Statens vegvesen

N500 Vegtunneler

Gyldig fra 2024-01-01

Forord

Vegnormal N500 *Vegtunneler* har vært gjennom en delvis revisjon. Endringer fra N500 *Vegtunneler* (2022) er:

- Krav som gjelder alternativt tunnelprofil 2x T9,5 med forsterket kantoppmerking (for tunneler med ÅDT opp til 20000); måling av fri høyde og utforming av skulder.
- Krav til stålkvalitet for bolter til bergsikring.
- Krav til belysning av rømningsveier i tunnel.
- Oppdatert referanse for standard for evakueringsbelysning og LED-armaturer.

Vegnormal N500 *Vegtunneler* 01.01.2024 gjelder fra 1.januar 2024 og erstatter vegnormal N500 Vegtunneler versjon 31.03.2022. Reviderte krav er merket med dato 01.01.2024, mens øvrige krav beholder dato 31.03.2022. Ved revisjon av enkeltkrav vil det enkelte krav bli markert med ny dato.

Innhold

Forord **2**
Gyldighet/Fravik **7**
Definisjoner **8**
1 Innledning **9**
1.1 Generelle bestemmelser 9
1.2 Avgrensning mot øvrige vegnormaler 9
2 Geologiske forundersøkelser **11**
2.1 Generelt 11
2.2 Kartgrunnlag for geologisk feltkartlegging og presentasjon av geologiske data 12
2.3 Kontroll og kvalitetssikring av geologiske rapporter og prosjektering 13
2.4 Geologiske forundersøkelser i tidlig planfase 14
2.5 Geologiske forundersøkelser i kommunedelplan 16
2.6 Geologiske forundersøkelser i reguleringsplan 18
2.7 Geologisk rapport for byggeplan 24
3 Ytre miljø **26**
3.1 Generelt 26
3.2 Utslipp av vann fra tunnel 28
3.3 Støy ved tunnelåpninger 30
3.4 Utslipp av gasser og partikler 30
4 Geometrisk utforming **31**
4.1 Generelt 31
4.2 Vegutforming i tunnel 31
4.2.1 Linjeføring 31
4.2.2 Kryss i forbindelse med tunnel 32
4.2.3 Kjørefelt 32
4.3 Tunnelportaler 32
4.4 Tunnelprofiler 34
4.4.1 Generelle krav til tunnelprofiler 34
4.4.2 Geometriske mål 36
4.4.3 Tilpasninger av geometriske mål 40
4.4.4 Skulder 40
4.5 Utvidelse for nisjer 41
4.5.1 Havarinisjer, snunisjer og møteplasser 41
4.5.2 Nisje for teknisk bygg 42
4.5.3 Nisje for kiosk til nødstasjon 42
4.5.4 Bergrom for pumpestasjon 42
4.6 Nødutganger 42
5 Sikkerhet og beredskap **43**
5.1 Generelt 43
5.1.1 Prinsipper 43
5.1.2 Risikoanalyser og beredskapsanalyser for vegtunneler 43

5.1.3 Beredskapsplan 44
5.2 Tunnelklasser 45
5.3 Sikkerhetstiltak og sikkerhetsutrustning i vegtunneler over 500 m 47
5.3.1 Generelt 47
5.3.2 Nødstrømsystem 49
5.3.3 Evakueringsbelysning 50
5.3.4 Nødstasjoner 51
5.3.5 Slokkevann 52
5.3.6 Fjernstyrte bommer for stengning av tunnel 52
5.3.7 Automatisk hendelsesdeteksjon (AID) og videoovervåking (ITV) 53
5.3.8 PA-system for trafikantinformasjon 54
5.3.9 Utstyr for nødutganger 54
5.3.10 Høydehinder 54
5.3.11 Nødkommunikasjon, kringkasting og mobiltelefoni 55
5.4 Brannsikring 56
5.4.1 Krav til brannmotstand for konstruksjoner 56
5.4.2 Brannteknisk dokumentasjon og prosedyre for testing 58
6 Skilt og signaler 60
6.1 Generelt 60
6.2 Trafikkskilt utenfor tunnel 60
6.3 Trafikkskilt i tunnel 60
7 Tunneldriving og bergsikring 62
7.1 Generelt om tunneldriving 62
7.2 Etablering av forskjæring og påhugg 63
7.3 Arbeider foran stuff 63
7.3.1 Sonderboring 63
7.3.2 Forinjeksjon 64
7.4 Geologisk kartlegging og bergmasseklassifisering 67
7.5 Sikringsklasser 68
7.6 Bergsikringsbolter 71
7.6.1 Bolter til stabilitetssikring 71
7.6.2 Korrosjonsbeskyttelse 75
7.7 Sprøytebetong til bergsikring 76
7.8 Sikringsstøp 77
7.9 Utstyr og beredskap ved driving av undersjøiske tunneler 77
7.10 Ingeniørgeologisk sluttrapportering 77
8 Tunnelkledninger 78
8.1 Generelle krav 78
8.1.1 Overordnet 78
8.1.2 Frostdimensjonering 79
8.1.3 Membraner 80
8.1.4 Forankringsbolter og festedetaljer for tunnelkledning 81
8.2 Oversikt over dokumentasjon av tunnelkledninger 82
8.3 Laster og dimensjonering 82

8.3.1 Generelt 82
8.3.2 Variable laster 86
8.3.2.1 Trykk/sug-laster fra trafikk 86
8.3.2.2 Generell variabel last 86
8.3.3 Ulykkeslast 87
8.4 Kjente løsninger for tunnelkledninger 88
8.4.1 Generelt 88
8.4.2 Frostisolering med PE-skum eller XPS 91
8.4.3 Brannsikring og brannbeskyttelse 92
8.4.4 Betongelementer 92
8.4.4.1 Lettbetongelementer 95
8.4.5 Nettarmert sprøytebetong 96
8.4.6 Føringskant av betong 98
9 Drenering, vegfundament og vegdekke 99
9.1 Drenssystemer i tunnel 99
9.2 Drenering 99
9.2.1 Generelt 99
9.2.2 Vannmengder, ledningsdimensjoner og kummer 100
9.2.3 Sandfang 100
9.2.4 Sluk 101
9.3 Grøfter 102
9.3.1 Utforming og plassering 102
9.3.2 Fundament, omfylling og frostsikring for ledninger 102
9.4 Pumpestasjoner og pumpeledninger 103
9.5 Vegfundament og vegdekke 104
10 Tekniske anlegg 106
10.1 Generelt 106
10.2 Tekniske bygg 106
10.3 Belysning i vegtunneler 107
10.3.1 Generelt 107
10.3.2 Belysningens kvalitet 107
10.3.3 Belysning av tunnelveggene 110
10.3.4 Belysning av nisjer og dører til rømningsveier 110
10.3.5 Sikkerhetsbelysning 111
10.4 Ventilasjon 111
10.4.1 Generelt 111
10.4.2 Krav til luftkvalitet i tunneler 112
10.4.3 Mekanisk ventilasjon (impulsventilator) 113
10.4.4 Brannventilasjon 114
11 Sikkerhetsdokumentasjon 115
Referanser 116
Tillegg A Veiledning ventilasjon i vegtunneler 119
A.1 Beregning av nødvendig friskluftbehov og kontroll av luftkvalitet 120
A.1.1 Dimensjoneringsår og trafikkmengde 120

