omtale i kapittel 3.6.

4.3 Sikkerhetstiltak og sikkerhetsutrustning

4.3.1 Generelt

Tabell 4.1 viser hvilke krav som stilles for å oppnå forutsatt sikkerhetsnivå i de ulike tunnelklasser. En fylt sirkel betyr at tiltak skal etableres. En åpen sirkel betyr at tiltaket skal vurderes. Utstyret installeres kun dersom det er spesielle forhold som gjør dette nødvendig, eller merknadsrubrikken angir spesielle forutsetninger.

I figurene 4.2 – 4.6 er plassering av havarinisjer og nødstasjoner vist skjematisk for de aktuelle tunnelklasser. I tillegg skal nødstasjoner installeres utenfor hver tunnelåpning.

For utforming av nisjer, nødutganger mv. henvises til kapittel 3.

I 4.3.2 er det nærmere beskrevet hvilke krav som gjelder for de ulike installasjoner som inngår i sikkerhetsutrustningen.

For trafikkskilt og trafikksignaler som inngår i sikkerhetsutrustningen henvises til kapittel 5.

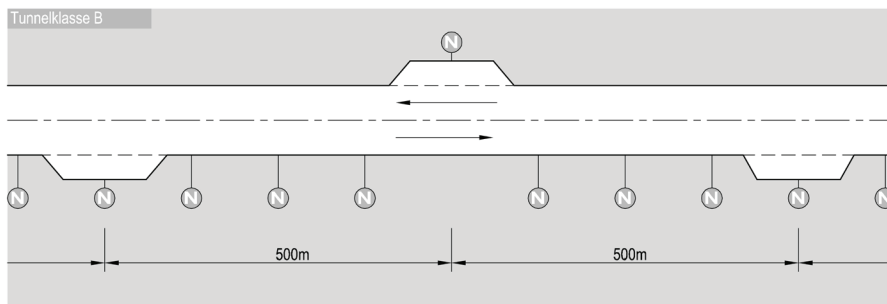
Tabell 4.1 Tiltak for å sikre akseptabelt sikkerhetsnivå i tunneler

● Krav ○ Vurderes	Tunnelklasser						Merknader
	A	B	C	D	E	F	
SIKKERHETSTILTAK							
Havarinisjer		●	●	●	●	●	Se kapittel 3 Geometrisk utforming
Snunisjer		●	●	●			Se kapittel 3 Geometrisk utforming
Nødutganger			○	●	●	●	Se kap. 3.6
SIKKERHETSUTRUSTNING							
Strømforsyning, belysning og ventilasjon	Se kapittel 9 Tekniske anlegg						
Skilt og signaler	Se kapittel 5						
Nødstrømsystem	●	●	●	●	●	●	Belysning ved strømutfall. Se 4.3.2.1 og 9.3.6
Rømningslys	●	●	●	●	●	●	25 m avstand for tunneler < 5 km. Ettløpstunneler > 5 km skal ha sammenhengende lys. Se 4.3.2.2
Nødstasjon	●	●	●	●	●	●	Hver 125 m. Se kap. 4.3.2.3. Ved oppgradering min. hver 250 m (jf. 4.3.4). I tillegg utenfor hver tunnelåpning.
Slokkevann	●	●	●	●	●	●	Se 4.3.2.4
Fjernstyrte bommer for stengning		○	●	●	●	●	Se 4.3.2.5
ITV-overvåking		○	○	○	○	○	Krav i tunneler > 3 km og ÅDT > 4 000. Krav i tunneler > 5 km og ÅDT > 300. Se 4.3.2.6
Høyttalesystem		○	○	○			Krav i tunneler > 3 km og ÅDT > 4 000. Krav i tunneler > 5 km og ÅDT > 300. Se 4.3.2.7
Nødnett og radiokringkasting	●	●	●	●	●	●	Se 4.3.3
Høydehinder (avviser)	●	●	●	●	●	●	Se 4.3.2.8

Avstand mellom nisjer skal være i henhold til tabell 4.2. Toleranse i plassering er gitt i kap. 3.5.

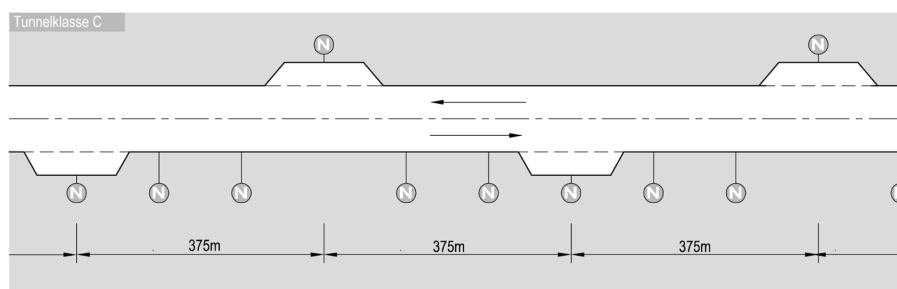
Tabell 4.2 Normalavstand for havari- og snunisjer

Tunnelklasse	Normalavstand havarinisje	Normalavstand snunisje	Kommentar
A	–	–	Møteplasser
B	500 m	2 000 m	Snunisje bygges i tunneler > 4 km
C	375 m	1 500 m	Snunisje bygges i tunneler > 3 km
D	250 m	1 000 m	Snunisje bygges i tunneler > 2 km
E	500 m	–	Angitt avstand gjelder for hvert tunneløp
F	250 m	–	Angitt avstand gjelder for hvert tunneløp



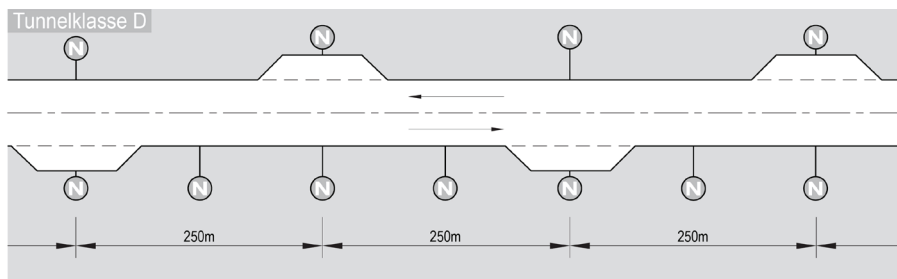
Havarinisjer for hver 500 m. N Nødstasjoner hver 125 m

Figur 4.2 Tunnelklasse B, havarinisjer og nødstasjoner



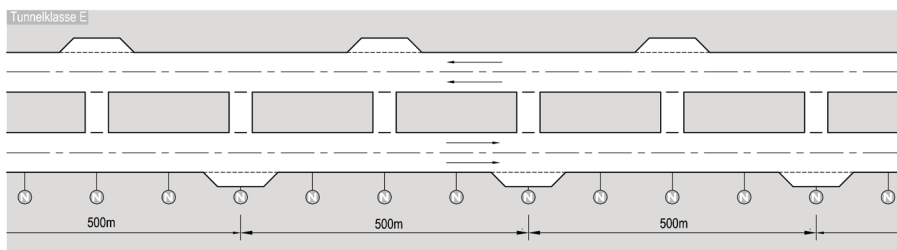
Havarinisjer for hver 375 m. N Nødstasjoner hver 125 m

Figur 4.3 Tunnelklasse C, havarinisjer og nødstasjoner



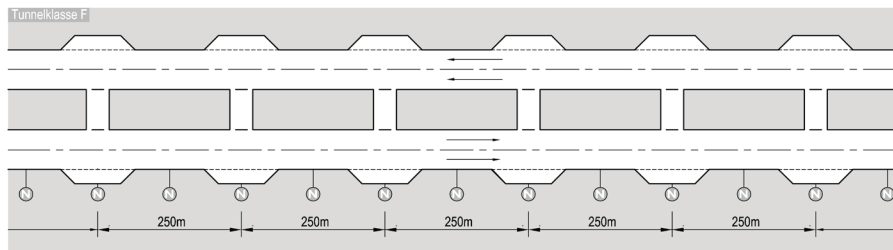
Havarinisjer for hver 250 m. N Nødstasjoner hver 125 m på en side, hver 250 m på motsatt side

Figur 4.4 Tunnelklasse D, havarinisjer og nødstasjoner



Havarinisjer for hver 500 m for hvert løp – Tverrforbindelser for hver 250 m. N Nødstasjoner per løp hver 125 m

Figur 4.5 Tunnelklasse E, havarinisjer, nødstasjoner og tverrforbindelser



Havarinisjer for hver 250 m for hvert løp – Tverrforbindelser for hver 250 m. N Nødstasjoner per løp hver 125 m

Figur 4.6 Tunnelklasse F, havarinisjer, nødstasjoner og tverrforbindelser

4.3.2 Krav til utstyr som inngår i sikkerhetsutrustningen

4.3.2.1 Nødstrømsystem

Nødstrømsystem skal være basert på en overordnet tverrfaglig risikovurdering, og skal utføres etter håndbok N601 Elektriske anlegg [12].

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

- Styrings-, regulerings- og overvåkingssystemer som skal fungere i en nødsituasjon
- Rødt stoppblinksignal (se kap. 5.3)
- Fjernstyrte bommer for stengning
- Rømningslys
- Nødtelefon
- Serviceskilt (se kap. 5.2)
- Nødutgangsskilt (se håndbok N300 [8])
- Radio- og kringkastingsanlegg
- Nødnett

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

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

Evakueringsstid skal også være basert på en risikovurdering, men skal som minimum være utrykningsstid + 1 time.

Akkumulatoranlegg skal være plassert i egne rom.

Tverrforbindelser mellom to løp skal ha nødstrømsforsyning fra begge løp.

4.3.2.2 Rømningslys

Rømningslys er lys som skal gjøre det mulig å rømme ut av tunnelen til fots i en nødsituasjon. Rømningslys skal ha egen strømforsyning. Krav til rømningslys er gitt i NS-EN 16276 [18].

Rømningslysene skal plasseres i maksimum 1,5 m høyde over kjørebanelen. I tunneler med nødutganger skal lysene plasseres på samme side som nødutgangene.

For tunneler med lengde < 5 km skal lysene monteres med innbyrdes avstand mellom lyspunkter på 25 m. Minste opprettholdte lysstyrke fra hvert av lysene, i alle retninger som de ses fra, skal være 0,1 cd x lysenes innbyrdes avstand. Med innbyrdes avstand 25 m skal lysstyrken være minst 2,5 cd i alle relevante retninger over hele anleggets levetid.

For ettløpstunneler med lengde > 5 km skal det monteres sammenhengende rømningslys. Disse skal utføres med hvitt lys, ca. 200 lumen. Rømningslys skal ha hvit farge, 4000 – 5000 Kelvin, uavhengig av om det er kontinuerlig stripe eller punktarmatur. For lys på dører til rømningsvei, se kapittel 9.

Rømningslysene skal tennes automatisk ved fjerning av brannsløkke. Rømningslysene skal kunne aktiveres fra vegtrafikksentral og fra nødstyreskap utenfor tunnelen.

4.3.2.3 Nødstasjoner

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

Hver nødstasjon skal inneholde en nødtelefon og to brannsløkkere.

Nødstasjon i havarinisjer skal monteres i kiosk med innvendige mål minimum 1,5 x 1,5 m, og med innvendig belysning. Det skal med skilt gjøres oppmerksom på at nødstasjonen ikke gir beskyttelse ved brann. Teksten skrives på norsk og engelsk.

Nødstasjoner mellom havarinisjene skal plasseres i skap; enten på føringskant av betong eller innfelt i nisjer i tunnelveggen. Av trafikksikkerhetshensyn skal skapet være utenfor normalprofilen. Skap skal markeres med normerte symboler.

Betjening og visuell informasjon på nødtelefoner og brannsløkkere bør tilpasses konstruksjonen og bør plasseres i en høyde på 0,9 – 1,1 m over skulder.

Alle nødstasjoner skal merkes med skilt, se kapittel 5.

Hvis havarinisjer flyttes (iht. toleranser i kap. 3.5), kan nødstasjoner justeres tilsvarende. Avstanden mellom nødstasjoner skal i det tilfellet ikke overstige 150 m.

Det skal gis signal til vegtrafikksentral hvis brannsløkker fjernes. Trafikantene skal informeres ved skilt om at fjerning av brannsløkkeren utløser automatisk varsling og stengning av tunnel. I tillegg skal det ut fra driftsforhold gis alarm ved åpning av skap.

4.3.2.4 Sløkkevann

Det skal finnes vannforsyning i alle tunneler. Det skal finnes hydranter i nærheten av portalene og innvendig, med mellomrom som ikke skal overstige 250 m. Dersom vannforsyning ikke er tilgjengelig skal det sikres at tilstrekkelig vannmengde er tilgjengelig på annen måte, for eksempel ved bruk av tankbil.

4.3.2.5 Fjernstyrte bomber for stengning av tunnel

Fjernstyrte bomber for stengning av tunnel bør plasseres minimum 100 m fra tunnelåpning for å sikre plass ved eventuell evakuering, røykutvikling, etc.

Fjernstyrte bomber skal aktiveres i kombinasjon med rødt stoppblinksignal. Fjernstyrte bomber sammen med rødt stoppblinksignal legges til rette, om mulig, der omkjøring starter. Der avstand mellom fjernstyrt bom og portal er lengre enn 300 m, etableres det i tillegg egne bomber og stoppsignal ca. 100 m fra portal.

Fjernstyrte bomber skal benyttes sammen med intern TV-overvåking (ITV).

Fjernstyrte bomber skal kunne betjenes manuelt på stedet.

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

4.3.2.6 ITV-overvåking

Videovervåking (ITV) med automatisk registrering av hendelser (AID) skal monteres i tunneler med lengde > 3 km i tunnelklasse C, D, E og F. For tunneler i tunnelklasse B med lengde > 5 km installeres ITV-anlegg med AID, med avstand mellom kamerapunktene på 125 m.

Valg av løsning for AID vurderes særskilt.

ITV-overvåking krever tilknytning til vegtrafikksentral.

4.3.2.7 Høytalersystem

Høytalersystem som sikrer at trafikanter får melding i en nødsituasjon skal monteres i ettløpstunneler med lengde > 3 km i tunnelklasse C og D, og i tunneler med lengde > 5 km i tunnelklasse B. Utstyret monteres i forbindelse med havarinisjene. Høytalersystem krever tilknytning til vegtrafikksentral.