A.1.2 Aktuelle stoffer for luftforurensning i vegtunneler 120
A.1.3 Basisfaktorer for avgassutslipp 121
A.1.4 Korreksjonsfaktorer ved kjøring i stigning 123
A.1.5 NO_2-produksjon 123
A.1.6 Produksjon av eksospartikler (EP) 124
A.1.7 CO-produksjon, for vegtunnel som er tilrettelagt for gang- sykkeltrafikk 125
A.1.8 Friskluftbehov og dimensjonerende faktor 125
A.1.9 Utstyr for kontroll av luftkvalitet 126
A.2 Beregning av nødvendig skyvekraft ved langslufting 128
A.2.1 Beregning av trykktap 128
A.2.2 Ventilasjonstrykk pga. stigning og bergtemperatur («skorsteinseffekt») 129
A.2.3 Ventilasjonstrykk fra vind 130
A.2.4 Trykkdifferanse mellom klimasoner 130
A.2.5 Ventilasjonstrykk fra trafikk 130
A.2.6 Trykktap ved store overhengende skilt og kjørefeltsignaler m.m. 131
A.2.7 Dimensjonerende skyvekraft i tunnelen 132
A.2.8 Dimensjonerende skyvekraft fra impulsvifter 132
A.3 Styring av ventilasjonsanlegg 134
A.3.1 Trinnstyrt ventilasjon 134
A.4 Sjaktventilasjon 136
A.5 Brannventilasjon 137
A.6 Referanser til tillegg A 138

Gyldighet/Fravik

Fravik fra krav i vegnormalene | Statens vegvesen

Definisjoner

Definisjonsliste for Statens vegvesens håndbøker | Statens vegvesen

1 Innledning

1.1 Generelle bestemmelser

Tunnelsikkerhetsforskriften og tunnelsikkerhetsforskrift for fylkesveg m.m. har som formål å sikre laveste tillatte sikkerhetsnivå for trafikanter i tunneler. Forskriftene stiller krav om å forebygge kritiske hendelser som kan sette menneskeliv, miljøet og tunnelanlegg i fare og til å sørge for vern i tilfelle av ulykker.

Videre har Vegdirektoratet hjemmel til å fastsette utfyllende bestemmelser – vegnormaler, jf. forskrift om anlegg av offentlig veg § 3 nr. 2. Vegnormal N500 *Vegtunneler* gir supplerende bestemmelser om planlegging og prosjektering av vegtunneler.

Krav i vegnormal N500 *Vegtunneler* kan ikke fravikes hvis fraviket kommer i strid med bestemmelser i tunnelsikkerhetsforskriftene.

Spesielt om oppgradering av eksisterende vegtunneler: Oppgradering av sikkerhetsutrustning er hjemlet i tunnelsikkerhetsforskriften § 14 og i tunnelsikkerhetsforskrift for fylkesveg m.m. § 12. Omfang av og tidspunkt for øvrig oppgradering av vegtunneler besluttes av vegmyndighet.

Bestemmelsene i vegnormal N500 *Vegtunneler* gjelder både vegtunneler i berg og andre bærende konstruksjoner med funksjon som vegtunnel.

Krav 1.1–1 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Planlegging og prosjektering skal gjøres på grunnlag av en analyse av levetidskostnader (LCC), som beregnes ut fra dimensjonerende brukstid, oppetidsberegninger, sårbarhets- og sikkerhetsvurderinger, samt drift og vedlikehold.

Veiledning til kravet

I forundersøkelsene avklares alternativer (aktuelle veglinjer mv.) samt sikkerhetsmessige, samfunnsmessige og miljømessige forhold. Miljømessige forhold inkluderer vurderinger knyttet til klimagassutslipp og bærekraftige løsninger i planlegging, bygging, drift og vedlikehold av vegtunnelen.

Krav 1.1–2 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Dimensjonerende brukstid skal være:

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

Vegnormalen supplerer Eurokode med utfyllende bestemmelser for beregning, dimensjonering og utforming av bærende konstruksjoner.

1.2 Avgrensning mot øvrige vegnormaler

Vegnormal N100 *Veg- og gateutforming*[1]gir krav til linjeføring, sikt og tunnelprofiler for de ulike tunnelklasser/dimensjoneringsklasser.

Vegnormal N101 *Trafikksikkert sideterreng og vegsikringsutstyr*[2]gir krav til rekkverk.

Vegnormal N200 *Vegbygging*[3]gir krav til dimensjonering av vegoverbygning i vegtunnel.

Vegnormal N300 *Trafikkskilt*[4], vegnormal N302 *Vegoppmerking*[5]og vegnormal N303 *Trafikksignalanlegg*[6]gir krav som gjelder hele vegnettet inkludert vegtunnel.

Vegnormal N400 *Bruprosjektering*[7]omhandler prosjektering av bærende konstruksjoner, f.eks. tunnelportaler.

Vegnormal N601 *Sikkerhetskrav for elektriske anlegg i – og langs offentlig veg*[8]stiller krav til elektriske anlegg i vegtunnel.

2 Geologiske forundersøkelser

2.1 Generelt

Krav 2.1—1 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Geologiske forundersøkelser for tunnel skal innhente mest mulig relevant informasjon om grunnforholdene langs traseen og omfatter:

- Innsamling av arkivert materiale (kart fra Norges geologiske undersøkelse (NGU), faglitteratur, tidligere planrapporter, etc.) og annen dokumentasjon
- Ingeniørgeologisk/geologisk feltkartlegging
- Erfaringer fra, og ev. kartlegging i, nærliggende tunneler og bergrom
- Boringer (bergkontroll, totalsondering, kjerneboring, etc.)
- Geofysiske undersøkelser (seismikk, resistivitet)

Krav 2.1—2 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Den ingeniørgeologiske kartleggingen og rapporteringen skal framskaffe informasjon om de ingeniørgeologiske forholdene i tunnelnivå, inklusive eventuelle bergrom.

Krav 2.1—3 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Geologiske rapporter skal inneholde informasjon fra tidligere planfaser. Forundersøkelsene baseres på allerede utførte undersøkelser i tidligere planfaser. Ovenstående danner til sammen grunnlaget for prosjektering og utarbeidelse av byggeplan.

Veiledning til kravet

Kartleggingen suppleres av hydrogeologiske og geotekniske undersøkelser ved behov (se vegnormal N200[3]og veiledning V220[9]). Se veiledning V521[10]for forundersøkelsesmetoder,samt innhold og presentasjon i geologiske rapporter. Geologiske rapporter fra alle planfaser lagres og arkiveres. Generelt anbefales det å lagre geo-rapporter i Statens vegvesens offentlig tilgjengelige rapportarkiv (Rapportweb; Geofaglige rapporter på nett | Statens vegvesen) og rapporter fra grunnboringer m.m. i nasjonal database for grunnundersøkelser (NADAG; Nasjonal database for grunnundersøkelser (ngu.no), se også N200[3]).

Krav 2.1—4 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Forundersøkelsene skal omfatte vurdering av arealer som påvirkes av tunnelen. Dette gjelder fare for skadelig grunnvannssenkning, setninger, vibrasjoner fra bergsprengning og miljøskadelig avrenning. Forundersøkelsene skal også omfatte vurdering av geologiske ressurser i området.

Veiledning til kravet

Se kapittel 3 Ytre miljø.

Krav 2.1—5 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Undersjøiske tunneler skal ha en minste bergoverdekning på 50 m i den undersjøiske delen av tunnelen. Undersøkelser med akustikk og refraksjonsseismikk skal dokumenteres for hele den undersjøiske delen av traséen.

Veiledning til kravet

Undersjøisk tunnel krever grundige forundersøkelser og kvalitetssikring av geologisk rapportering. En sammenstilling av geologiske data fra kjerneboringer, seismikk, osv. presenteres langs traséen, og traséen vises med profilnummer. Alle data tas med – også om traséen er flyttet underveis i planprosessen.

Kravet om minste bergoverdekning på 50 m gjelder ikke tunneler under elver, innsjøer, kanaler og lignende. Slike tunneler krever uansett grundige geologiske forundersøkelser for å oppnå tilstrekkelig bergoverdekning og unngå vanninntrengning.

2.2 Kartgrunnlag for geologisk feltkartlegging og presentasjon av geologiske data

Krav 2.2—1 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Kartgrunnlag skal være egnet for å tegne inn geologiske registreringer.

Veiledning til kravet

Kartgrunnlaget brukes til registrering av geologiske forundersøkelser i felt og samtidig digitalisering av registreringene. Et godt kartgrunnlag har kotegrunnlag fra laserskanning med ekvidistanse 1 m, og kartgrunnlaget bør være tilgjengelig tidligst mulig og senest ved oppstart av geologisk feltkartlegging. Se veiledning V521[10]for bestilling av kartgrunnlag.

Eksempel på innhold i kartgrunnlaget:

- *Objekter i kartgrunnlaget tegnes med omriss i svart-hvitt. Fargelagte og skraverte flater unngås.*
- *Planlagt regulert veg og tunnel med påhugg, hvor hele tverrsnittet vises.*
- *Høydekoter med 1 m ekvidistanse, tellekoter pr. 5 m med høydepåskrift.*
- *Elver, bekker og vann, og dybdekoter der vann ligger nær traséen.*

Krav 2.2—2 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Kart til presentasjon av geologiske data i de ulike planfasene skal som hovedregel være i målestokk 1:1000 på A3-format. Målestokk ses i sammenheng med bergoverdekning, tunnellengde, omgivelsene, kompleksitet, informasjonsmengde, samt antall traséforslag. Tunneler med liten eller moderat overdekning opp til 60-70 m, gir mulighet for å få med plan- og lengdeprofil på samme tegning. Tunneler under bebyggelse, infrastruktur, vann og myr, etc., skal være i stor målestokk (1:1000 eller større i kritiske områder), mens lange tunneler med stor bergoverdekning og begrenset informasjonsmengde kan vises i mindre målestokk (1:2000 eller mindre).

Krav 2.2—3 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

De geologiske forundersøkelsene og annen relevant geometrisk informasjon skal sammenstilles i en 3D-modell.

Veiledning til kravet

Veiledning V770[11] beskriver prosjektering med 3D-modell og hvordan grunnlagsdata og modeller bestilles, utarbeides og leveres i vegprosjekter. Se også veiledning V521 [10].

Relevant geometrisk informasjon kan være terrengoverflate, lag i grunnen, tunnelgeometri, kjellere o.a.

I de fleste tilfeller vil objektets type gi om det er en faktaopplysning (f.eks. geologiske blotninger) eller en tolkning (f.eks. svakhetssoners retning mot dypet). I modellen må det være mulig å skille mellom ulike typer opplysninger. Om modellen inneholder tilstrekkelig informasjon kan det lages tverrprofiler og lengdeprofiler av tunnelområdene med geologisk informasjon. Hvis ikke, suppleres tegninger og illustrasjoner slik at de blir på et tilfredsstillende nivå.

3D-modellen anses som et supplement til geologiske rapporter. Det er viktig at geologisk rapport inneholder illustrasjoner og tegninger slik at den står for seg selv og kan leses uten tilgang til den geologiske modellen. Dette bl.a. for å få all informasjon tilgjengelig på en enkel måte - også uten et behov for spesialprogramvare og brukerkompetanse.

2.3 Kontroll og kvalitetssikring av geologiske rapporter og prosjektering

Krav 2.3—1 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Det skal utføres kontroll og kvalitetssikring av geologiske rapporter i alle planfasene av vegtunnelprosjekter. Kontroll og kvalitetssikring omfatter planleggings- og prosjekteringsforutsetninger, omfang av geologiske forundersøkelser, sikkerhetsnivå, beregninger, beskrivelser, tegninger, kontrollplaner m.v.

Veiledning til kravet

Det vises til NS-EN 1990+NA[12]. Prosjekteringskontroll og utførelseskontroll angis i geologiske rapporter. I særskilt kompliserte tilfeller kan det være aktuelt å velge pålitelighetsklasse 4. Kontroll og kvalitetssikring av geologiske rapporter initieres i forbindelse med de første geologiske forundersøkelsene og planleggingsarbeidene og gjennomføres deretter i planlegging, prosjektering, bygging og inn i driftsfasen.

Vegnormal N500 knytter ikke lenger kontroll og kvalitetssikring til geotekniske kategorier gitt i NS-EN 1997-1+NA[13].

Krav 2.3—2 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Vegtunnelprosjekter i plan- og prosjekteringsfase skal generelt klassifiseres i konsekvensklasse 3 og pålitelighetsklasse 3, og noen vegtunnelprosjekt kan klassifiseres i pålitelighetsklasse 2, jf. NS-EN 1990+NA [12]. Særskilte vegtunnelprosjekter og tunnelelementer skal vurderes om de klassifiseres i pålitelighetsklasse 4:

- Undersjøiske tunneler.
- Tunnelpåhugg og bergrom, for eksempel med kryssløsninger.
- Tunneler og tunnelstrekninger i tettbygd strøk og byområder
- Tunnel og tunnelstrekninger der det forventes ugunstige forhold. Det kan være ugunstige grunnforhold og stabilitetsforhold, eller en kombinasjon av flere forhold: tetthetskrav, bergspenninger, bergartstyper, nærhet til konstruksjoner, sprekkegeometri og spennvidde.
- Tunneler og tunnelstrekninger der bergoverdekning er mindre enn spennvidde
- Tunnelstrekninger med innslag av forurensende bergmasse.

Krav 2.3—3 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Kontrollform og kontrollklasser ved prosjektering og ved utførelse er gitt i NS-EN 1990+NA [12]. Kontroll i klassene PKK3, PKK4, UKK3 og UKK4 skal utføres av uavhengig foretak.

Veiledning til kravet

For tunneler er sammenhenger mellom konsekvensklasse (CC), pålitelighetsklasse (RC), prosjekteringskontrollklasse (PKK) og utførelseskontrollklasse (UKK) vist i Tabell 2.3—1.

Tabell 2.3—1 — Sammenhenger mellom konsekvens, pålitelighet og kontroll

Konsekvens-klasse(CC)	***Pålitelighets-klasse(RC)***	***Prosjekteringskontroll-klasse(PKK)***	***Utførelseskontroll-klasse(UKK)***
CC3	*RC4*	*PKK4*	*UKK4*
CC3	*RC4*	*PKK3*	*UKK4*
CC3	*RC3*	*PKK3*	*UKK3*
CC3	*RC3*	*PKK2*	*UKK3*
CC3	*RC2*	*PKK2*	*UKK2*

2.4 Geologiske forundersøkelser i tidlig planfase

Krav 2.4—1 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Følgende forundersøkelser og vurderinger skal gjøres:

- Lokalisering av egnede tunnelstrekninger.
- Kartlegging avområder som kan være vesentlige for kostnader og sikkerhet og dermed gjennomførbarhet avskisserte tunnelstrekninger.