4.3.2.8 Høydehinder

Høydehinder (avviser) skal monteres i alle tunnelklasser. Høydehinder skal plasseres før innkjøring til tunnelen 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 andre konstruksjoner har den nødvendige avvisende effekt på vegnettet som fører inn mot tunnelåpningen.

4.3.3 Nødkommunikasjon, kringkasting og mobiltelefoni

4.3.3.1 Generelt

Vegmyndighet har ansvar for at det blir etablert Nødnett og kringkasting i alle vegtunneler lengre enn 500 m.

Som felles antenneanlegg for Nødnett og kringkasting i vegtunneler skal det benyttes strålekabel (også kalt utstrålende antennekabel eller radierende koaksialkabel). Strålekabelsegmenter skal mates med Nødnett- og kringkastingssignaler fra hver ende, og hver enhet i Nødnett-/kringkastingsanlegget som forsyner et strålekabelsegment skal være i stand til å mate hele segmentet alene. Tekniske data for stråle-kabler og koaksial matekabler skal spesifiseres for hver enkelt tunnel.

4.3.3.2 Nødkommunikasjon

Vegmyndighet skal levere nødvendig infrastruktur for å implementere Nødnett og transportere Nødnettets signaler i tunnelen. Som infrastruktur regnes (men er ikke begrenset til) plass i tekniske rom, antennemaster, strålekabler, koaksiale matekabler, optiske fiberkabler, klimaanlegg i tekniske rom, punkt for tilfredsstillende jordingstilkobling.

4.3.3.3 Kringkasting

Vegmyndighet skal etablere og drive kringkastingsanlegg som videreformidler radiokringkasting fra det fri inn i tunnel.

For DAB skal de DAB-blokkene som har dekning utenfor tunnelen distribueres i tunnelen. Hvis det ikke er dekning for DAB-blokken Regional utenfor tunnelen, skal det vurderes særlige tiltak for å distribuere denne blokken i tunnelen.

Vegtrafikksentralen skal kunne bryte samtidig inn i samtlige radioprogram som distribueres i tunnel, for å gi melding til trafikantene.

4.3.3.4 Antennemaster

Plassering og høyde av antennemast(er) for Nødnett og kringkasting skal spesielt vurderes i forhold til tunnelmunninger og basestasjoner i det fri.

Ved prosjektering av antennemaster skal mobiloperatørens behov for plass i antennemasten tas med i vurderingen.

4.3.3.5 Mobiltelefoni

Mobiltelefoni er en kommersiell tjeneste, og inngår ikke i sikkerhetsutrustningen i tunnel.

Nettoperatør for mobiltelefon har ansvaret for å planlegge, etablere og drifte eget mobiltelefonutstyr i vegtunneler.

Vegmyndighet har ansvar for å levere infrastruktur for mobiltelefoni.

Nettoperatør skal gis tilgang til de tegninger og planskisser som er nødvendig for sin planlegging av behov for utstyrs plass og øvrig infrastruktur.

Ved etablering av mobiltelefoni i tunnel skal nettoperatørens byggeplaner godkjennes av tunnel-eier før nettoperatørene iverksetter sin utbygging i tunnelen.

4.3.4 Sikkerhetsmessig oppgradering av eksisterende tunneler

Ved sikkerhetsmessig oppgradering av eksisterende tunneler, skal de deler som oppgraderes –med unntak av nødstasjoner - følge de samme krav som gjelder for sikkerhetsutrustning i henhold til tabell 4.1 for nye tunneler. Ved sikkerhetsmessig oppgradering av eksisterende tunneler skal avstanden mellom nødstasjoner ikke overstige 250 m.

4.4 Brannsikring

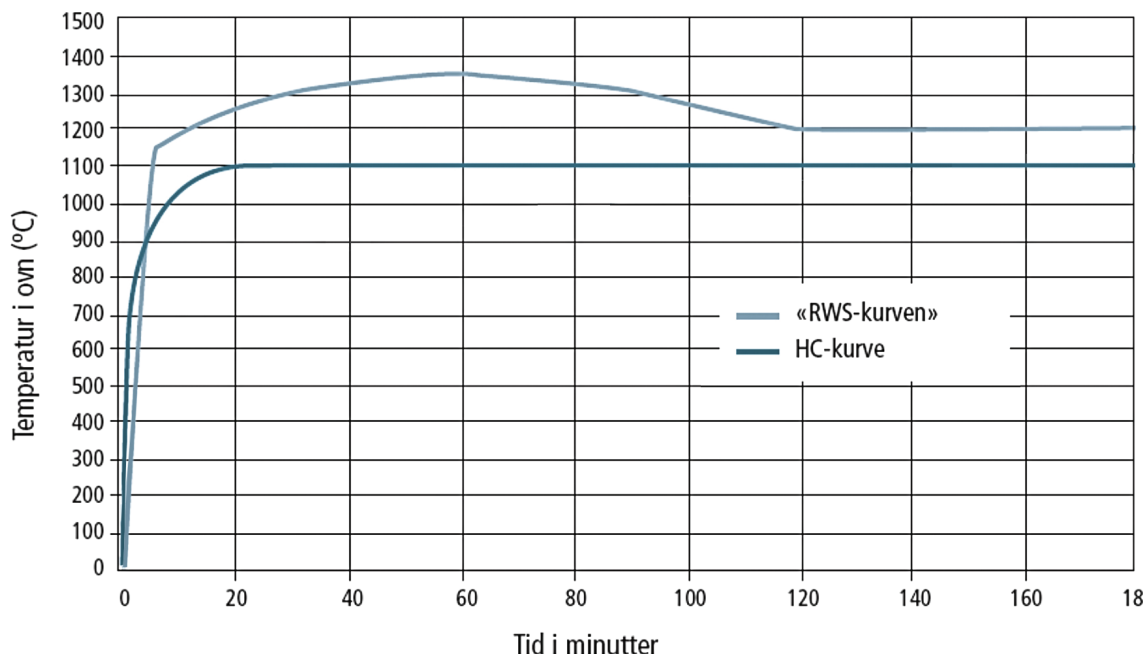
4.4.1 Krav til brannmotstand for konstruksjoner

Dimensjonerende brann og krav til konstruksjoners brannmotstand er vist i tabell 4.3 og figur 4.7. Kravene gjelder løsmassetunneler, lokk-konstruksjoner, senketunneler og rørbruer, og vann- og frostsikringskonstruksjoner i bergtunneler.

Brannbeskyttelse av spesielle konstruksjoner, eller deler av konstruksjoner, der konsekvensene av en brann kan være vannfylling og tap av konstruksjonen (for eksempel betongtunneler direkte under bygninger, senketunneler og rørbruer), se håndbok N400 [11].

Tabell 4.3 Dimensjonerende brann. Krav i henhold til standard tid- temperaturkurver (figur 4.7)

Tunnelklasse	Dimensjonerende branneffekt	Eksponeringskurve	Tid (minutter)
A, B, C	50 MW	HC	60
D	100 MW	HC	60
E	50 MW	HC	60
F	100 MW	HC	60



Figur 4.7 Standard tid-temperaturkurver som benyttes ved branndimensjonering.

- RWS-kurven [22]
- Hydrocarbon- (HC-) kurven definert i ISO 834-3 [23] og NS-EN 1363-2 [24].

For vann- og frostsikringskonstruksjoner (se kapittel 7) skal følgende funksjonskrav være tilfredsstillt:

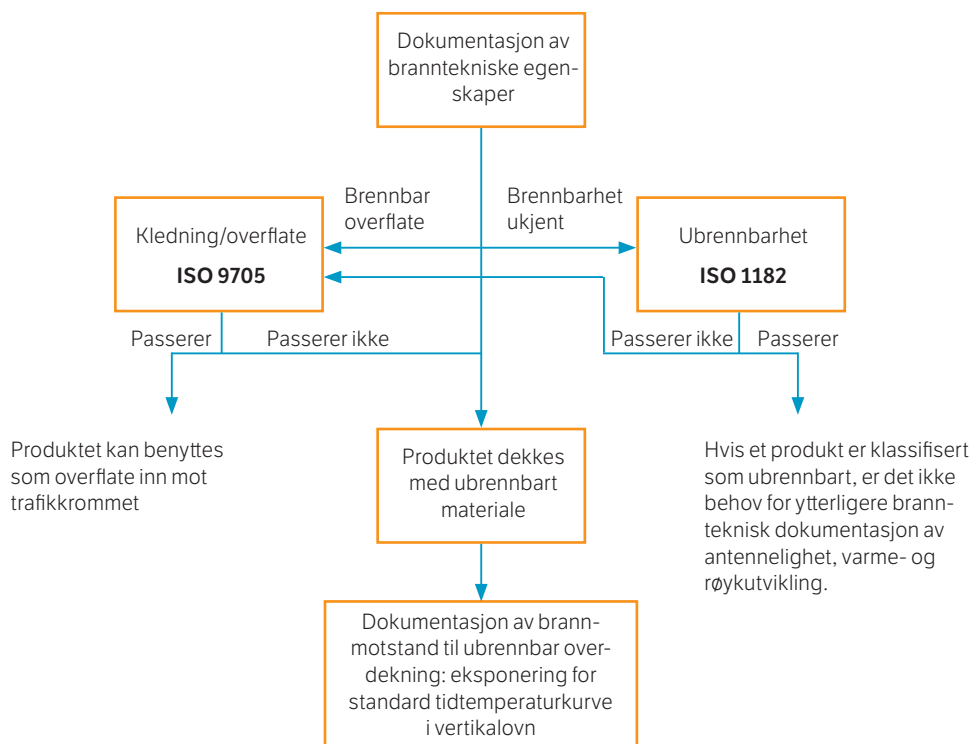
- Vann- og frostsikringskonstruksjonen skal ikke bidra aktivt i en bilbrann, ikke spre en slik brann, og brannen skal ikke vedvare etter at bilbrannen har opphørt
- Konstruksjonen skal ikke bidra til vesentlig ekstra røykutvikling eller giftige gasser
- For vanlige konstruksjonsmaterialer er giftigheten av disse kontrollert gjennom oppfyllelse av akseptkriterier i tabell 4.4.

Framgangsmåten for testing for å sikre at de generelle funksjonskravene oppnås, er gitt i 4.4.2.

For brannventilasjon som skal fungere i en brannsituasjon, se kapittel 9. For kabler som skal fungere i en brannsituasjon, se håndbok N601 [12].

4.4.2 Brannteknisk dokumentasjon og prosedyre for testing

Branntekniske egenskaper for nye produkter til vann- og frostsikring skal testes i henhold til følgende beskrivelser og prosedyrer (skissert i figur 4.8):



Figur 4.8 Diagram for dokumentasjon av branntekniske egenskaper for konstruksjoner benyttet i tunneler (NS-EN ISO 1182 [25], ISO 9705 [26])

(a) Test av brennbarhet

Dersom det er usikkert om materialet er brennbart eller ikke, skal materialet testes for ubrennbarhet i henhold til NS-EN ISO 1182 [25].

Hvis produktet her blir klassifisert som ubrennbart, er det ikke behov for ytterligere brannteknisk dokumentasjon av antennelighet, varme- og røykutvikling.

For videre testing, skal produktet testes i henhold til (b).

(b) Test av konstruksjoner med (mulig) brennbar overflate mot trafikkkrommet

Testing og dokumentasjon skal gjennomføres i henhold til ISO 9705 [26]. Akseptkriterier for bruk i veg-tunneler er gitt i tabell 4.4.

Overflater inkluderer overflatebehandling. Ved testing av overflatebehandling skal den påføres i den tykkelse og på det underlaget produktet skal dokumenteres for.

Tabell 4.4 Akseptkriterier for de enkelte tunnelklasser ved testing i henhold til ISO 9705 [26]

Kriterier for resultater fra brannprøving	Tunnelklasser					
	A	B	C	D	E	F
Tid til overtenning [minutter]	20	20	20	20	20	20
Gjennomsnittlig maksimal varmeavgivelse over en 30 sekunders periode [kW]	500	500	300	300	300	300
Gjennomsnittlig varmeavgivelse (fra produktet) [kW]	100	100	50	50	50	50
Gjennomsnittlig maksimal røykproduksjon over en 60 sekunders periode [m ² /s]	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3
Gjennomsnittlig røykproduksjon [m ² /s]	1,4	1,4	0,7	0,7	0,7	0,7

Dersom et produkt ikke klarer akseptkriteriene, skal materialet brannbeskyttes og testes iht. (c).

(c) Dokumentasjon av brannbeskyttelse på brennbare produkter

Brannmotstand for overdekning av brennbare produkter skal testes i vertikalovn med eksponering for standard tid-temperaturkurve, jf. figur 4.7. Akseptkriterier for bruk i vegtunneler er gitt i tabell 4.4.

Prøvestykket skal bestå av både beskyttelse og isolasjon (brennbar materiale). I tillegg til temperaturmålinger på ueksponert side, skal temperatur måles i sjiktet mellom ubrennbar beskyttelse og brennbar materiale. Akseptkriteriene bestemmes ut fra målingene i dette sjiktet. Det er ingen spesielle krav til ueksponert side, hvis den skal anbringes mot berg.

Gjennomsnittstemperatur mot brennbar materiale skal ikke overstige 250 °C etter 60 minutters prøving. Det skal ikke oppstå vedvarende flammer i brennbar materiale.

Brannmotstand for skjøteforbindelser og eventuelle oppheng av konstruksjoner bør vurderes. Dette for å kunne avdekke eventuelle svakheter som kan være vesentlig for de branntekniske egenskapene, og som ikke lar seg prøve brannteknisk i vertikalovnen.

4.4.3 Sikring av brennbare materialer

Kravene gjelder for bygging av nye tunneler og ved rehabilitering av eksisterende tunneler.

Ved bruk av brennbare isolasjonsmaterialer (se 7.4.1) skal betong; sprøytebetong, prefabrikkerte betongelementer eller støpt betong, benyttes som brannbeskyttelse.

Brennbar isolasjon skal tilfredsstillende kriteriene til antenelighet for euroklasse D, samt d0, ved prøving i henhold til NS-EN ISO 11925-2 [27]. Akseptkriterier er angitt i NS-EN 13501-1 [28]. For laminerte plater gjelder dette alle lag.

Overlapper, endetetting og planskjøter (PE-, polyetylen-skum) skal ha spesifisert tykkelse av betong på alle punkt.

Strekninger med brannsikret brennbar materiale skal seksjoneres til berg eller brannsikker konstruksjon ca. hver 250 m. Avstanden kan tilpasses slik at seksjoneringen utføres på mest hensiktsmessig plass. Brannseksjonert felt bør merkes med skilt på vegg i trafikkrommet.

Tekniske bygg og nødutganger skal brannsikres og skal prosjekteres for hver enkelt tunnel.

Tverrforbindelser i tunneler bør bygges med kulvert og brannvegg.

5 Skilt og signaler

5.1 Generelt

Krav til skilt og signaler er gitt i håndbok N300 Trafikkskilt [8] og håndbok N303 Trafikksignalanlegg [10].

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 byggtekniske forhold.

5.2 Trafikkskilt for tunneler

5.2.1 Trafikkskilt utenfor tunnel

Av trafiksikkerhetshensyn skal skilting nær tunnelåpningen reduseres til et minimum. Skiltingen vurderes for hver enkelt tunnel.

Skilt og signaler som er knyttet til tunnel og som vanligvis plasseres nær tunnelinngangen, bør plasseres ved siste snumulighet eller vegkryss før tunnelen.

Håndbok N300 [8] gir krav om minimumsavstander mellom skilt, bestemmelser om skilt som kan plasseres på samme stolpe/mast og maksimalt antall skilt per stolpe.

Bommer skal ha påmontert skilt 908 Hindermarkering, i fargene rødt og gult. For signal på bom, se håndbok N303 [10].

Nødtelefon og brannslukkere utenfor tunnelåpning (jf. kapittel 4) varsles med skilt [8].

5.2.2 Trafikkskilt i tunnel

Alle skilt i tunnel skal være godt synlige. Dette oppnås med belysning eller fullgrafiske skilt. Fri høyde under sideplasserte skilt skal være minimum 2,0 m over skulder. I tunneler der vegtrafikksentral kan bryte inn med melding til trafikantene skal serviceskilt 601 Lytt til radio settes opp. Skiltet skal gjentas for hver 500 m.

Serviceskiltene 605 Nødtelefon og 606 Brannslukningsapparat skal være tosidig eller det settes opp ett skilt for hver kjøreretning. Snunisjer i tunnel skal merkes med 2-posisjonsskilt, se håndbok V321 Variable trafikkskilt [29]. Der disse skiltene suppleres med rødt stoppblinksignal (signal 1094 [10]), skal det fattes vedtak for signalene av Vegdirektoratet. Overhengende skilts virkning på ventilasjonsanlegg og belysning skal vurderes spesielt.

5.3 Trafikksignalanlegg for tunneler

Tunneler skal være utstyrt med signal 1094 Rødt stoppblinksignal (håndbok N303 [10]) foran tunnelåpningene.

Signal 1094 skal ha to horisontalt plasserte røde lyshoder, plassert på sort bakgrunnsskjerm. Signalene bør utstyres med underskilt 808 [10]. Det skal ikke plasseres andre skilt på stolpen for rødt stoppblinksignal.

Signal 1098 Gult varselblinksignal skal brukes i forbindelse med skilt 601 i tunnel.

6 Arbeider foran stuff og stabilitetssikring

6.1 Etablering av forskjæring og påhugg

Det skal utarbeides en egen sprengnings- og sikringsplan for å sikre god kontur og stabilitet.

Der det sprenges to tunnellopp, skal minste avstand mellom sprengningsprofilene være 10 m. I områdene nær påhuggene, hvor avstanden mellom løpene reduseres, skal stabilitetsforhold og omfang av forskjæringsarbeidene vurderes spesielt. Se håndbok V520 Tunnelveiledning [4].

6.2 Arbeider foran stuff

6.2.1 Sonderboring

Sonderboring skal benyttes der det er behov for å skaffe opplysninger om bergkvalitet og vannlekkasjer foran stuff. Sonderboring utføres som slagboring eller kjerneboring.

Det skal gjennomføres systematisk sonderboring:

- I undersjøiske tunneler under kote 0 (sålenivå)
- I områder med definerte krav til innlekkasje for å unngå uønsket grunnvannssenkning eller drenering
- Der forundersøkelsene indikerer svakhetssoner og dårlig bergmassekvalitet generelt
- Ved liten og usikker bergoverdekning.

Start sonderboring vurderes spesielt, og skal starte minimum 25 m før kritisk område.

Sonderborhull i undersjøiske tunneler skal også bores over tunnelheng.

Sonderboring skal utføres med Measurement while drilling (MWD) og boreparametertolkning. Program for boreparametertolkning skal kalibreres for hver enkelt tunnelrigg og for representativ bergmasse på stedet.

6.2.2 Forinjeksjon

Forinjeksjon skal benyttes for å:

- Hindre uønsket reduksjon av poretrykk i løsmasser og skadelige setninger
- Hindre grunnvannssenkning og skader på ytre miljø
- Ha kontroll på vannlekkasje inn i tunnelen.

Det skal benyttes sementbaserte injeksjonsmidler.

6.3 Stabilitetssikring

6.3.1 Generelt

Sikringsklasser, med sikringsomfang og sikringsmetoder, skal bestemmes fra tabell 6.1 ved hjelp av bergmasseklasser i henhold til Q-metoden.

Der to tunnellopp drives parallelt, bør fremdriften mellom stuffene være minimum 50 m. Dette sikrer at erfaringene fra ett tunnellopp kan nyttiggjøres i det andre, og at injeksjonsarbeider på en tunnelstuff ikke kommer i konflikt med arbeider på den andre.

Kontroll av utført permanent sikring skal utføres i henhold til Eurokode 7 [17] før tunnelen kles med vann- og frostsikring. Eventuell supplerende sikring skal utføres og dokumenteres.

6.3.2 Grunnlag for bestemmelse av permanent sikring – fastsettelse av sikringsklasse

Geologisk kartlegging skal utføres i hele tunnelens lengde og i hele tunnelprofilen. Bergart, strukturer, sprekkegeometri, bruddsoners orientering og bredde, og eventuell leire skal registreres. Spenningsforhold og vannlekkasjer skal vurderes og registreres.

Dokumentasjon av utført sikring, sammen med geologiske registreringer i tunnel, injeksjon, m.m. skal presenteres samlet (se kapittel 11).

Tabell 6.1 viser sammenhengen mellom bergmasseklasser og sikringsklasser.

Tabell 6.1 Sammenhengen mellom bergmasseklasser (Q-systemet) og sikringsklasser – permanent sikring

Bergmasse klasse	Bergforhold Q-verdi (sprengt berg)	Sikringsklasse Permanent sikring
A/B	Lite oppsprukket bergmasse. Midlere sprekkeavstand > 1m. Q = 100 – 10	Sikringsklasse I - Spredt bolting - Sprøytebetong B35 E700, tykkelse 80 mm
C	Moderat oppsprukket bergmasse. Midlere sprekkeavstand 0,3 – 1 m Q = 10 – 4	Sikringsklasse II - Sprøytebetong B35 E700, tykkelse 80 mm - Systematisk bolting c/c 2 m
D	Tett oppsprukket bergmasse eller lagdelt skifrig bergmasse. Midlere sprekkeavstand < 0,3 m. Q = 4 - 1	Sikringsklasse III - Sprøytebetong B35 E1000, tykkelse 100 mm - Systematisk bolting c/c 1,75 m
E	Svært dårlig bergmasse. Q = 1 - 0,2 ----- Q = 0,2 - 0,1	Sikringsklasse IV - Sprøytebetong B35 E1000, tykkelse 150 mm - Systematisk bolting, c/c 1,5 m ----- - Sprøytebetong B35 E1000, tykkelse 150 mm - Systematisk bolting, c/c 1,5 m - Armerte sprøytebetongbuer. Buedimensjon E30/6 \varnothing 20 mm, c/c buer 2–3 m, Buene boltes systematisk, c/c bolt = 1,5 m, boltelengde 3–4 m - Sålestøp vurderes
F	Ekstremt dårlig bergmasse. Q = 0,1 - 0,01	Sikringsklasse V - Sprøytebetong B35 E1000, tykkelse 150–250 mm - Systematisk bolting, c/c 1,0 – 1,5 m - Armerte sprøytebetongbuer Buedimensjon D60/6+4, \varnothing 20 mm, c/c buer 1,5– 2 m Buene boltes systematisk, c/c 1,0 m, boltelengde 3–6 m Doble buer kan erstattes med gitterbuer. - Armert sålestøp, pilhøyde min. 10 % av tunnelbredden
G	Eksepsjonelt dårlig bergmasse, stort sett løsmasse, Q < 0,01	Sikringsklasse VI - Driving og permanent sikring dimensjoneres spesielt

Kommentarer til tabell 6.1:

- Sikringsangivelse i tabellen gjelder utsprengt tunnelverrsnitt for T8,5 – T12,5. Bergsikring i andre tverrsnitt skal dimensjoneres spesielt.
- Salvelengden skal reduseres senest fra og med sikringsklasse IV.
- Det skal ved driving inn mot svakhetssoner og andre kritiske partier etableres en sikringsone foran sonen. Avstanden til sonen fra stuff bestemmes på grunnlag av tilgjengelig informasjon og grad av usikkerhet, minimum 8-10 m.
- Minimum tykkelse på sprøytebetong i saltvannssoner skal være 100 mm.
- I sikringsklasse I kan behovet for systematisk bruk av sprøytebetong vurderes. Sprøytebetong skal sprøytes ned til minimum kjørebanelnivå.
- For beskrivelse av stabilitetssikring, se håndbok V520 [4].

6.4 Krav til utstyr og beredskap ved driving av undersjøiske tunneler

For undersjøiske tunneler skal det utarbeides en egen prosedyre for beredskap på anlegget for å kunne håndtere rasutvikling, vanninnbrudd og for raskt å kunne foreta injeksjon.

7 Vann- og frostsikring i tunnel

7.1 Generelt

Vegtunneler skal sikres mot vann og is. Det skal ikke være lekkasjevann eller isdannelse i trafikkrommet, i nødutganger, i nisjer til tekniske bygg eller i ventilasjonssjakter. Lekkasje i vegger og heng skal samles opp ved at det monteres en vanntett avskjerming som fører vannet ned til grøft og frostfritt ut av tunnelen via drencsystemet. Over gitte frostmengder skal avskjermingen/ hvelvet isoleres.

Vann- og frostsikringskonstruksjoner skal være godkjent av Vegdirektoratet. Det gjelder også modifikasjoner av allerede godkjente konstruksjoner.

Seksjoner med vann- og frostsikring skal endettes mot tunnelvegg og andre konstruksjoner i tunnelen.

Konstruksjonen skal bygges opp slik at kuldebroer unngås.

For frostsikring av drencsystem/grøfter og vegoverbygning, se kapittel 8.

For brannsikring av brennbar isolasjon vises til kap. 4.4.

7.2 Frostmengde og frostinntrengning

Frostmengde og årsmiddeltemperatur for landets kommuner finnes fra tabeller og webbaserte kart gitt i håndbok N200 Vegbygging [7]; vedlegg 1.

Frostisolasjonen for vann- og frostsikringshvelv skal dimensjoneres etter F_{10} (h°C).

Frostmengden F_{10} (h°C) på stedet (ved tunnelåpningene) kan legges til grunn der målinger er dokumentert.

Alle tunneler med lengde inntil 500 m skal dimensjoneres for frostmengden ute på grunn av usikkerheten knyttet til frostinntrengning.

For tunneler med lengde > 500 m skal frostinntrengningen vurderes i hvert enkelt tilfelle.

I de tilfeller hvor det kan dokumenteres lavere frostmengde innover i tunnelen på grunnlag av målinger eller en vurdering av lokale forhold, kombinert med erfaringer fra tunneler med tilsvarende tunnelgeometri, kan frostmengden i tunnelen legges til grunn, F_{10T} (h°C). Se håndbok V520 Tunnelveiledning [4].

7.3 Konstruksjonstyper

Vanntett avskjerming skal utføres med aktuelle vann- og frostsikringskonstruksjoner som vist i tabell 7.1.

Tabell 7.1 Vann- og frostsikringsmetoder og bruksområder

Vann- og frostsikring	Frostmengder ⁽¹⁾ (kap.7.2)	Tunnelklasser						Føringskant	Membran Type I, II, III	PE-skum	Frost-isolasjon XPS
		A	B	C ⁽⁴⁾	D	E	F				
Hvelv av sprøytebetong ⁽²⁾	$F_{10} < 8\,000\text{ h}^\circ\text{C}$	X	X	X				X	III	(X)	-
	$F_{10} \geq 8\,000\text{ h}^\circ\text{C}$	X	X	X				X	-	X	-
Hvelv av betongelementer ⁽³⁾	$F_{10} < 8\,000\text{ h}^\circ\text{C}$			(X)	X	X	X	-	I, III	-	-
	$F_{10} \geq 8\,000\text{ h}^\circ\text{C}$			(X)	X	X	X	-	I, III	-	X
Kontaktstøpt vann-/frostsikrings-hvelv med membran	Alle F_{10}			(X)	(X)	(X)	(X)	-	II	-	-
Tunnelportal		X	X	X	X	X	X	-	I		-

X Skal benyttes som hovedløsning. Se kap. 7.4.1-7.4.7 for detaljer.

(X) Alternativ, prosjektspesifikk løsning.

(1) Ved frostmengde $F_{10} \geq 8\,000\text{ h}^\circ\text{C}$ skal hvelvet frostisoleres.

Ved $F_{10} < 8\,000\text{ h}^\circ\text{C}$ kan hvelvet utføres uisolert.

(2) Sprøytebetong i heng og vegger, med føringskant av betong. Sprøytebetong i heng, kombinert med veggelementer av betong kan benyttes i tunnelklasse D, E og F.

Sprøytebetong i heng kombinert med veggelementer av betong i profilutvidelser; f.eks. havarinisjer.

(3) Betongelementer: helhvelv, eller veggelementer kombinert med sprøytebetong i heng.

(4) For tunneler i tunnelklasse C skal det i innkjøringssonene benyttes løsninger som inkluderer veggelementer av betong. Veggelementene skal minst benyttes til og med halve lengden av overgangssone for belysning. I øvrige del av tunnelen skal det benyttes føringskant av betong. Over føringskant og veggelementer benyttes hvelv av sprøytebetong.

7.4 Konstruksjonsdetaljer

7.4.1 Frostisolasjon

Frostisolasjonsmaterialene skal som minimum oppfylle krav i tabell 7.2.

Tabell 7.2 Krav til isolasjonsmaterialer (for tykkelse 50 mm):

Materiale ⁽¹⁾	Dimensjonerende varmeledningstall	Densitet	Vannabsorpsjon ved diffusjon	Bruksområde tunnel
XPS	$\leq 0,039\text{ W/mK}$		$< 3\text{ vol\%}$ iht. [30]	Bak betongelementer
PE-skum	$\leq 0,043\text{ W/mK}$	$30 \pm 2\text{ kg/m}^3$		Kombinert vann-/ frostsikring, festet i bolter

(1) XPS: ekstrudert polystyren. PE: polyetylen.