Veiledning til kravet

De geologiske forundersøkelsene gir 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 traséer. Aktuelletraséalternativer reduseres i tidlig planfase. Det er derfor viktig å få en oversikt over kostnadene for alle aktuelle alternativer.

Krav 2.4—2 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Forundersøkelsene skal som et minimum omfatte:

— Innsamling og vurdering av eksisterende informasjon. Geologiske og topografiske kart, publikasjoner (NGU, fagartikler, brønndatabasen o.a.) og rapporter fra tidligere utførte undersøkelser.

— Geologisk informasjon fra eventuelle nærliggende anlegg og eksisterende tunneler.

— Lineamentsanalyse på bakgrunn av kart og/eller flyfoto.

— Vurdering av områder som kan være spesielt utsatt for påvirkning fra tunnelen. Dette gjelder forhold som fare for skadelig grunnvannssenkning, setninger, vibrasjoner, utslipp mv.

— Vurdering av usikkerhet om bergoverdekning.

Veiledning til kravet

Forundersøkelsene tilpasses til tunnelprosjektet: Ligger prosjektet i bynære strøk eller ikke; er tunnel undersjøisk eller på land.

Tidligere erfaringer og data knyttet til bergmekaniske forhold og steinmaterialkvalitet i området kan ha stor betydning for den videre planleggingen. En gjennomgang baseres på tilgjengelig kartmateriale, geologisk kartlegging, utførte grunnboringer, geologisk informasjon fra eventuelle nærliggende anlegg og eksisterende tunneler, og øvrige aktuelle undersøkelser. Det kan også foreligge undersøkelser utført av NGU eller universiteter og høyskoler. Se også veiledning V521 [10].

For undersjøiske tunneler utføres refleksjonsseismikk i aktuelle traséer for å si noe om bergoverflate og løsmassemektighet og dermed gjennomførbarhet av tunnelprosjekter. Forundersøkelseneomfatter også overgangssonene mellom land og sjø.

Ved plassering av tunnelpåhugg er det viktig å være oppmerksom på områder der det er fare for skred eller flom.

Krav 2.4—3 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Forundersøkelsene skal sammenfattes i en geologisk rapport.

— Oversiktskart med tunneltrasé(er) og profilnummer for hvert tunnelløp.

— Geologiske kart med data fra eventuell feltkartlegging med geologiske observasjoner:Målestokk avhengig av prosjektets omfang, utførte grunnboringer, eventuelt utførte seismiske undersøkelser, kjerneboringer og øvrige undersøkelser.

— Geologiske profiler (høyde/lengde 1:1), og utførte grunnboringer.

— 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, 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 vurdering av behov for boringer, geofysiske undersøkelser, prøvetaking, laboratorieanalyser m.m.

— Referanser.

Veiledning til kravet

I geologisk rapport gis en beskrivelse av behovet for videre undersøkelser og hvert traséalternativ omtales spesielt.Traséalternativ som krever omfattende forundersøkelser, omtales spesielt.Kompliserttunneldrift og andre utfordringer beskrives. Se veiledning V521 [10].

2.5 Geologiske forundersøkelser i kommunedelplan

Krav 2.5—1 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Forundersøkelsenebaseres på utførte forundersøkelser i tidlig planfase, og forundersøkelsene skal som et minimum omfatte:

— Kartlegging av løsmasser og berg i dagen, svakhetssoner og strukturretninger i berget.

— Felt- og grunnundersøkelser.

Veiledning til kravet

I kommunedelplanfasen gjøres som regel geologiske forundersøkelser av to eller flere traséalternativer. Forundersøkelsene danner det geologiske grunnlaget for valg av veglinje. Grunnundersøkelsene skal dokumentere de tekniske løsningene som foreslås, og at disse er gjennomførbare. Grunnundersøkelsene danner videre grunnlag for mengdeberegninger. Forundersøkelsene tilpasses tunnelprosjektet: Ligger prosjektet i bynære strøk eller ikke; er tunnel undersjøisk eller på land. Se veiledning V521[10].

Det er viktig at det arbeides tverrfaglig på fagområdene geologi, geoteknikk, hydrologi, hydrogeologi og miljøgeologi. Se kapittel 3 for plan for oppfølging av ytre miljø.

Krav 2.5—2 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Felt- og grunnundersøkelsene og de geologiske vurderingene og tolkningene skal omfatte følgende:

— Bergmassen
  - Bergarter og bergartsgrenser. For undersjøiske tunneler angis også bergarter på landsidene.
  - Lagdeling og foliasjon.
  - Sprekkemønster og sprekketetthet.
  - Svakhetssoner.
  - Lineamentsstudier fra kart og oversiktsfoto fra fly eller andre digitale karttjenester.
  - Omfang av dypforvitring.
  - Eventuelt behov for detaljerte undersøkelser av miljøfarlig bergmasse.
— Løsmasser, typer og mektighet. For undersjøiske tunneler angis også vanndybder og sjøbunnstopografi.
— 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 flora og fauna.
  - Kartlegging av setningsømfintlige områder.
  - Etablering av krav til begrensning av innlekkasje i de ulike deler av tunnelen, basert på poretrykksmålinger og tolkning av skadepotensiale.
  - Fastsettelse av influensområde.
— Kartlegging av kvalitet på steinmaterialer f.eks. med tanke på bruk i vegbyggingen, og behov for godkjent mottakfor forurensning.
— Identifikasjon av bergarter som kan føre til sur eller giftig avrenning, f.eks. høyt kisinnhold og alunskifer.
— Grunnundersøkelser for aktuelle deponier.
— Vurdering av plassering av påhugg og forskjæringer, samt skredfare.
— Behov for og gjennomføring av geofysiske undersøkelser.
— Behov for og gjennomføring av kjerneboringer eller andre typer borehullsinspeksjoner.

Veiledning til kravet

Se veiledning V521[10].

Krav 2.5—3 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

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

Krav 2.5—4 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Forundersøkelsene skal sammenfattes i en geologisk rapport.

— Oversiktskart med tunneltrasé(er) og profilnummer for hvert tunnelløp.

— Geologiske kart med data fra feltkartlegging med geologiske observasjoner, presentert med sprekkemålinger langs trasé, utførte grunnboringer, eventuelt utførte seismiske undersøkelser, kjerneboringer og øvrige undersøkelser.

— Geologiske profiler for traséalternativene presentert med høyde/lengde 1:1.

— 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, f.eks. svakhetssoner, høye bergspenninger, berg som representerer miljøfare.

— Oppdatert forslag til plan for videre forundersøkelser, med behov for boringer, geofysiske undersøkelser, prøvetaking, laboratorieanalyse m.m.

— Referanser.

2.6 Geologiske forundersøkelser i reguleringsplan

Krav 2.6—1 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Alle geologiske forundersøkelser skal være utført før godkjenning av reguleringsplan.

Veiledning til kravet

De geologiske forundersøkelsene i reguleringsplanen, sammen med forundersøkelsene i tidligere planfaser, danner grunnlaget for prosjektering og utarbeidelse av byggeplan. Det er viktig at det arbeides tverrfaglig på fagområdene geologi, geoteknikk, hydrologi, hydrogeologi og miljøgeologi sammen med vegplanlegger og koordinator for ytre miljø. Se kapittel 3 for plan for oppfølging av ytre miljø.

Krav 2.6—2 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Det skal utføres bergmasseklassifisering med bruk av Q-metoden.

Veiledning til kravet

Se veiledning V521 [10].

Krav 2.6—3 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Følgende skal dokumenteres:

— Influensområder med tanke på grunnvannssenkning og fare for setninger.