Dimensjonerende varmeledningstall, λ , for XPS skal fastsettes i henhold til NS-EN ISO 10456 [31] og test med bruksområde tilsvarende «Horisontalt i grunnen utendørs, drenert». λ -verdi for fuktig materiale benyttes til praktisk dimensjonering. Korttids trykkfasthet for XPS skal være $\geq 200\text{ kPa}$.

PE-skum skal ha minste tykkelse 45 mm. PE-platene skal være kryssbundet, med minimum 3 lag, og ha drens spor for vannavrenning.

Minimumstykkelser for frostisolasjon ved ulike frostmengder er vist i tabell 7.3.

Tabell 7.3 Minimum tykkelser for frostisolasjon av XPS og PE-skum ved ulike frostmengder

Frostmengde, F_{10T} (h°C)	XPS (mm) minimum tykkelse	PE-skum (mm) minimum tykkelse
< 8 000	-	-
8 000 – 10 000	50	45
10 000 – 15 000	50	50
15 000 – 20 000	50	60
20 000 – 25 000	60	70
25 000 – 30 000	60	80
> 30 000	70	90

Frostisolasjon med bruk av helhvelv av lettbetongelementer kan alternativt benyttes ved $F_{10T} \leq 20\,000$ h°C.

Termisk dimensjonering av lettbetonghvelv skal følge tabell 7.4. I tillegg skal hvelvet monteres med membran, og punktlekkasjer ($\geq 0,3$ l/min.) skal avskjermes og føres ned til sålen med isolasjon der frostmengden er $F_{10T} \geq 10\,000$ h°C.

Tabell 7.4 Data for termisk dimensjonering av lettbetongelementer

Frostmengde, F_{10T} (h°C)	Min. tykkelse (mm)	varmekonduktivitet λ W/(m·K)
$\leq 10\,000$	150	$\leq 0,6$
$\leq 15\,000$	200	$\leq 0,6$
$\leq 20\,000$	250	$\leq 0,6$

7.4.2 Membraner

7.4.2.1 Plastmembraner

Det skal benyttes en heldekkende membran med sveiste skjøter.

Bruksområde for membran type I, II og III er vist i tabell 7.1. Membraner skal være av type GBR-P (polymeric geosynthetic barrier) iht. NS-EN 13491 Geosyntetiske membraner [32], og skal oppfylle krav til egenskaper gitt i tabell 7.5.

Produktene skal være dokumentert fra akkreditert prøvingslaboratorium.

For produksikring skal en prøve arkiveres for eventuell testing mot stikkprøver av senere leveranser. Testene skal utføres av uavhengige laboratorier.

Dersom membran av PVC blir liggende mot / i kontakt med annen type plast (for eksempel XPS) skal det monteres en migrasjonssperre (fiberduk).

Utførelse

Alle gjennomføringer skal være vanntette. Tetthet skal dokumenteres for 1 m vanntrykk i 24 timer for aktuelle gjennomføringer. Pakninger skal være av bestandig materiale med levetid som konstruksjonen for øvrig. Metode og utførelse skal være dokumentert.

Tabell 7.5 Minimumskrav til plastmembraner. Testmetoder iht. NS-EN 13491 [32], GBR-P, uarmert eller armert.

Egenskap *	Type I	Type II	Type III	Merknader
Tykkelse	≥ 1,0 mm	≥ 2,0 mm	≥ 1,5 mm	
Strekkestyrke	≥ 18 N/mm ²	≥ 18 N/mm ²	≥ 30 N/mm ²	
			≥ 1 000 N/50 mm	Armert
Elongasjon	> 200 %	> 200 %	> 200 %	
			≥ 15 %	Armert
Punkteringsmotstand	> 1,0 kN	> 2,0 kN	> 3,0 kN	
Rivestyrke	> 90 N	≥ 120 N	≥ 200 N	
Kuldemykhet	- 25 °C	- 25 °C	- 25 °C	
Brannpåvirkning	E	E	E	Klasse E iht. NS-EN 13501-1
* Iht. NS-EN 13491 (2018): tabell 4.3. I tillegg testes følgende egenskaper: Permeabilitet, Thermal expansion, Weathering, Mikroorganismer, Oksidering, og hvis brukt på portal eller betongtunnel: Rotmotstand. Testverdier skal dokumenteres.				

Sveising av membranen skal utføres med varmsveising. Sveiset skjøt skal oppfylle følgende:

Skjærbrudd (NS-EN 12317-2 [33]): > 500 N/50 mm.

Skrellbrudd (NS-EN 12316-2 [34]): > 100 N/50 mm.

Skjøter mellom membran i tunnel og membran på portal skal være vanntette. Dette kan oppnås ved at membran i tunnel videreføres over tunnelportal.

Membraner til betongutstøpning (type II) skal seksjoneres og være utstyrt med varslingsmekanisme som viser skader og rifter, for eksempel membran med et signalsjikt. For betongutstøpning under vanntrykk skal type membran, krav til tykkelse mv. vurderes spesielt.

7.4.2.2 Asfaltmembraner

Asfaltmembraner kan benyttes som vannsikring på betongtunneler og tunnelportaler.

Der asfaltmembran benyttes på tunnelportal, skal membranen skjøtes mot membran i tunnel ved bruk av en overgangsfolie som er dokumentert å tåle begge materialene. Skjøter skal være vanntette.

7.4.3 Forankringsbolter og festedetaljer for vann- og frostsikring

Forankringsbolter skal ha sikker forankring i berg. Innboringslengde i berg og forankringslengde skal være i henhold til opptredende laster og øvrige forutsetninger.

Forankringsbolter og tilpassede festedetaljer skal være enten i rustfritt stål, eller korrosjonsbeskyttet stål. Rustfritt stål i henhold til NS-EN 10088 [35], skal være av kvalitet 1.4401 eller 1.4404. Korrosjonsbeskyttelse skal utføres med varmforsinking og pulverlakkering, med tykkelser spesifisert i tabell 7.6.

I saltvannsonen i undersjøiske tunneler skal forankringsbolter og festedetaljer beskyttes spesielt. Dette utføres ved: enten 1) Bruk av rustfritt stål av type 1.4462 [35], eller 2) Boltedimensjon minimum 20 mm, kombinert med to lag pulverlakk (midlere tykkelse 150 µm, lokal tykkelse 120 µm, enkeltmåling 100 µm), og sinkbelegg iht. tabell 7.6.

Varmforsinking av bolter og ståldeler skal utføres og dokumenteres i henhold til NS-EN ISO 1461 [36]. Pulverlakkering av bolter og ståldeler skal utføres og dokumenteres i henhold til NS-EN 13438 [37]. Krav til prøveomfang og antall målinger av lakktykkelse skal være i henhold til [35]. En enkeltmåling er ett målepunkt, lokal tykkelse er gjennomsnitt av minst 5 enkeltmålinger og midlere tykkelse er gjennomsnitt av de lokale tykkelsene.

Tabell 7.6 Tykkelse på sinkbelegg og pulverlakkering for bolter og festedetaljer

Sinkbelegg	
Bolter med diameter 16 mm, samt festedetaljer:	Midlere tykkelse min. 55 µm
	Lokal tykkelse min. 45 µm
Bolter med diameter ≥ 20 mm:	Midlere tykkelse min. 85 µm
	Lokal tykkelse min. 70 µm
Pulverlakkering	
Bolter med diameter 16 mm:	Midlere tykkelse min. 55 µm
	Lokal tykkelse min. 45 µm
	Enkeltmåling min. 20 µm
Bolter med diameter ≥ 20 mm, samt festedetaljer:	Midlere tykkelse min. 70 µm
	Lokal tykkelse min. 60 µm
	Enkeltmåling min. 25 µm

Skader i belegget på bolter og festemateriell skal repareres, med mindre de blir omhyllt av sementmørtel. Skader repareres med to-komponent epoksymaling i henhold til lakkprodusentens prosedyrer. Skader inkluderer blant annet kuttflater på avkappede bolter, hengemerker fra pulverlakkering, nålestikk i pulverlakken og nupper/askerester i sinkbelegget som penetrerer pulverlakken.

7.4.4 Hvelv av betongelementer

Veggelementer skal gis en høyde som tilsvarer 3,5 m over kjørebanelen.

Krav til konstruksjon, materialer og utførelse

- Blandeanlegg for produksjon av betongelementer skal være overvåket og sertifisert av et kontrollorgan i henhold til NS-EN 206 [38].
- Konstruksjonen som helhet skal ligge innenfor toleranser gitt i tabell 7.7. I tillegg gjelder toleranse for fugebredde og fugesprang. Elementstørrelse skal tilpasses horisontal og vertikal kurvatur.

Tabell 7.7 Toleranser for avvik i plassering

Type avvik	Tillatt avvik (mm)
Plassering horisontalt i forhold til en referanselinje (*)	± 25
Plassering vertikalt i forhold til en referanselinje	± 25
Fugebredde	+15, -12
Fugesprang begge sider	± 10

(*) Tillatt avvik er resultatet av totalt avvik for begge sider, slik at avstanden mellom elementene i taket ikke overstiger 25 mm.

- Det skal benyttes armeringsstoler av betong i samme betongkvalitet som elementene.
- Det skal benyttes formolje som ikke gir misfarging eller skjolder.
- Nødvendige herdetiltak skal gjennomføres for å unngå opprissing i tidlig fase.
- Det skal ikke benyttes herdemembran på forskaledede flater når avforming utføres etter at betongen er herdnet.
- Nominell fugebredde skal være 20 mm.
- Alle fuger skal være tette.
- Fugetetting med forsegling skal tilfredsstillende følgende krav:
 - Bestandig i forhold til normalt vedlikehold (høytrykksspyling)
 - Oppta bevegelser i fugen
- Der veggelementer brukes i kombinasjon med hvelv av sprøytebetong skal forsegling av veggelementfugene som er sammenfallende med dilatasjonsfuger, utføres etter at det meste av svinnet i sprøytebetonghvelvet er utviklet.

7.4.5 Kontaktstøpt vann- og frostsikringshvelv med membran

Hvelv med kontaktstøpt betong, membranisolert, montert over avrettet sprøytebetongunderlag. Hvelvet er aktuelt for alle tunnelklasser.

Se håndbok V520 Tunnelveiledning [4].

7.4.6 Hvelv av sprøytebetong

Hvelv av sprøytebetong skal utføres med nettarmering.

Minste boltediameter skal være 16 mm.

Hvelv av sprøytebetong skal monteres over føringskant av betong, eller i tak i kombinasjon med vegg-elementer av betong.

Hvelv av sprøytebetong monteres uisolert med bruk av membran eller frostisolert med bruk av PE-skum. Se tabell 7.1.

Membran til hvelv av membran/sprøytebetong skal oppfylle krav til type III i henhold til tabell 7.5. Hvelv av membran skal være oppstrammet og alle boltegjennomføringer vanntettet før påføring av sprøytebetong. Membranen skal ha en overflate som sikrer vedheft mot sprøytebetongen.

Før sprøyting på PE-skum skal vanntetthet av horisontale og vertikale skjøter være sikret. Der PE-skumplater monteres uten overlapp, skal skjøten vannavskjermes spesielt. Eksempel er vist i håndbok V520 [4].

Nysprøytet betong skal beskyttes mot vesentlig uttørking, minimum de første fire døgn.

Utførelse

- Forankringslengde for bolter skal være minimum 500 mm i fast berg.
- Avstanden mellom nett og isolasjonsmateriale eller membran skal være minimum 20 mm. Normalt benyttes nominell overdekning 25 mm med toleranse ± 5 mm. Ved dimensjonering skal det tas hensyn til toleranse på plassering av armering i tverrsnittet.
- Nettarmeringen skal festes med egnede armeringsplugger for å unngå vibrasjoner under sprøyting og for å sikre overdekningen til armeringen. Armeringspluggene monteres med maksimal avstand 600 x 600 mm.
- Kraftoverføring mellom hvelv av sprøytebetong og bergbolt skal sikres ved å benytte kraftoverføringsdel i stål, som skal sprøytes inn med sprøytebetong. Delene, inklusive festemidler, skal korrosjonsbeskyttes i henhold til krav i kap. 7.4.3.

7.4.7 Føringskant av betong

Føringskant av betong skal bygges med frostbestandig betong.

Føringskant av betong skal ha høyde på minimum 0,9 m over skulder.

7.5 Dokumentasjon av nye konstruksjoner

Den samlede dokumentasjon og erfaringsgrunnlag skal legges til grunn for endelig fastsettelse av dimensjonerende brukstid 50 år. Grunnlaget for vurderingen gjøres av søker, den skal følge søknaden og sannsynliggjøres gjennom dokumentasjon av:

- Materialvalg, opphengs- og innfestingsmetoder for konstruksjonen.
- Teoretiske beregninger og dokumentasjoner i henhold til gitte krav, laster og dimensjoneringsregler.
- Isolasjonsevne.
- Vanntetthet mot lekkasje.
- Brann tekniske egenskaper.
- Bestandighet i forhold til miljølaste.
- Utskiftning av delelementer.
- HMS-vurdering i forhold til produksjon og montering.
- Eventuell erfaring med tilsvarende løsninger under samme forhold og påkjenninger.
- Miljøforhold knyttet til utskiftning, avfallshåndtering etc.

Etter at dokumentasjonen for nye konstruksjoner/konstruksjonsløsninger er gjennomgått og funnet i orden, stilles det krav om fullskala prøvefelt i ca. 50 m lengde. Prøvefeltet skal stå i 1-3 år, før endelig evaluering og eventuell godkjenning kan gis. For modifiserte konstruksjoner kan kravet til prøvemontasje vurderes i det enkelte tilfellet.

7.6 Laster og dimensjonering

7.6.1 Generelt

Det skal utarbeides beregninger som viser at konstruksjonen oppfyller krav gitt i følgende dimensjoneringsregler og de aktuelle konstruksjonsstandardene.

Laster og grensetilstander mv. skal defineres i samsvar med NS-EN 1990 Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner [18] og NS-EN 1991 Laste på konstruksjoner [39]. Det skal i hvert tilfelle vurderes om det kan opptre andre laster eller om høyere karakteristiske verdier for angitte laster skal benyttes.

Der det i tillegg til beregninger er nødvendig med dokumentasjon ved testing i laboratorium, skal testene utføres ved uavhengig laboratorium.

Følgende laster skal alltid vurderes:

- Permanente laster
 - Egenlast
 - Egenlast i midlertidige faser (produksjon, transport og montasje)
 - Innhengt last
 - Jordtrykk
- Variable laster
 - Trykk/sug-laster fra trafikk
 - Generell variabel last
 - Temperaturendringer
 - Laste i midlertidige faser (produksjon, transport og montasje)
- Deformasjonslaste
 - Svinn og kryp
 - Setninger
- Ulykkeslaste
 - Fall-last
 - Påkjøringslast

Karakteristiske verdier av egenlast og laster i midlertidige faser som produksjon, transport og montasje skal bestemmes i henhold til NS-EN 1991-1 [39].

Innhengt last er laster fra kabelstiger, skilt og annet utstyr som skal henges opp i konstruksjonen. Lastens størrelse skal bestemmes i hvert enkelt tilfelle.

Temperaturrendringer vurderes basert på temperaturdata [39]. Effekter av temperaturgradient over tykkelsen av konstruksjonen skal vurderes.

Svinn og kryp skal beregnes i henhold til NS-EN 1992-1-1 [40]. Setninger av fundamenter skal vurderes i hvert enkelt tilfelle.

7.6.2 Dimensjonerende lastvirkninger

7.6.2.1 Kombinasjonsfaktorer

Kombinasjonsfaktorer etter NS-EN 1990 [18] er gitt i tabell 7.8.

Tabell 7.8 Kombinasjonsfaktorer etter NS-EN 1990 [18]; tabell NA.A2.1

Variabel last	Karakteristisk	Ofte forekommende	Tilnærmet permanent
	ψ_0	ψ_1	ψ_2 ¹⁾
Trykk/sug fra trafikk	0,7	0,7	0,2/0,5
Generell variabel last	0,7	0,6	0/0,5
Temperatur	0,7	0,6	0/0,5

1) Ved rissviddeberegning for Tilnærmet permanent benyttes verdien 0,5 for dominerende variabel last.

7.6.2.2 Bruddgrensetilstanden

Vedvarende og forbigående dimensjonerende situasjoner

Lastkombinasjoner etter NS-EN 1990 [18] er gitt i tabell 7.9.

Tabell 7.9 Dimensjonerende verdier for laster – STR (sett B), etter NS-EN 1990 [18] tabell NA.A2.4(B)

Tilfelle	Sett	Permanente laster		Dominerende variabel last	Øvrige variable laster
		Ugunstig	Gunstig		
STR	(Ligning 6.10.a)	$\Sigma \gamma_{G,sup} G_{k,sup}$	$\Sigma \gamma_{G,inf} G_{k,inf}$	$\Sigma \gamma_Q \psi_0 Q_k$	
	(Ligning 6.10.b)	$\xi \Sigma \gamma_{G,sup} G_{k,sup}$	$\Sigma \gamma_{G,inf} G_{k,inf}$	$\gamma_Q Q_k$	$\Sigma \gamma_Q \psi_0 Q_k$

sup/inf = øvre/nedre karakteristiske verdi.

$\gamma_{G,sup}$ = 1,35 for permanente laster generelt

1,0 for irreversible deformasjonslaster (differansesetning, svinn og kryp)

$\gamma_{G,inf}$ = 1,0 for permanente laster generelt

0,0 for irreversible deformasjonslaster (differansesetning, svinn og kryp)

ξ = 0,89

Permanente laster av samme opprinnelse (for eksempel egenvekt) som virker ugunstig ganges med $\gamma_{G,sup}$ og laster som virker gunstig ganges med $\gamma_{G,inf}$.

γ_Q = 0,0 hvis gunstig

γ_Q = 1,5 for trykk/sug fra trafikk

γ_Q = 1,5 for generell variabel last

γ_Q = 1,2 for temperaturlast

For geotekniske laster gjelder mest ugunstige av øvre/nedre karakteristiske verdier for materialdata. Materialfaktor for jord = 1,0. I tillegg skal Sett C etter NS-EN 1990 [18] tabell NA.A2.4(C) kontrolleres. For sett C gjelder materialfaktor for jord > 1,0.

Ulykkessituasjoner

Lastkombinasjoner etter NS-EN 1990 [18] er gitt i tabell 7.10.

Tabell 7.10 Lastkombinasjoner for ulykkesituasjoner etter NS-EN 1990 [18] tabell NA.A2.5.

Kombinasjon	Permanente laster		Dominerende ulykkeslast	Øvrige variable laster
	Ugunstig	Gunstig		
Ulykkesituasjon	$\Sigma G_{k,sup}$	$\Sigma G_{k,inf}$	A_d	$\Sigma \psi_2 Q_k$

sup/inf = øvre/nedre karakteristiske verdi. Variable laster tas med bare dersom de virker ugunstig.
For ulykkesituasjon regnes $\psi_2 = 0,0$ for trykk/sug fra trafikk.

Utmatting

For nye materialer der erfaringsgrunnlaget er lite for bruk i konstruksjoner for vann- og frostsikring i tunneler skal kapasiteten dokumenteres også ved forsøk.

Trykk/sug-laster fra trafikk for utmatting beregnes som angitt i 7.6.3. Dimensjonerende kjøretøyhastighet (V_b) settes ikke større enn 100 km/t.

7.6.2.3 Bruksgrensetilstanden

Lastkombinasjoner for bruksgrensetilstanden etter NS-EN 1990 [18] er gitt i tabell 7.11.

Tabell 7.11 Lastkombinasjoner for bruksgrensetilstanden etter NS-EN 1990 [18] tabell NA.A2.6

Kombinasjon	Bruksområde				
Karakteristisk	Kontroll av deformasjoner som kan medføre skade Kontroll av fugeforskyvninger				
Ofte forekommende	Kontroll av rissvidder Kontroll av typiske deformasjoner				
Tilnærmet permanent	Kontroll av rissvidder Kontroll av konstruksjonens varige deformasjoner				
Kombinasjon	Permanente laster		Variable laster Q_k		
	Ugunstig	Gunstig	Dominerende	Øvrige laster	
Karakteristisk	$\Sigma G_{k,sup}$	$\Sigma G_{k,inf}$	Q_k	$\Sigma \psi_0 Q_k$	
Ofte forekommende	$\Sigma G_{k,sup}$	$\Sigma G_{k,inf}$	$\psi_1 Q_k$	$\Sigma \psi_2 Q_k$	
Tilnærmet permanent	$\Sigma G_{k,sup}$	$\Sigma G_{k,inf}$	$\psi_2 Q_k$	$\Sigma \psi_2 Q_k$	

sup/inf = øvre/nedre karakteristiske verdi.
Variable laster tas med bare dersom de virker ugunstig.
For lastkombinasjon tilnærmet permanent for kontroll av rissvidder gjelder $\psi_2 = 0,5$ (dominerende) og $\psi_2 = 0,2/0,0$ (øvrige variable laster).

7.6.3 Variable laster

7.6.3.1 Trykk/sug-laster fra trafikk

Konstruksjonen skal dimensjoneres for ugunstigste tilfelle av trykk/sug-last som virker over hele tverrsnittet eller over den ene halvdel av tverrsnittet. Lastene regnes uniforme over 50 m av tunnelengden.

Karakteristiske verdier for trykk/sug-laster fra trafikk:

$$q = \mu \cdot \left(\frac{V_b}{3,6} + V_1 \right)^2 \cdot \frac{1}{1,6}$$

q = Trykk/sug [N/m^2]

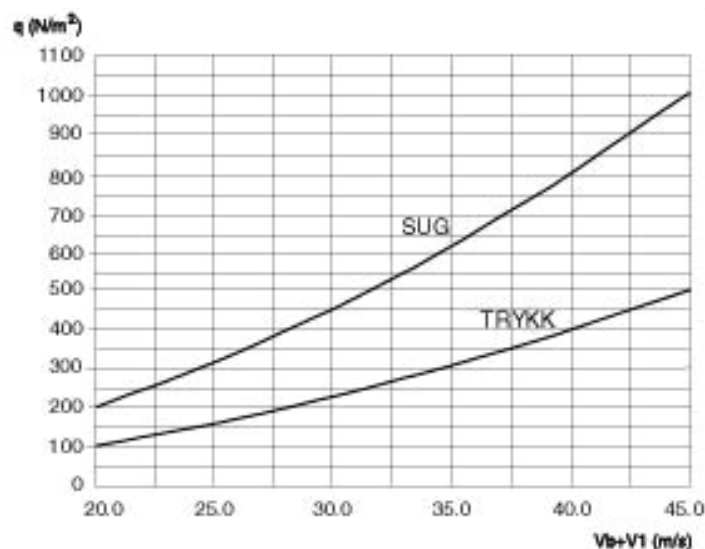
μ = Formfaktor, $\mu = -0,8$ (sug), $\mu = 0,4$ (trykk)

V_b = Dimensjonerende kjøretøyhastighet, [km/t], settes normalt til 20 km/t over skiltet hastighet. Hvis en vurdering av tunnelgeometri og lokale forhold tilsier at tunge kjøretøyer kan overskride skiltet hastighet med mer enn 20 km/t, skal dimensjonerende hastighet økes tilsvarende.

V_1 = Maksimalverdi for lufthastighet i tunnelen mot kjøretretningen, [m/s], som er summen av naturlig og mekanisk ventilasjon. Summen av naturlig og mekanisk ventilasjon skal alltid regnes som et tillegg til dimensjonerende kjøretøyhastighet, [m/s] og ikke settes mindre enn $V_1 = 2,0$ m/s.

Variasjon av trykk/sug som funksjon av total lufthastighet er vist i figur 7.1. Det skal ikke regnes med lavere verdier for karakteristiske trykk/sug-laster enn følgende:

Trykk: 200 N/m²
Sug: 400 N/m².



Figur 7.1 Variasjon av trykk/sug med total lufthastighet

7.6.3.2 Generell variabel last

Generell variabel last skal sikre tilstrekkelig kapasitet i konstruksjonen for å ivareta usikkerheter i variable laster. Karakteristiske verdier er gitt i tabell 7.12.

Tabell 7.12 Karakteristiske verdier for generell variabel last

Konstruksjonstype	Generell variabel last [kPa]
Hvelv av sprøytebetong	q_g
Hvelv og veggelementer av betong	3,0

q_g avhenger av areal A_b definert som areal av konstruksjonen som belaster den enkelte innfesting til berg:

$q_g = 0,0$ kPa for $A_b \leq 1,5$ m²

$q_g = 1,5$ kPa for $A_b \geq 4,0$ m².

For mellomliggende verdier interpoleres det lineært. Ved varierende areal A_b for forskjellige bergbolter for samme konstruksjon, benyttes ugunstigste verdi.

Generell variabel last skal regnes som jevnt fordelt på ugunstigste av horisontal og/eller vertikal projeksjon av konstruksjonen. Lasten skal påføres symmetrisk eller kun på den ene halvdelen av tverrsnittet (figur 7.2).

7.6.4 Ulykkeslast

7.6.4.1 Påkjøringslast

Konsekvensene for de enkelte deler av konstruksjonen som kan bli utsatt for påkjørsel og for hele konstruksjonen skal dokumenteres. Dokumentasjonen skal inneholde:

- En helhetsvurdering av konsekvenser og konstruksjonens virkemåte i ulykkesituasjonen. Her inngår også en vurdering av konsekvenser når deler av konstruksjonen bryter sammen.
- Konstruksjonselementer skal være sikret mot påkjøringslaster på en slik måte at de ikke faller ned i trafikkrommet ved påkjørsel i tunnelen. Dette gjelder også tilstøtende deler.
- Konstruksjonen skal virke som rekkverk.

Fester og fundamenter for hvelv og veggelementer av betong skal være dimensjonert og sikret slik at konstruksjonen ikke skyves inn ved påkjørsel før det er oppstått brudd i konstruksjonen. De deler som skades ved påkjørsel skal kunne skiftes ut enkeltvis uten demontering av hele konstruksjonen.

For veggelementer av betong gjelder i tillegg:

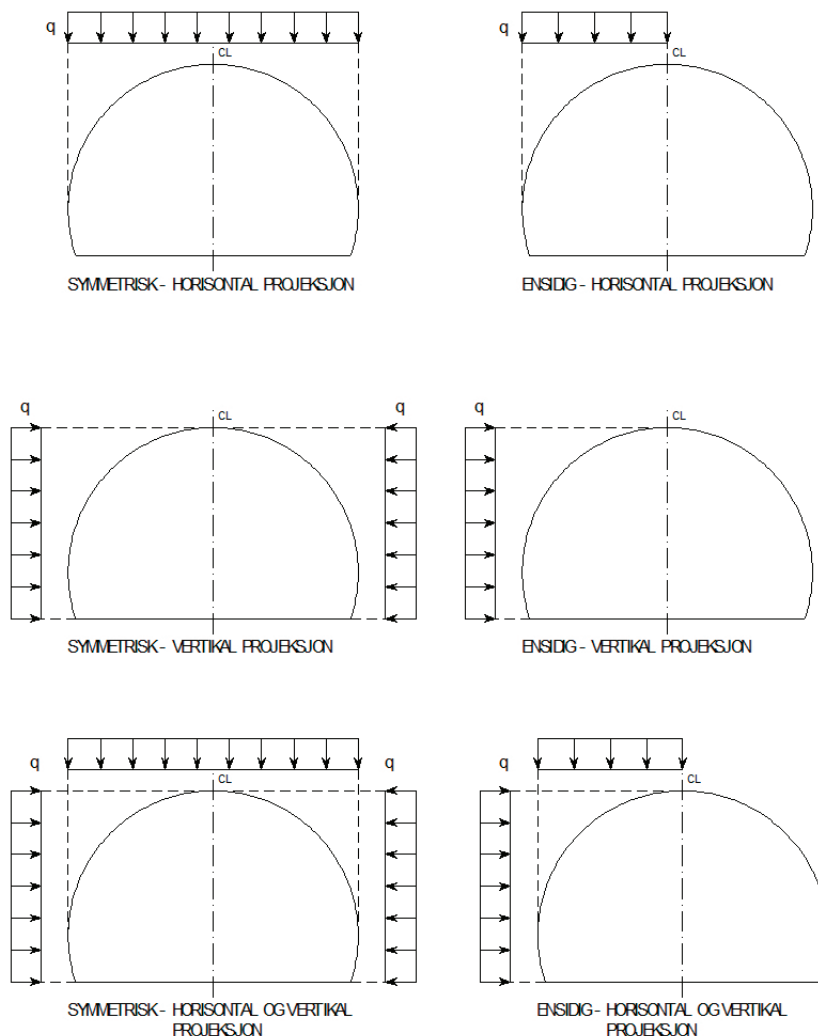
- Konstruksjonen dimensjoneres for en jevnt fordelt ulykkeslast med karakteristisk verdi $q_u = 5 \text{ kN/m}^2$. Lasten regnes som horisontallast på vertikalprojeksjonen av konstruksjonen opp til 3,5 m over kjørebanelivå og over inntil en elementlengde i tunnelens lengderetning.