— Kartlegging av løsmasser: tykkelse og setningsømfintlighet.

— Registrering av fundamenteringsforhold for byggverk.

— Vurdering av aktuelle tiltak for å oppfylle fastsatte lekkasjekrav.

— Vurdering av miljømessige konsekvenser ved avrenning fra tunnel.

— Skredfare i påhuggsområder.

Veiledning til kravet

For undersjøiske tunneler gjelder spesielt: Bergoverdekning mindre enn 50 m godkjennes av Vegdirektoratet, basert på dokumentasjon som viser at dette er forsvarlig (se punkt 2.1).

Krav 2.6—4 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Det skal utarbeides geologisk rapport for reguleringsplanen, som er basert på tidligere forundersøkelser, grunnundersøkelser og feltarbeid. Geologisk rapport skal skille mellom måleresultater, faktiske observasjoner og tolkninger. I rapporten skal det tydelig framkomme hva som er fakta og hva som er tolkninger. Geologiske kart fra feltundersøkelser, med profiler av trasé og påhugg legges i eget vedlegg til geologisk rapport.

Veiledning til kravet

Resultater fra de tidligere forundersøkelsene tas med i geologisk rapport for reguleringsplan. Dette gjelder også resultater fra traséer som nå ikke lenger er aktuelle, og dette kan f.eks. være seismiske undersøkelser, der lavhastighetssoner er dokumentert og geografisk plassert i terrenget. Se veiledning V521[10].

3D-modell anses som et supplement til geologiske rapporter. Det er viktig at geologisk rapport inneholder illustrasjoner og tegninger slik at den står for seg selv og kan leses uten tilgang til den geologiske modellen. Dette bl.a. for å få all informasjon tilgjengelig på en enkel måte - også uten et behov for spesialprogramvare og brukerkompetanse.

Krav 2.6—5 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Faktadelen i geologisk rapport for reguleringsplan skal inneholde:

— Oversiktskart med tunneltrasé(er) og profilnummer for hvert tunnelløp.

— Beskrivelse av bergarter, foliasjon, strukturer og andre geologiske observasjoner.

— Analyse av sprekketetthet og sprekkeorientering. Sprekkerose og stereoplott.

— Resultater fra utførte forundersøkelser:

- Grunnboringer (bergkontroll, totalsondering, annen sondering).
- Kjerneboringer.
- Geofysiske undersøkelser.
- Kvalitetsanalyser av steinmaterialer.
- Miljøgeologiske undersøkelser.

— Beskrivelse av spesielle lokale hensyn.

— Oppsummering og konklusjon.

— Referanseliste (geologiske rapporter og annet som denne rapporten bygger på).

Veiledning til kravet

— *Bergartene langs traséen identifiseres og navngis korrekt. Utseende, foliasjon/lagdeling, folding og typisk oppsprekking beskrives. Gode fotografier er viktig. Bergarter med høyt kvartsinnhold, asbest, spesiell kjemi, radon, etc. vies spesiell oppmerksomhet og omtales videre i tolkningsdelen. Svakhetssoner, sprekkesoner, forkastninger og bruddsoner er sjelden direkte blottet, men de beskrives på grunnlag av de data som er fremskaffet, også i en regionalgeologisk kontekst hvis det er relevant. Svakhetssoner omtales og beskrives videre i tolkningsdelen.*

— *Resultatene fra kartlegging av sprekker presenteres i tekst og diagrammer (sprekkeroser og polplott) sammen med tunnelens retning og med representative sprekkemålinger. Analysen kan deles inn i mindre underområder dersom det gir et bedre og mer oversiktlig bilde av forholdene langs traséen.*

— *Totalsonderinger, bergkontrollboringer o.l. er presentert i egne geotekniske rapporter, og det refereres til disse. Boringene legges også inn på geologiske kart og på lengde- og tverrprofiler.*

— *Hovedkonklusjonene i rapport fra logging av kjerneprøver tas med i geologisk rapport både med tekst og figur, dvs. geologiske kart og lengdeprofiler eller egen tegning.*

— *Hovedkonklusjonene fra eventuelle geofysiske undersøkelser presenteres i geologisk rapport. Det vises til de enkelte fagrapportene.*

— *Resultat av kjemiske og mineralogiske analyser samt eventuelle utlekkingstester presenteres, og det legges vekt på forhold som har forurensningspotensial, f.eks. variasjon i tungmetallinnhold, syrepotensial, forvitringstilstand og fragmenteringsegenskaper. Det beskrives resultater fra vannkjemiske analyser av bekkevann som drenerer gjennom området. Det refereres til resipientundersøkelser, vernestatus og sårbarhet.*

— *Dersom det er tatt prøver av bergartene langs traséen, og disse er undersøkt i laboratorium med tanke på bruk til vegformål (Los Angeles og micro-Deval), tas resultatene inn i faktadelen.*

— *Andre undersøkelser og målinger f.eks. optisk eller akustisk televiewer i borehull, bergspenningsmålinger, petrografiske undersøkelser og tynnslip. Rene observasjoner og registreringer beskrives i faktadelen med referanse til fagrapporten, og disse vises i tillegg på det geologiske kartet med geografisk lokalisering. Diskusjon og tolkninger legges inn i tolkningsdelen.*

Boredata og registreringer fra egne brønner for poretrykk og grunnvannstand presenteres i faktadelen med referanse til fagrapporten. De hydrogeologiske vurderingene gis i tolkningsdelen.

- *Eksempel på lokale forhold som kan ha betydning eller få konsekvenser for tunnelen er: Brønner (både drikkevanns- og energibrønner) og vannreservoarer/nedslagsfelt registreres. Hvis det er utført egen hydrologisk/hydrogeologisk undersøkelse, tas et sammendrag med i geologisk rapport, og det vises til fagrapporten. Forekomst og håndtering av forurenset grunn, f.eks. alunskifer, sulfidførende gneiser eller berg som klassifiseres som radioaktivt avfall, dokumenteres med referanse til egne fagrapporter, som påviser sammenhenger mellom forurensningspotensial og påvirkning på lokale resipienter. Sjelden er samtlige vann- og energibrønner registrert, og derfor kan det være aktuelt å kontakte huseiere for å unngå overraskelser i byggeperioden. Hvordan tunnelen kan påvirke brønner, beskrives i tolkningsdelen.*
- *Fullstendig referanseliste over håndbøker, artikler, rapporter og nettsider, og det forutsettes at referansene er sporbare og tilgjengelige.*

Krav 2.6—6 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Tolkningsdelen i geologisk rapport til reguleringsplan skal inneholde:

- Tolkning av de geologiske forholdene langs tunneltraséen: bergartsgrenser, bruddstrukturer og svakhetssoner og lokalisering i tunnelnivå.
- Vurdering av usikkerhet i bergoverdekning og ved påhugg.
- Bergmasseklassifisering med Q-verdier fra feltkartlegging estimert i tunnelnivå og presentert langs traséen med sikringsestimat ihenhold til Tabell 7.5—1.
- Omtale av løsmasser og geotekniske forhold. Konsekvenser for skredfare, setninger og miljø.
- Omtale av hydrogeologiske forhold, eventuelle brønner og vannmagasiner.
- Vurdering av sannsynligheten for å få vann som skaper driveproblemer.
- Anbefaling om maksimal innlekkasje for å unngå skadelig poretrykksenkning.
- Vurdering av omfanget av injeksjonsarbeider.
- Påpekning av eventuelle forhold som kan ha betydning for boring og sprengning (boreavvik, ladevansker o.a.).
- Vurdering av sannsynlighet for å påtreffe høye/lave bergspenninger.
- Påpekning av usikkerheter eller spesielle risikomomenter.