Føringskanter av betong skal være sikret slik at de ikke skyves inn ved påkjørsel. Dette kan utføres med bakfylling eller annen egnet konstruktiv utforming.

7.6.4.2 Fall-last

Karakteristisk verdi for fall-last: $pr = 5,0 \text{ kN}$.

Lasten påføres som en statisk last over en flate på 100 mm x 100 mm med vilkårlig plassering. Kapasiteten mot fall-last kan også dokumenteres ved prøving.



Figur 7.2 Generell variabel last – lasttilfeller

8 Drenering, vegfundament og vegdekke

8.1. Drenssystem

8.1.1 Generelt

Vannlekkasjer i tunnel skal føres frostsikkert ut av tunnelen via drenssystemet. Lekkasjer i vegger og heng skal samles opp ved at det monteres en avskjerming som fører vannet ned til grøft (se kapittel 7). Vannlekkasjer i såle skal samles opp via et drenslag som plasseres over planum (avrettet traubunn), eller ved at de løssprengte massene fjernes og erstattes med drenerende masser (pukk/kult) opp til planumsnivå.

Det skal etableres et separat system for overvann. Oppsamling og rensing av vaskevann kan i enkelte tilfeller være aktuelt. Dette kan eksempelvis oppnås ved at det etableres et lukket system for oppsamling og rensing av vaskevann utenfor tunnelen.

Drenssystemet skal også ta hånd om grunnvann og overvann fra forskjæring og portalområde.

8.1.2 Vannmengder, ledningsdimensjoner og kummer

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. Hvilke områder som er tørre/våte er ofte avhengig av årstid, nedbørintensitet samt at lekkasjer flytter på seg.

Ved dimensjonering av drenssystem skal følgende forhold vurderes:

- Forventet lekkasje og 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 hjelpedrensløst i våte partier
- Frostsikring av drenssystemet, inklusive kummer.

Krav til minimum innvendig diameter for drensrør er gitt i tabell 8.1.

Tabell 8.1 Minimum innvendig diameter for drensrør

Drensrør type	Hovedgrøft	Hjelpegrøft
Drensrør av plast	150 mm	100 mm
Drensrør av betong	200 mm	150 mm

Det skal benyttes en egen overvannsledning, i tillegg til drensledningen, fra det sted i tunnelen der samlet lekkasje fører til at 50 % eller mer av drensledningens kapasitet er utnyttet. En egen overvannsledning bør bygges 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 overvannsledning.

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 10 ‰ bør kapasiteten økes med 100 %.

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

Drenssystemet skal som hovedregel 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.

8.2 Grøfter

8.2.1 Utforming og plassering

Teoretisk profil av grøft er vist i figur 3.1. Grøften bør plasseres i tilstrekkelig avstand fra tunnelveggen slik at fundamentering for vann- og frostsikringskonstruksjoner og sikringsstøp kan utføres utenfor grøft i sålenivå. I tilfeller med store lekkasjer kan det være hensiktsmessig å anlegge grøfter på hver side i tunnelen.

Teoretisk sprengningsprofil for grøftebunnen definerer underkant av ledningsfundamentet. Det skal legges så dypt at drensledningene effektivt kan samle opp vann fra sålen. Om sålerensk og etablering av planum, se kapittel 8.6.

I nedkant av lekkasjesoner skal det etableres en avskjæringsgrøft for at vannet i sålen ikke skal kunne spre seg til tørre partier. Ved frostmengde $F_{DimT} > 6\,000\text{ h}^\circ\text{C}$ (håndbok N200 [7]) bør hjelpedrensgrøfter etableres i hele lengden for å sikre at innlekkasjer som avskjermes med vann- og frostsikringskonstruksjonen ikke skal renne over sålen mot hovedgrøften.

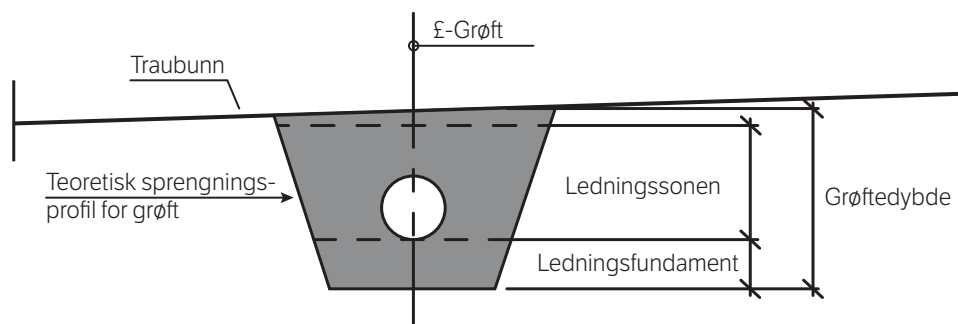
8.2.2 Fundament, omfylling og frostsikring for ledninger

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. Se figur 8.1.

Dersom frostmengden i tunnelen (F_{DimT} [7]) er større enn $6\,000\text{ h}^\circ\text{C}$ skal drenssystemet frostsikres med isolasjon eller tilstrekkelig dyp grøft. Krav til minimum grøftedybde uten frostisolasjon er gitt i tabell 8.2.

Tabell 8.2 Krav til minimum avstand fra topp ferdig veg til ledningsfundament uten frostisolasjon

Frostmengde i tunnel, F_{DimT} (h°C) [7]	Minimum avstand fra topp ferdig veg til underkant 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 Prinsippkisse, grøftedybde

Ved bruk av isolert vegfundament skal frostsikringen ivaretas 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.

8.2.3 Utforming av frostsikring

Til frostsikring av grøfter skal det fortrinnsvis benyttes skumglassgranulat eller lettklinker. Generelt om tekniske krav til skumglass/lettklinker, se håndbok N200 [7]. Generelt om komprimering av lettklinker og skumglass, se håndbok V221 [41].

I de tilfeller isolasjonsplater benyttes til frostsikring av grøfter skal det benyttes ekstrudert polystyren (XPS) med korttids trykkfasthet på minimum 500 kPa dokumentert i henhold til NS-EN ISO 826 [42]. Tykkelsen på isolasjonsplatene skal minimum være 50 mm. Ved isolasjon av grøftene skal isolasjonen legges dypest mulig i grøfta. Det skal settes krav til forsiktig komprimering av massene over platene slik at platene ikke overbelastes. Krav til materialer i kontakt med isolasjonsplater er gitt i håndbok N200 [7].

8.3 System for oppsamling av overvann, brannfarlige og giftige væsker samt vaskevann

8.3.1 Ledninger og sandfang

Ledninger for oppsamling skal ha innvendig diameter på minimum 150 mm.

På ledning for oppsamlingssystem skal det monteres sandfang med største avstand 80 m. Sandfangene plasseres fortrinnsvis midt mellom inspeksjonskummene på drensledningen. Av driftshensyn bør sandfang anlegges i eller ved havarinisjene.

Sandfangene skal ha tett bunn. Høyden fra bunn til underkant utløpsrør er gitt i håndbok N200 [7].

Sandfangene skal utstyres med dykker, utført i brannsikkert materiale. Dette fordi at eventuell lekkasje av antente brannfarlige væsker ikke spres til andre deler av tunnelrommet.

Nødvendig kapasitet og utforming for sluk og oppsamlingssystem skal avklares i plan- og prosjekteringsfasen. Utformingen og kapasitet skal også ta hensyn til dimensjonerende utslipp av brannfarlige og giftige væsker basert på den risikoanalyse som skal utføres knyttet til transport av farlig gods, jf. kap. 4.1.2.

8.3.2 Sluk

I tunneler med kantstein skal det monteres sluk for å lede overvannet og vaskevannet til sandfangene. Det skal benyttes en sluktype som integreres i skulder/kantstein og som tar hensyn til plassbehovet for trekkerør mv. som legges forbi sluket. Sluktypen skal være enkel å åpne og vedlikeholde for å sikre åpent nedløp.

Sluk i lavbrekk skal dimensjoneres spesielt.

8.3.3 Håndtering av tunnelvaskevann og slam

Generelt skal tunnelen spyles/vaskes så ofte at det ikke kreves spesielle tiltak for å samle opp vannet utenfor tunnelen. Forurensningsloven er gjeldende for driftsvann, drensvann og vaskevann dersom utslippene er, eller kan være til skade for miljøet. Til slike utslipp skal det søkes tillatelse.

Hvis utslippstillatelse stiller krav om rensetiltak skal rensetiltaket dimensjoneres for å håndtere en helvask for tunnelen / tunnellopene. Renseløsningen skal minimum utformes for sedimentering av partikler, nedbrytning av såpe og utskilling av olje. Oljeavskiller skal bygges separat eller som del av rense-

løsningen. Renseløsningen bør etableres inne i tunnelen. Sedimentasjonsbasseng som er etablert utenfor tunnelen bør være lukket.

Renseløsningen skal dimensjoneres for å ta imot kjemikalieutslipp fra ulykker, for eksempel tankbilvelt. Totalt volum skal inkludere volumet til en tunnelvask.

Utslipp av dremsvann er normalt ikke søknadspliktig. I områder med bergarter som kan føre til sur/ giftig avrenning, for eksempel sulfidrike bergarter og alunskifer, skal håndtering og eventuell rensing avklares med forurensningsmyndighetene.

8.3.4 Håndtering av vann og slam under anleggsfasen

Vannutslipp kan deles inn i følgende kategorier:

- Kategori A: Avløp fra sanitæranlegg i forbindelse med brakkeforlegning, kontorer mv. Mindre anlegg kan defineres som anlegg med belastning mindre enn 25 personekvivalenter og håndteres av kommunen.
- Kategori B: Avløp fra verksted og vaskeplasser.
- Kategori C: Utslipp av driftsvann og forurenset dremsvann under bygging av tunnelen.

Forurensningsloven er gjeldende for anleggsvann og dremsvann (kategori B og C). For midlertidig utslipp til resipient under anleggsfasen skal det:

- 1) Søkes utslippstillatelse etter forurensningsloven, eller
- 2) Dokumenteres at det ikke vil bli forurensning av betydning med de krav og tiltak som prosjektet setter til virksomheten. Det skal utarbeides planer som beskriver anleggsarbeidene, vurderer forurensningspotensialet fra anleggsdriften og beskriver avbøtende tiltak, program for overvåking av vannkvalitet (måleprogram) og beredskap for å sikre mot uheldig akutt forurensning. Dokumentasjonen skal godkjennes av Fylkesmannen.

Valg av framgangsmåte skal avklares med Fylkesmannen i en tidlig fase.

Påslipp av vann i kategori A, B eller C på kommunalt avløpsnett skal avklares med kommunen. Kommunen kan, som eier av ledningsnettet, sette andre og strengere krav til påslippet enn Fylkesmannen.

Vaskeplasser og underspyling skal etableres med fast, tett dekke med avløp til sluk som er koblet på oljeutskilleren.

Tunneldrivevann skal minimum renses for olje og partikler, samt pH-justeres. Grenseverdier for olje og partikler skal være fastsatt før anleggsstart. Drivevannet kan resirkuleres for å redusere vannforbruk. Se også håndbok V520 Tunnelveiledning [4].

8.4 Slokkevann

Om slokkevann, se kap. 4.3.

8.5 Pumpestasjoner og pumpeledninger

Pumpestasjonen består som regel av pumpearrangement og pumpemagasin. I tillegg kommer egen slamutskiller, eventuelt oljeutskiller for å beskytte pumper.

Pumper skal være tørroppstilte. Størrelse og antall pumpestasjoner skal bestemmes ut fra stedlige forhold, totalt energiforbruk, drift og vedlikehold, sikkerhets- og beredskapsnivå. Det 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.

Pumpemagasinene skal ikke ha mindre totalvolum enn 24 timers innlekkasje. Pumpene skal dimensjoneres med 50 % reservekapasitet.

Kapasitet for pumpesumper bør være oppgitt volum inklusive rom for vaskevann, og beregnes ut fra sedimentering ca. 4-6 uker før gradvis utpumping.

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 og standard pumpeutstyr.

Det bør legges til rette for at vannet kan pumpes ut i begge retninger. I tillegg bør det i undersjøiske tunneler/tunneler med lavbrekk, innenfor hver av tunnelportalene, plasseres en enkel pumpestasjon med tilhørende kummer og sluk, for å fange opp og pumpe ut overvann.

8.6 Vegfundament og vegdekke

8.6.1 Generelt

Dimensjonering av vegoverbygning og eventuell frostsikring i tunnel er beskrevet i håndbok N200 [7]. Valg av løsning bestemmer tykkelsen av samlet vegoverbygning og dermed nivå for teoretisk sprengningsprofil (planum/traubunnsnivå i tunnelsålen, se figur 3.1). Ved valg av materialer i overbygningen skal det derfor gjøres en teknisk/økonomisk vurdering der alle forhold som påvirkes av nivå for planum trekkes inn. I tillegg til selve vegfundamentet gjelder dette blant annet følgende forhold:

- Kostnader for sprengning og utlasting.
- Behov for tiltak mot telehiv og iskjøving.
- 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.

Vegoverbygningen skal sikres mot telehiv og iskjøving. Behov for tiltak skal vurderes i hvert enkelt tilfelle. Ut fra krav til fri høyde i tunnel 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.

8.6.2 Planum

Teoretisk sprengningsprofil (sammenfallende med planum / traubunn) skal legges på et nivå som gir plass til valgt vegoverbygning, og skal ha fall mot grøft på minst 3 %.

Tunnelsålen skal renskes slik at det maksimalt blir liggende 50 mm tunnelmasser på tunnelsålen. I tillegg skal det ved sprengning av tverrgrøfter eller andre tiltak, for eksempel gjenstøping av groper, sikres at mengden vann som kan bli stående på tunnelsålen er ubetydelig.

På rensket tunnelsåle skal det bygges opp til planum med pukk- eller kultmaterialer med nedre siktstørrelse ikke mindre enn 11 mm og Los Angeles-verdi ≤ 40 . For krav til tykkelse, materialvalg og utførelse av forsterkningslag, bærelag og dekke, se håndbok N200 [7].

9 Tekniske anlegg

9.1 Generelt

9.1.1 Generelle elektrotekniske krav

For elektrisk utstyr, maskiner og elektriske anlegg, se håndbok N601 Elektriske anlegg [12].

Dimensjonerende brukstid skal vurderes for de enkelte utstyrskomponenter, basert på betraktninger omkring brukstidskostnader.

Etter tunnelen er ferdig utrustet skal det minimum være to ledige trekkerør med dimensjon 110 mm og tre ledige trekkerør med dimensjon 40 mm, for fremtidig bruk.

9.1.2 Korrosjonsbeskyttelse av teknisk utrustning

Miljøet i tunneler er korrosivt. Dette skyldes kondensering av vann fra varm, fuktig luft, og salt. Vann i tunnelrommet kan være svakt surt på grunn av salpetersyring og salpetersyre fra nitroser gasser i eksosen. Kabelstiger, festebolter, ventilasjonsvifter, lysarmaturer, nødstasjoner, skilt, dører, rammer og håndtak skal leveres i rustfritt stål i henhold til NS-EN 10088 [35], type 1.4404. Festemateriell skal være i rustfritt stål A4-80 i henhold til NS-EN-ISO 3506 [43].

Unntak fra dette kan være:

- LED-armaturer, dersom det etableres galvanisk skille mellom armatur og kabelstige
- Ventilasjonsvifter som er tilsvarende korrosjonsbeskyttet på annen angitt måte.

Krav til korrosjonsbeskyttelse av forankringsbolter og festemateriell til vann- og frostsikringshvelv er gitt i kap. 7.4.3.

9.1.3 Tekniske bygg

Tekniske bygg tilhørende tunneler skal bygges med et antall tekniske rom etter behov, og det skal tas hensyn til eventuelle fremtidige utskiftninger og utvidelser. Alle rom skal ha dør ut i det «fri», og dørene skal slå ut av rommene. Dørene skal ha minimum mål (bxh) 1200 x 2400 mm. Dør til nettstasjon skal minimum være (bxh) 1610 x 2700 mm.

Rommene skal ha en høyde på 3 m og bør ha følgende minimum areal (innvendige mål):

1. Nettstasjon (trafo): 5 x 5 m
2. Lavspenning tavlerom: 5 x 5 m
3. Nødstrøm/UPS/SRO: 4 x 5 m
4. Batterirom: 3 x 5 m
5. Radio og Nødnett: 3 x 5 m
6. Mobil: 3 x 5 m

Ut fra krav til brannsikkerhet skal tekniske bygg bygges i betong. Dører til tekniske rom skal ha brannmotstand EI 60 [20]. Hvert av rommene i teknisk bygg skal være egne brannceller.

Tavlerom skal ha datagulv, med tilstrekkelig styrke for den lasten det skal bære. Datagulvet skal monteres slik at tavler understøttes i bredde og dybde, som gjør det mulig å løfte opp seksjoner inn til tavlene. Datagulv i øvrige rom, unntatt nettstasjon, bør vurderes.

Adgangskontroll skal inngå i planleggingen.

9.2 Strømforsyning

Der det ligger til rette for det skal strømforsyningen sikres ved uavhengig forsyning fra begge tunnelmunnings. Sikker strømforsyning vurderes på bakgrunn av en risikoanalyse. For nødstrømforsyning, se kap. 4.3. Se også N601 [12].

9.3 Belysning

9.3.1 Generelt

Vegtunneler med lengde over 100 m skal belyses i henhold til kravene gitt i 9.3.2.

Tunneler som er tilrettelagt for gang-/sykkeltrafikk (håndbok N100 [5]), skal belyses dersom lengden er over 25 m.

Belysningen av rømningstunneler og nødutganger skal utføres iht. belysningskravene i NS-EN 1838 [44].

LED-armaturer utføres iht. krav i teknisk spesifisering NMF01 [45].

Se også håndbok V124 Teknisk planlegging av veg- og tunnelbelysning [46]; kap. Tunnelbelysning.

9.3.2 Belysningens kvalitet

Det skal foretas lysberegninger før installasjon av et belysningsanlegg.

Flimring med frekvens mellom 4 Hz og 11 Hz og med varighet over 20 sekunder skal unngås.

9.3.2.1 Kjørebaneluminans

Lengden på innkjøringssonen fra tunnelportalen og innover i tunnelen, og målepunktet for adaptasjonsluminansen (begge er lik stoppsikten) er gitt i håndbok N100 [5].

Det skal ikke regnes med adaptasjonsluminans høyere enn 8 000 cd/m².

Krav til kjørebaneluminans er gitt i tabell 9.1. For lysberegning skal C2-dekke legges til grunn.

Tabell 9.1 viser opprettholdte driftsverdier. Luminanskravene skal oppfylles i hele belysningsanleggets dimensjonerte brukstid. I lysberegningene skal det derfor legges inn en vedlikeholdsfaktor som kompenserer for armaturens lystilbakegang som følge av elding og tilsmussing. Veiledning om valg av vedlikeholdsfaktor er gitt i håndbok V124 [46].

Adaptasjonsluminansen for belysning i innkjørings- og overgangssonene skal kontinuerlig måles ved bruk av luminansmåler.

Tabell 9.1 Krav til midlere kjørebaneluminans, gitt for ÅDT(10). Innkjøringssonens første halvdel om dagen er angitt som prosent av adaptasjonsluminansen, og indre sone er angitt i cd/m²

ÅDT (10) Sone \ Fartsgrense	< 4 000		4 000–12 000		> 12 000	
	60 km/t	80 km/t	60 km/t	80 km/t	80 km/t	110 km/t
Innkjøringssone dag	2,00 %	3,00 %	3,00 %	5,00 %	5,00 %	7,00 %
Indre sone dag	2,00 cd/m ²	2,00 cd/m ²	2,00 cd/m ²	2,00 cd/m ²	4,00 cd/m ²	4,00 cd/m ²
Alle soner natt	1,00 cd/m ²	1,00 cd/m ²	1,00 cd/m ²	1,00 cd/m ²	2,00 cd/m ²	2,00 cd/m ²
Alle soner kl. 00–05	0,50 cd/m ²	0,50 cd/m ²	0,50 cd/m ²	0,50 cd/m ²	1,00 cd/m ²	1,00 cd/m ²

Kommentarer til tabell 9.1:

- Krav til luminans ved annen fartsgrense finnes ved ekstrapolering/interpolering.
- I tunneler uten gang- og sykkeltrafikk og $\text{ÅDT}(10) < 2500$ tillates midlere luminans $0,5 \text{ cd/m}^2$ om natten og i indre sone om dagen.
- I svært lange tunneler kan midlere luminans reduseres til 50 % av kravet i tabellen etter 60 sekunder kjøreavstand fra tunnelinngangen. Midlere luminans skal ikke i være lavere enn $0,5 \text{ cd/m}^2$.
- Luminansnivå i innkjøringssonen skal ikke være under 50 cd/m^2 .
- For tunneler skiltet med 110 km/t gjelder kolonnen for luminans ved 110 km/t uavhengig av ÅDT .
- Luminans, natt vurderes i forhold til årstid og lysforhold ute.

9.3.2.2 Kjørebansens luminansjevnhet

Den totale luminansjevnhet (U_o) skal være:

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

Den langsgående luminansjevnhet (U_l) skal være:

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

9.3.2.3 Blendingsbegrensning

I tunneler skal ikke synsnedsettende blending TI (Treshold Increment) være over 6 %.

9.3.3 Belysning av tunnelveggene

Tunnelveggene skal belyses i 2 m høyde. Gjennomsnittlig belysningsstyrke på denne delen av veggen skal ikke være lavere enn 60 % av gjennomsnittlig belysningsstyrke på nærmeste kjørefelt.

9.3.4 Belysning av nisjer og dører til rømningsveier

Havarinisjer og snunisjer skal belyses særskilt slik at de visuelt skiller seg ut fra tunnelen for øvrig. Dette skal gjennomføres ved å montere ekstra, veggmonterte lysarmaturer i ca. 3,5 m høyde i nisjene.

Lysfarge skal være den samme som tunnelbelysningen for øvrig. Belysningsstyrke bør ha samme nivå som på nærmeste kjørefelt.

Dører som fører ut av tunnellopet (rømning) skal kontinuerlig belyses med grønt lys fra tunneltaket. For å markere dørene ved nødsituasjoner skal det monteres grønt lys over og på begge sidene.

9.3.5 Sikkerhetsbelysning

Tunnelbelysningen skal arrangeres slik at utvalgte lysarmaturer (sikkerhetsbelysning) fortsetter å lyse i minimum 1 time etter at normal strømforsyning har falt ut. Sikkerhetsbelysningen arrangeres slik at avstanden mellom armaturene blir ca. 50 – 70 m.

Sikkerhetsbelysningen forsynes av UPS.

9.4 Ventilasjon

9.4.1 Generelt

Ventilasjonsanlegg skal installeres i tunneler med lengde over 1000 m når ÅDT er > 1000. Ventilasjonsanlegget skal dimensjoneres for brann og for beregnet forurensningsnivå 10 år etter åpningsåret (ÅDT(10)).

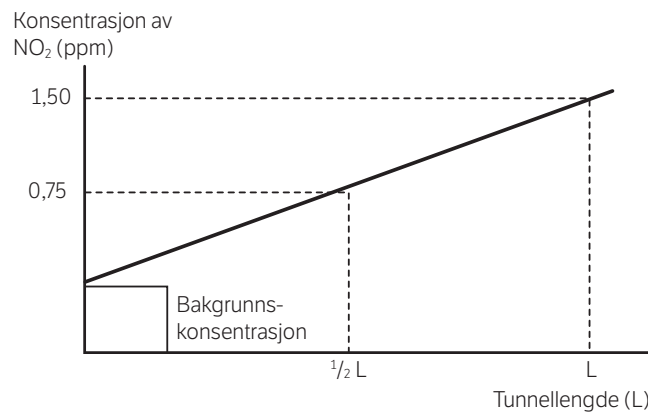
Luftkvaliteten skal overvåkes med måleutstyr for CO og måleutstyr for NO₂ (eller NO).

9.4.2 Krav til luftkvalitet i tunneler

Ved langslufting øker forurensningsgraden i tunnelens lengderetning. Ved dimensjonering av nødvendig friskluftbehov skal det tas hensyn til bakgrunnskonsentrasjonen av NO₂ ved tunnelåpningen, se figur 9.1.

Dimensjonerende konsentrasjoner av gasser og svevestøv er gitt i tabell 9.2.

Dimensjonerende luftkvalitetsnivå i tunneler som er tilrettelagt for gående og syklende (håndbok N100 [5]), skal være: CO: 25 ppm og NO: 2 ppm.



Figur 9.1 Dimensjonerende NO₂-konsentrasjon i tunneler

Tabell 9.2 Dimensjonerende konsentrasjoner av NO₂, NO, CO og siktforurensning i tunneler

	Dimensjonerende konsentrasjoner	Forutsetninger
NO_x	C _{NO_x} = 10 ppm	Ved 10 % tungtrafikk
NO₂	C _{NO₂} = 1,5 ppm	Verdien er basert på en antatt NO ₂ -andel på 15 % av NO _x . Der NO ₂ -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 min.
NO	C _{NO} = 8,5 ppm	Verdien er basert på en antatt NO-andel på 85 % av NO _x
CO	C _{CO} = 50 ppm	Dersom CO-konsentrasjonen overstiger 50 ppm skal tunnelen stenges for trafikk. Grunnen er at denne konsentrasjonen bare oppstår ved brann, stillestående kø eller ved alvorlig feil i ventilasjonsanlegget
Sikt	C _{PM10} = 1 000 µg/m ³	Vekt av svevestøv (PM ₁₀)
	C _{PM2,5} = 500 µg/m ³	Vekt av eksospartikler PM _{2,5}

* Se også håndbok V520 [4]

9.4.3 Mekanisk ventilasjon

Nødvendig ventilasjonskapasitet (lufthastighet) oppnås ved bruk av impulsventilatorer.

Avstanden mellom impulsventilatorene i tunnelens lengderetning bør være minst 60 m 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.

Ved valg av impulsventilator skal det legges stor vekt på kostnader relativt til dimensjonerende brukstid. Dette omfatter energikostnader, overførings- og effektavgifter, tilsyn og vedlikehold av ventilasjonsanlegget, samt kostnader til innkjøp, montering, elektroinstallasjoner og styring.

Motorlager og viftehjul skal dimensjoneres for en brukstid på minst 25 år uten behov for lagerskift eller avbalansering på grunn av slitasje eller korrosjon.

Ventilatorene skal ha sikker strømforsyning ved aktuelle temperaturer. Krav til kabler er gitt i håndbok N601 Elektriske anlegg [12].

9.4.4 Brannventilasjon

9.4.4.1 Generelt

Ventilasjonsanlegget skal være reversibelt og skal dimensjoneres for å kunne styre røyken i ønsket retning, basert på dimensjonerende brannbelastning. Tabell 9.3 inneholder krav til minimum brannventilasjon i tunneler med stigning under 2 %.

Ved stigning over 2 % skal nødvendig lufthastighet beregnes.

Ventilasjonskapasiteten i fallretning i tilfelle brann skal verifiseres gjennom beregninger, da dette har betydning i beredskapssammenheng.

Tabell 9.3 Dimensjoneringskrav for brannventilasjon i tunneler med stigning $\leq 2\%$

Tunnelklasse	Tunnellengde	Dimensjonerende branneffekt	Eksponerings- kurve*	Tid (minutter)	Minimum lufthastighet
A	> 1,0 km	50 MW	HC	60	3,0 m/s
B	> 1,0 km	50 MW	HC	60	3,0 m/s
C	> 1,0 km	50 MW	HC	60	3,0 m/s
D	< 2,0 km	50 MW	HC	60	3,0 m/s
	> 2,0 km	100 MW	HC	60	4,5 m/s
E	> 1,0 km	50 MW	HC	60	3,0 m/s
F	< 2,0 km	50 MW	HC	60	3,0 m/s
	> 2,0 km	100 MW	HC	60	4,5 m/s

* Eksponeringskurver, se kap. 4.4

9.4.4.2 Ventilasjonsstyring og valg av ventilasjonsretning

Tunneler med enveistrafikk

Tunneler med enveistrafikk og tilhørende ramper skal ventileres i samme retning som trafikken både i en driftssituasjon og ved brann. I tunneler som har to løp og enveistrafikk skal ventilasjonsanlegget ved brann styres slik at røyken ikke trekkes inn i det løpet som brukes til rømning.