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

Veiledning til kravet

- *På grunnlag av innsamlede observasjoner og registreringer beskrives de geologiske forholdene (bergarter, oppsprekking, svakhetssoner) langs tunneltraséen med tolkning til tunnelnivået og relatert til profilnummer. Bruddstrukturer og svakhetssoner som kan gi problemer diskuteres. Muligheten for å treffe på dårlig bergmassekvalitet eller vannproblemer, belyses og diskuteres. Det gis en omtale av bergarter som kan føre til sur eller giftig avrenning.*
- *Med minkende bergoverdekning øker også konsekvensen av usikkerheten i bergoverflatens reelle beliggenhet særlig ved påhugg. Verdien av og usikkerheten i utførte undersøkelser diskuteres, og eventuelle tiltak beskrives.*
- *Fra tilgjengelige data og observasjoner beregnes Q-verdier slik at antatt bergmasseklasse A, B, C, osv. kan vises langs lengdeprofilet og/eller i tabeller med tilhørende profilnummer. Q-systemets inngangsparametere presenteres sammen med antakelsene. Beregnede Q-verdier fra borehullkjerner tatt nær tunneltraséen presenteres. Resultatene vises på kart og lengdeprofiler, eller tegninger og i tabeller.*
- *Løsmasser og geotekniske forhold som kan bli påvirket av tunnelen, diskuteres. Det vises til geotekniske rapporter der slike foreligger. Eventuell setningsproblematikk og skredfare (f.eks. kvikkleire) omtales, og behov for tiltak diskuteres.*
- *Hydrogeologiske forhold, f.eks. grunnvann, brønner og vannreservoar, beskrives og diskuteres. Det diskuteres hvordan tunnelen påvirker grunnvannet, og hvilke tiltak som iverksettes. Risikoen for å få store vannmengder inn i tunnelen, beskrives og vurderes. Etablering av påhugg gis særskilt oppmerksomhet rundt temaet lekkasje av vann inn i tunnelen og behov for tiltak mot senkning av grunnvannstanden. De hydrologiske forholdenes betydning for tunneldriften diskuteres.*
- *Når det utarbeides krav til begrensning av vannlekkasje bak stuff, f.eks. på grunn av naturmiljø; fare for skadelige setninger; drikkevannskilder, tas kravene inn i rapporten som tabell eller kart. Begrensningene gis som maksimum tillatt vannlekkasje inn i tunnelen i liter/minutt pr. 100 m tunnel. I toløpstunneler gis kravene fortrinnsvis samlet for begge løp.*

- *Det anslås et forventet omfang av forinjeksjon. Når innlekkasje i tunnelen får store konsekvenser og det settes meget strenge krav til begrensning av lekkasje, påregnes systematisk injeksjon. Når det settes moderate krav til begrensning av lekkasje, kan det være tilstrekkelig med injeksjon basert på sonderboring.*
- *Spesielt harde eller oppsprukne bergarter, som kan gi bore- eller ladevansker, beskrives. Dette gjelder f.eks. bergarter med høyt kvartsinnhold. Sprengbarhet vurderes ut fra de ulike bergartene.*
- *Der det ikke er gjort egne spenningsmålinger, vurderes sannsynligheten for å påtreffe høye eller lave bergspenninger på grunnlag av berggrunn, topografi og overdekning. Eventuelle konsekvenser for tunneldrivingen diskuteres. Informasjon i publiserte artikler, rapporter og erfaringer fra nærliggende tunneler og bergrom benyttes der den er tilgjengelig.*
- *Der det er registrert bergarter som kan føre til forurensning, beskrives behovet for spesiell håndtering og mottak av steinmaterialer.*
- *Resultater fra analyser av steinmaterialkvalitet diskuteres. Kvaliteten kan variere innen samme bergartsenhet langs traséen, og det tas hensyn til usikkerhet ved projisering ned mot tunnelen. Det gjøres oppmerksom på at resultatene kun gjelder prøvematerialet, og ikke kan ses på som representativt for hele bergarten slik den vises på geologisk kart og profil.*
- *Det er viktig at usikkerhet kommer fram i tolkningsdelen av rapporten, f.eks. usikkerhet knyttet til mektighet av svakhetssoner, bergarter og lekkasjeforhold. Spesiell risiko omtales, f.eks. kvartsinnhold, asbest, bergartskjemi og radon.*

Krav 2.6—7 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Krav til innhold og form på geologiske kart og profiler:

- Kart til presentasjon av geologiske data skal være i målestokk 1:1000 i A3. Registreringer presenteres på kart og profil sammen med tunneltraséen. Kart med geologiske observasjoner skal vise bart berg og løsmasser, bergarter og bergartsgrenser, svakhetssoner, sprekker og foliasjon, alle typer boringer, ev. seismiske og øvrige undersøkelser.
- Geologisk kart, samt lengde- og tverrprofiler av forskjæring, påhuggsområdene m.m.presenteres i målestokk 1:500-1:1000 i A3-format.
- Geologiske profiler presenteres med høyde/lengde 1:1.

Veiledning til kravet

- *Bergartstype, løsmasser, strøk og fall, sprekker, foliasjon og svakhetssoner tegnes inn på kart. Der det ikke er plass til all informasjonen, trekkes noe informasjon ut og vises annet sted.*
- *Grunnboringer, seismikk og resistivitet, kjerneboringer, o.l. vises på geologisk kart. Når det er plassmangel, vises boringer som punkter uten boreinformasjon; seismikk og resistivitet som linjer med fortykkelse for soner med lavhastighet/høyresistivitet; og kjerneboringer som pil for ansett og retning/stupning. Som et minimum angis geografisk plassering.*
- *Store mengder innsamlet informasjon er gjerne knyttet til spesielle områder og teknisk utfordrende strekninger. Det kan f.eks. være liten bergoverdekning, som under en dalbunn, et elveløp, rett under bebyggelse; påhuggsområder; og nærliggende bergrom og tunneler. Kart og profiler med alle opplysninger forstørres opp i disse områdene.*
- *Bergarter som kan føre til forurensning, presenteres på geologiske kart og profiler slik at forekomst og omfang av slik bergmasse kommer tydelig fram på tunnelnivå.*
- *Påhuggsområdene beskrives grundig på mer detaljerte kart, helst i målestokk 1:500 eller større. Påhuggsområdet vises fortløpende ved siden av lengdeprofil fra forskjæring og inn forbi planlagt påhugg - og sammen med informasjon om geologi og utførte grunnundersøkelser som boringer og seismikk.*
- *Det konstrueres lengdeprofiler i samme målestokk som det geologiske kartet - uten vertikal overdrivelse. Lengdeprofiler gir best mulig tolkning av geologien ned mot tunnelnivå.*
- *Se også veiledning til faktadel og tolkningsdel i geologisk rapport (hhv. Krav 2.6—5 og Krav 2.6—6).*

2.7 Geologisk rapport for byggeplan

I prosjekteringsfasen bearbeides prosjektet frem til ferdige konkurransegrunnlag for entreprisearbeidene ved utførelsesentreprise og for byggeplan/detaljprosjektering ved andre entrepriseformer.

Krav 2.7—1 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Det skal utarbeides en geologisk rapport for byggeplanlegging. Geologisk rapport for byggeplan utarbeides på grunnlag av forundersøkelser utført i reguleringsplanfasen. Rapporten skal være i henhold til rapport for reguleringsplan, se Krav 2.6—5, Krav 2.6—6 og Krav 2.6—7.