Tunneler med toveisrafikk

I ettløps tunneler med toveis trafikk kan en velge fast ventilasjonsretning i driftsfasen, eller den kan variere tilpasset dominerende trafikkstrøm og/eller naturlig trekk forårsaket av klimatiske forhold. Ventilasjonsstyring som tillater varierende ventilasjonsretning i driftsfasen, skal avklares med lokal brannmyndighet, med utgangspunkt i hva som er mest hensiktsmessig i forhold til evakuering, redning og slukking.

I tunneler med toveis trafikk skal brannventilasjon, ved melding om brann, iverksettes på følgende måte:

1. Ventilasjonsretning skal fortsette i samme retning som ventilasjonen hadde da brannen oppstod. Dette innebærer at ventilasjonsretning og lufthastighet skal instrumenteres slik at opplysninger om ventilasjonsretning og lufthastighet er tilgjengelig for de som er ansvarlig for å regulere ventilasjonsanlegget.
2. Skadestedsledelsen avgjør om og når brannventilasjonen skal endres både når det gjelder retning og styrke. Slik regulering kan gjøres fra nødstyrepånel ved tunnelen eller fra VTS.
3. En lufthastighet på om lag 2 m/s legger forholdene godt til rette for evakuering i en tidlig fase.

9.4.4.3 Brannklasse for impulsventilatorer

I NS-EN 12101-3 [47] 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 skal vurderes for hver enkelt tunnel, ut fra dimensjonerende brann-effekt, se tabell 9.3.

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.

10 Ytre miljø

10.1 Generelt

Alle relevante forhold knyttet til ytre miljø skal kartlegges og innarbeides i en miljøoppfølgingsplan. Basert på miljøoppfølgingsplanen foretas en vurdering av hvilke registreringer og måleprogrammer som er nødvendige for å ivareta ytre miljø.

Planen skal som minimum omhandle:

- Støybelastning.
- Vibrasjoner.
- Utslipp av støv.
- Utslipp av vann.
- Kontroll med poretrykk og setninger.
- Utslipp og avrenning fra deponi og sprengningsmasser.
- Konsekvenser av dumping/fylling av sprengningsmasser i vann.

For håndtering av vann, utslipp m.m., se kapittel 8 om drenering.

10.2 Støy ved tunnelåpninger

Retningslinje for behandling av støy i arealplanleggingen T-1442 [48] skal legges til grunn for tiltak ved tunnel som krever ny plan etter Plan- og bygningsloven. Retningslinjen angir veiledende grenseverdier for bygg- og anleggsstøy og for støy fra veg i drift. Vegmyndigheten, som tiltakshaver i henhold til retningslinjen, er ansvarlig for støyutredning. Se også håndbok V520 Tunnelveiledning [4].

10.3 Utslipp av gasser og partikler

I forbindelse med reguleringsplanarbeidet skal det utføres en konsekvensvurdering av valgte ventilasjonsløsning og utslipp av forurenset luft, herunder en vurdering av eventuelle behov for og plassering av ventilasjonstårn, rensiltak mv.

Det skal i forbindelse med reguleringsplanarbeidet utføres en konsekvensutredning av utslipp fra tunnel med følgende krav:

- Konsekvensutredningen skal dekke komponentene: NO₂, PM₁₀ og PM_{2,5}
- Dersom utslipp fra tunnelmunningene påvirker luftkvaliteten i areal hvor mennesker kan bli eksponert (bolig, skole, barnehage, lekeplass, sykehus e.l.) skal det vurderes om det er nødvendig å etablere rensiltak, ventilasjonstårn etc.
- For å avgjøre om rensiltak/ventilasjonstårn skal etableres skal luftkvaliteten vurderes i forhold til de anbefalte nivåene gitt i tabell 10.1.
- Dersom det etableres ventilasjonstårn skal utslipp fra ventilasjonstårn beregnes med egnet spredningsmodell.

Til prosjekter hvor det er forurenset luft fra tunneler skal nivåene overholde grensene i Forurensningsforskriften, og nivåene bør overholde Nasjonale mål. For å ha en sikkerhetsmargin for korttidsmiddelet i Forurensningsforskriften skal timemiddel for NO₂ være maksimalt 150 µg/m³, med 8 tillatte overskridelser. Døgnmiddel for PM₁₀ skal være maksimalt 50 µg/m³, med 7 tillatte overskridelser (tabell 10.1). Se også håndbok V520 [4].

Tabell 10.1 Grensene for luftkvalitet

Komponent	Midlingstid	Forurensningsforskriften	Nasjonale mål	Nivåer for utslipp fra tunnel iht. N500*
		Enhet: $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Antall tillatte overskridelser i parentes	Enhet: $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Enhet: $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Antall tillatte overskridelser i parentes
NO ₂	Time	200 (18)		150 (8)
	År	40	40	
PM ₁₀	Døgn	50 (30)		50 (7)
	År	25	20	
PM _{2,5}	År	15	8	

* Anbefalte nivå for timemiddel for NO₂ gir en sikkerhetsmargin i forhold til Forurensningsforskriftens nivå. Døgnmiddel for PM₁₀ tilsvarer T-1520 [49].

Luftkvaliteten skal vurderes i henhold til Miljødirektoratets Retningslinjer for behandling av luftkvalitet i arealplanlegging, T-1520 [49], se tabell 10.2, uavhengig av hvilken teknisk løsning som velges for utslipp fra tunnelmunninger og ventilasjonstårn. Retningslinjen legger opp til å vurdere luftkvaliteten i arealplaner på bakgrunn av gule og røde soner. Hovedregel er at områder hvor mennesker kan bli eksponert (bolig, skole, barnehage, lekeplass, sykehus e.l.) ikke er i rød sone og at det gjøres en nærmere vurdering dersom slike områder er innenfor gul sone. Når sonene beregnes skal også andre kilder og bakgrunnsnivå inkluderes.

Tabell 10.2 Eksempel på luftkvalitetssoner gitt i T-1520 [49]

Komponent	Luftkvalitetssoner i henhold til T-1520	
	Gul sone	Rød sone
NO ₂	Vintermiddel: 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (1. nov – 30. apr.)	Årsmiddel: 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
PM ₁₀	Døgnmiddel: 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (med inntil 7 overskridelser)	Døgnmiddel: 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (med inntil 7 overskridelser)

11 Dokumentasjon

11.1 Generelt

Tunnelsikkerhetsforskriftene omhandler godkjenning av en tunnel før bygging og før åpning. Godkjenning skal utføres i henhold til Tunnelsikkerhetsforskriftene; vedlegg II. Framgangsmåten er nærmere beskrevet i håndbok R511 Sikkerhetsforvaltning av tunneler [21].

11.2 Ingeniørgeologisk sluttrapportering

Det skal utarbeides en ingeniørgeologisk sluttrapport senest tre måneder etter at prosjektet er overlevert. Ingeniørgeologisk sluttrapport skal:

- Inneholde geologisk/ingeniørgeologisk dokumentasjon med kartlegging og beskrivelse av bergforholdene og samlet utført sikring (for eksempel data registrert i Novapoint Tunnel - Geologi og bergsikring). Bakgrunns materialet skal også inkluderes og arkiveres. Den elektroniske dokumentasjonen skal være klargjort for lagring i Statens vegvesens data-baseløsninger.
- 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.
- Inneholde 3D-modell av geologiske forhold der dette er utarbeidet.
- Underskrives av prosjektleder for utbyggingsprosjektet og den som har faglig ansvar for bergsikringsarbeidet.

11.3 Tekniske anlegg

Det skal dokumenteres at alt teknisk utstyr er i samsvar med kravene i denne håndboka. For elektrisk utstyr, maskiner og anlegg vises til håndbok N601 Elektriske anlegg [12].

All dokumentasjon skal overleveres byggherre i elektronisk form.

Dokumentasjonen skal inneholde resultatet av en gjennomført RCM-analyse (Reliability centered maintenance) som utgangspunkt for vedlikeholdsprosedyrer for utstyr og anlegg.

Referanser

1. Håndbok V710 Oversiktsplanlegging. Statens vegvesen, Vegdirektoratet 2000.
2. Håndbok V712 Konsekvensanalyser. Statens vegvesen, Vegdirektoratet 2018.
3. Håndbok R760 Styring av vegprosjekter. Statens vegvesen, Vegdirektoratet 2019.
4. Håndbok V520 Tunnelveiledning. Statens vegvesen, Vegdirektoratet (2020).
5. Håndbok N100 Veg- og gateutforming. Statens vegvesen, Vegdirektoratet 2019.
6. Håndbok N101 Rekkverk og vegens sideområder. Statens vegvesen, Vegdirektoratet 2013.
7. Håndbok N200 Vegbygging. Statens vegvesen, Vegdirektoratet 2018.
8. Håndbok N300 Trafikkskilt, del 1–5. Statens vegvesen, Vegdirektoratet 2012.
9. Håndbok N302 Vegoppmerking. Statens vegvesen, Vegdirektoratet 2015.
10. Håndbok N303 Trafikksignalanlegg. Statens vegvesen, Vegdirektoratet 2012.
11. Håndbok N400 Bruprosjektering. Statens vegvesen, Vegdirektoratet 2015.
12. Håndbok N601 Elektriske anlegg. Statens vegvesen, Vegdirektoratet 2017.
13. Håndbok R211 Feltundersøkelser. Statens vegvesen, Vegdirektoratet 2018.
14. Håndbok R210 Laboratorieundersøkelser. Statens vegvesen, Vegdirektoratet 2016.
15. Håndbok V220 Geoteknikk i vegbygging. Statens vegvesen, Vegdirektoratet 2018.
16. Håndbok V770 Modellgrunnlag. Statens vegvesen, Vegdirektoratet 2015.
17. NS-EN 1997-1:2004+A1:2013+NA:2016 (Eurokode 7) Geoteknisk prosjektering, del 1 Allmenne regler.
18. NS-EN 1990:2002+A1:2005+NA:2016 Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner.
19. NS-EN 16276:2013 Rømningslys i vegtunneler.
20. Veiledning om tekniske krav til byggverk. Kapittel 11 Sikkerhet ved brann (REI 120-M og EI 60). Direktoratet for byggkvalitet 2012.
21. Håndbok R511 Sikkerhetsforvaltning av vegtunneler. Statens vegvesen, Vegdirektoratet 2019.
22. Rijkswaterstaat (The Directorate-General of Public Works and Water Management, The Netherlands) RWS-kurven.
23. ISO 834-3:2012 Fire resistance test – Elements of building construction –Part 3: Commentary on test method and guide to the application of the outputs from the fire-resistance test.
24. NS-EN 1363-2:1999 Prøving av brannmotstand - Del 2: Alternative prosedyrer og tilleggsprosedyrer.
25. NS-EN ISO 1182:2010 Prøving av produkters egenskaper ved brannpåvirkning. Prøving av ubrennbarhet.
26. ISO 9705:2016 Reaction to fire tests. Room corner test for wall and ceiling lining products.
27. NS-EN ISO 11925-2:2010 Prøving av materialers egenskaper ved brannpåvirkning. Antennelighet av byggeprodukter ved direkte påvirkning av flamme.
28. NS-EN 13501:2009 Brannklassifisering av byggevarer og bygningsdeler.
29. Håndbok V321 Variable trafikkskilt. Statens vegvesen, Vegdirektoratet 2013.
30. NS-EN 12088: 2013 Varmeisoleringsprodukter til bruk i bygninger. Bestemmelse av langtids vannabsorpsjon ved diffusjon.
31. NS-EN ISO 10456:2007+NA2010 Byggematerialer og –produkter. Prosedyrer for bestemmelse av deklarete og praktiske termiske verdier.
32. NS-EN 13491:2018 Geosyntetiske membraner. Krav til egenskaper ved bygging av tunneler og tilhørende undergrunnskonstruksjoner.
33. NS-EN 12317-2:2000 Tetningsmaterialer på rull. Bestemmelse av skjærstyrke i skjøt.

34. NS-EN 12316-2:2000 Tetningsmaterialer på rull. Bestemmelse av spaltestyrke i skjøt.
35. NS-EN 10088:2005 Rustfrie stål. Del 1: Liste over rustfrie stålsorter.
36. NS-EN ISO 1461:2009 Varmforsinkede belegg på fabrikkerte jern- og stålprodukter. Spesifikasjoner og prøvingsmetoder.
37. NS-EN 13438:2013 Maling og lakk. Organisk pulverbelegg for galvaniserte og sherardiserte stålprodukter for konstruksjonsformål.
38. NS-EN 206:2013+NA:2014 Betong. Spesifikasjon, egenskaper, framstilling og samsvar.
39. NS-EN 1991-1-1:2002+NA:2008 Laster på konstruksjoner. Del 1-1 Allmenne laster – Tetthet, egenvekt og nyttelaster i bygninger.
40. NS-EN 1992-1-1:2004+NA:2008 Prosjektering av betongkonstruksjoner. Del 1-1 Allmenne regler og regler for bygninger.
41. Håndbok V221 Grunnforsterkning, fyllinger og skråninger. Statens vegvesen, Vegdirektoratet 2012.
42. NS-EN ISO 826:2013 Varmeisoleringsprodukter til bruk i bygninger. Bestemmelse av trykkegenskaper.
43. NS-EN ISO 3506:2009 Mekaniske egenskaper for korrosjonsbestandige festelementer av rustfritt stål.
44. NS-EN 1838:2013 Anvendt belysning – Nødbelysning.
45. NMF01, Teknisk spesifikasjon fra Nordisk møde for forbedret vejutstyr, www.nmfv.dk
46. Håndbok V124 Teknisk planlegging av veg- og tunnelbelysning. Statens vegvesen, Vegdirektoratet 2013.
47. NS-EN 12101-3:2002 Brannventilasjonssystemer. Del 3: Spesifikasjon for mekaniske brannventilasjonsanlegg.
48. Retningslinjer for behandling av støy i arealplanlegging. Planlegging og behandling etter plan- og bygningsloven. Rundskriv T-1442. Klima- og miljødepartementet.
49. Retningslinjer for behandling av luftkvalitet i arealplanlegging. Planlegging og behandling etter plan- og bygningsloven. Rundskriv T-1520. Klima- og miljødepartementet, 2012.



www.vegvesen.no/Fag/Publikasjoner/Handboker

ISBN: 978-82-7207-756-2

Trygt fram sammen