Veiledning til kravet

Geologisk rapport for byggeplan baseres på geologisk rapport for reguleringsplan, og den bygges opp med følgende innhold:

- *Innledningsvis gis kort oversikt over prosjektet som byggeplanlegges.*
- *En oversikt over utførte undersøkelser.*
- *En oversikt over vegtrasé med profilnummer vist på topografisk oversiktskart og på berggrunnsgeologisk oversiktskart fra NGU.*

Geologisk rapport for reguleringsplan er oppdelt i en faktadel og en tolkningsdel, og dette gir den prosjekterende og utførende entreprenør best mulig informasjon om bergforholdene som grunnlag for egne tolkninger og vurderinger av grunnforholdenes betydning for arbeidet. Se veiledning til Krav 2.6—5, Krav 2.6—6 og Krav 2.6—7 og veiledning V521 [10].

Krav 2.7—2 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Resultater fra eventuelle supplerende grunnundersøkelser og kartlegging og f.eks. måleresultat fra overvåking av omgivelsene (grunnvann og setninger) skal rapporteres i geologisk rapport for byggeplan.

Veiledning til kravet

Det kan bli utført supplerende grunnundersøkelser for å bekrefte mengdeberegningene, eller andre vesentlige forhold, f.eks. detaljer ved portalområder, forskjæringer og etablering av påhugg. Det kan i tillegg være aktuelt å justere planlagt omfang av kartlegging og overvåkning av omgivelsene (grunnvann og setningsfare) basert på de måleresultatene som foreligger.

3 Ytre miljø

3.1 Generelt

Relevante forhold knyttet til ytre miljø kartlegges og innarbeides i en prosjektspesifikk plan for oppfølging av ytre miljø, med utgangspunkt i N5 3466 *Miljøprogram og miljøoppfølgingsplan for ytre miljø for bygge- og anleggs- og eiendomsnæringen*[14]. Basert på planen foretas en vurdering av hvilke registreringer og måleprogrammer som er nødvendige i de ulike fasene av prosjektet for å ivareta ytre miljø.

Krav 3.1—1 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Plan for oppfølging av ytre miljø skal som minimum omhandle miljøpåvirkningene og miljøaspektene nevnt under for de ulike faser av prosjektet, herunder planlegging, prosjektering og utbygging, samt drift og vedlikehold. Videre oppfølging avhenger av hvilke temaer som er relevante:

- Utslipp av støy
- Utslipp til luft (herunder støv) og kontroll med utslippene
- Utslipp til vann fra ulike aktiviteter (herunder avrenning fra ev. masselager) og kontroll
- Vibrasjonsutløsende aktiviteter
- Direkte og indirekte utslipp av klimagass
- Håndtering av avfall (herunder bunnrenskemasser og slam) og sirkulær økonomi (herunder gjenbruk)
- Håndtering av landskap, kulturminner og naturmangfold
- Håndtering av masser, herunder transport av forurensede masser og ikke-forurensede masser, masser i overskudd, samt masser forurenset med fremmede arter
- Håndtering av kjemikalier

Veiledning til kravet

Forurensningsloven sier at all forurensning er ulovlig, med mindre det er gitt tillatelse til forurensningen. Det søkes derfor om tillatelse til å forurense og innholdet i en slik søknad er beskrevet i forurensningsforskriften § 36.2. Med en slik søknad følger en stedspesifikk og prosjektspesifikk miljørisikovurdering, samt en plan for hvilke tiltak som gjennomføres for å minimere risiko for natur og miljø.

Unntaket er i forurensningsloven §8 (begrensning i plikten til å unngå forurensninger), denne lovparagrafen åpner for at forurensning fra midlertidig anleggsvirksomhet er tillatt. Unntaket gjelder kun dersom anleggsvirksomheten ikke medfører uakseptable skadevirkninger på natur og miljø (herunder sjø og vassdrag). Ved usikkerhet på om tiltaket er innenfor eller utenfor forurensningslovens §8 kontaktes statsforvalter, på bakgrunn av nevnte miljørisikovurdering. Med større vegprosjekter følger full søknad og saksbehandling.

Krav og restriksjoner i henhold til plan for oppfølging av ytre miljø er blant annet:

- *Setninger, vibrasjoner, luftsjokk, støy, utslipp*
- *Naturmiljø, vannbalanse*
- *Forutsetninger i vedtatte planer (spesielt reguleringsplan)*
- *Søknads- og meldeplikt i henhold til plan- og bygningsloven og andre lover og forskrifter*
- *Arbeidstidsbegrensninger*
- *Nabokontakt og nærinformasjon.*

Følgende inngår blant annet i registreringer og måleprogrammer:

- *Vurdering av behov for - og omfang - av bygningsbesiktigelse*
- *Program for vibrasjonsmålinger*
- *Behov for setningsbolter for registrering og senere kontrollmålinger*
- *Behov for registrering av grunnvannsnivå*

- *Målinger for dokumentasjon av vannlekkasjer i tunnel i forhold til fastsatte innlekkasjekrav*
- *Vannkvalitet for utslippsvann fra tunnel etter forutsatt rensing*
- *Oppfølging av vannkvalitet i resipienten*
- *Støymålinger/beregninger for dokumentasjon av at fastsatte krav holdes i byggefasen for bygge- og anleggsstøy og i driftsfasen for vegtrafikkstøy og støy fra tekniske installasjoner*

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

3.2 Utslipp av vann fra tunnel

Krav 3.2—1 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Det skal gjennomføres miljørisikovurdering, planlegges tiltak og søkes utslippstillatelse dersom avrenning fra midlertidige og permanente utfyllingsområder kan medføre fare for forurensning (jf. forurensningsloven).

Krav 3.2—2 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Tunneldrivevann skal renses ihenhold til fastsatte grenseverdier.

Veiledning til kravet

Drivevannet kan resirkuleres for å redusere vannforbruk.

Grenseverdier for innhold av olje og partikler i renset vann fastsettes for det enkelte prosjekt. Ved utslipp til sårbare resipienter og anleggsvirksomhet i spesielle bergarter, vurderes grenseverdier spesielt.

Grunn som danner syre eller andre stoffer som kan medføre forurensning i kontakt med vann og/eller luft (for eksempel tungmetaller, alunskifer), regnes som forurenset grunn dersom ikke annet er dokumentert, jf. forurensningsforskriften. Bergarter som kan gi forurensende avrenning kartlegges i detalj, se veiledning V521[10]. Utgravd alunskifer kan inneholde så mye radioaktive stoffer at den forvaltes som radioaktivt avfall. Direktoratet for strålevern og atomsikkerhet (DSA) er myndighet i slike tilfeller.

Krav 3.2—3 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Det skal gjennomføres en miljørisikovurdering for utslipp av vaskevann. Dersom miljørisikovurderingen tilsier at utslippene er, eller kan være til skade for miljøet planlegges rensetiltak og det søkes utslippstillatelse. Rensetiltaket dimensjoneres i tråd med lokal miljørisiko. Eventuelt slam fra rensetiltak håndteres i tråd med gjeldende avfallsregelverk.

Veiledning til kravet

Forurensningsloven er gjeldende for driftsvann, drensvann og vaskevann dersom utslippene er, eller kan være til skade for miljøet. Til slike utslipp søkes tillatelse. I forurensningsforskriften (§ 36-2) går det frem hva som kreves av innhold i en søknad. Det søkes om utslippstillatelse i henhold til forurensningsloven § 11 når det blir besluttet å etablere rensetiltak.

Myndighet for søknad om utslipp:

- *Utslipp til vassdrag: Statsforvalter*
- *Påslipp til kommunalt overvannsnett eller AF-ledning: Søknad til både Statsforvalter og kommunen*
- *Spillvann: Kommunen.*

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

Tunnelvaskevann inneholder en blanding av partikler og ulike forurensningsstoffer, bl.a. metaller, polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH) og vaskemidler i tillegg til mikroplast. Generelt er konsentrasjonene av forurensningsstoffer i tunnelvaskevann langt høyere enn i avrenningsvann fra veg i dagen ved sammenlignbar ÅDT. Hyppig vaskefrekvens kan redusere de akutt høye konsentrasjonene i utslippsvannet, men det totale forurensningsbidraget til vannforekomsten vil være det samme eller noe høyere. Økt vaskefrekvens kan derfor ikke anses som en erstatning for rensetiltak.

Avhengig av miljørisiko og dimensjonering av rensetiltaket, kan aktuelle rensetiltak være sandfang, supersandfang og sedimentasjonsbasseng, samt ulike filterløsninger, enkeltvis eller i kombinasjon. Rensetiltaket bygges med trygg og tilstrekkelig adkomst for vedlikehold, drift og prøvetaking før og etter vask, enten tiltaket ligger i eller utenfor tunnelen.

Sedimentasjonsbasseng bygd utenfor tunnelen anbefales å være lukket basseng, på grunn av frostproblematikk og/eller fare for gjengroing.

3.3 Støy ved tunnelåpninger

Krav 3.3—1 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Retningslinje for behandling av støy i arealplanleggingen (T-1442) fra Klima- og miljødepartementet [15] skal legges til grunn for tiltak ved tunnel som krever ny behandling etter Plan- og bygningsloven.

Veiledning til kravet

Retningslinjen viser til at støy inngår som tilstrekkelig utredet og sikret i reguleringsplan, og at omfang og utforming av kilderettede tiltak mot støy tas inn i planens kart og bestemmelse. Ev. bygging av tiltak mot støy vil kreve «ny behandling».

I tillegg til vegtrafikken er også ventilasjonssystem en mulig kilde til støyplage for naboer til tunnel. Akustikk- og elektrokompetanse er viktig tidlig i forbindelse med planlegging og prosjektering, for å sikre en helhetlig planlegging.

Veiledning for å vurdere bygg- og anleggsstøy finnes i veiledning M-2061 [16] til støyretningslinjen.

Støy fra tunnelåpning vil som hovedregel gi liten endring i gjennomsnittlig støynivå over døgnet. Støy fra tunnelåpning kan imidlertid ha negativ påvirkning på opplevelsen av støy i nærområdet til tunnelen (innenfor noen hundre meter, avhengig av området og lydforholdene generelt). Støy fra tunnelåpning nær bygninger med støyfølsom bruk vurderes særskilt.

3.4 Utslipp av gasser og partikler

Krav 3.4—1 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

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, rensetiltak mv.

Veiledning til kravet

Se også tunnelsikkerhetsforskriftene vedlegg 1, punkt 2.9.

Utslipp fra kjøretøyer ved tunnelåpningene vil bestå av forurenset luft med en forurensningsgrad som kan forårsake at nærområdet ved portalene utsettes for helseskadelig luft. Luftkvaliteten vurderes for å avgjøre om det er behov for etablering av rensetiltak/ventilasjonstårn.

Krav 3.4—2 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

I forbindelse med reguleringsplanarbeidet skal det utføres en konsekvensutredning av utslipp fra tunnel. Luftkvaliteten vurderes i henhold til *Retningslinje for behandling av luftkvalitet i arealplanlegging* (T-1520)[17], uavhengig av hvilken teknisk løsning som velges for utslipp fra tunnelmunninger og ventilasjonstårn.

Veiledning til kravet

Ved å behandle lokal luftkvalitet i en tidlig fase kan framtidige problemer ved tunnelmunningene unngås. I de fleste tilfeller er det enklere å gjennomføre eventuelle tiltak tidlig i en utbyggingsfase.

4 Geometrisk utforming

4.1 Generelt

Krav 4.1—1 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Krav til geometrisk utforming gjelder for vegtunneler med lengde fra 500 m til 10 km. Tunneler med lengde over 10 km skal godkjennes av Vegdirektoratet.

Veiledning til kravet

Lange tunneler har spesielle utfordringer, blant annet når det gjelder selvredningsprinsippet og innsats ved en hendelse.

Lengde for bytunneler og motorvegtunneler bør ikke overstige 4 km av hensyn til brannsikkerhet. En dagsone på 200 m eller mer er en effektiv sperre for spredning av røyk og ekstreme temperaturer i tunnelen ved brann.

Krav 4.1—2 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Der det sprenges to tunnelløp skal minste avstand mellom sprengningsprofilene være 10 meter.

Veiledning til kravet

I portalområdet tas det høyde for bergspenningsforhold, bergoverdekning, og påfølgende bergsikring i påhuggsområde, samt adkomst for redningstjenestene.

4.2 Vegutforming i tunnel

4.2.1 Linjeføring

Krav 4.2.1—1 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Vegtunnel skal bygges med stigning ≤ 5 %.

Veiledning til kravet

Vegnormal N100[1]setter krav til linjeføring og sikt som gjelder både utenfor og i tunnel – uansett tunnellengde. Unntaket er kravet til maksimum stigning, der N100 har andre krav for veg i dagen.

Krav til sikt kan være dimensjonerende for horisontalkurveradius i tunnel.

Statistisk er det større ulykkesrisiko i tunnelens innkjøringssoner enn midt i tunnelen. Belysning og lyse vegger med god kontrast mot vegbanen er risikoreduserende tiltak.

Det anbefales å legge inn en kurve ved tunnelåpningene for å unngå at sollys i åpningen forverrer synsforholdene for trafikantene. I lange tunneler (f.eks. > 6 km) kan det være aktuelt å legge inn slake kurver for å bryte monotonien.

4.2.2 Kryss i forbindelse med tunnel

Krav 4.2.2—1 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Kryss skal ikke anlegges i vegtunnel.

Veiledning til kravet

I noen tilfeller kan det være aktuelt å søke om fravik fra forbudet mot kryss i vegtunnel, for eksempel hvis muligheten for å anlegge kryss i dagen er begrenset av stedlige forhold. Følgende krysstyper kan da være aktuelle: ramper, akselerasjons- og retardasjonsfelt, T-kryss og rundkjøring.

Det tas høyde for bergtekniske forhold og trafikksikkerhet ved breddeutvidelse i tunnelen. Gjennomførbarhet vurderes, spesielt i de de tilfeller tunnelen planlegges med store bergrom. Veglinja justeres for å unngå løsninger som er unødvendig kompliserte eller gir unødvendige konsekvenser for ytre miljø.

Krav 4.2.2—2 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Der kryss utenfor vegtunnel plasseres nær tunnelåpningen, skal risikoforhold vurderes, deriblant for tilbakeblokkering inn i tunnelen.

Veiledning til kravet

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

4.2.3 Kjørefelt

Krav 4.2.3—1 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Det skal ikke være forbikjøringsfelt i tunnel, med unntak for lange stigninger hvor det er krav om forbikjøringsfelt ettervegnormal N100[1]. Et forbikjøringsfelt som påbegynnes inne i tunnelen skal avsluttes utenfor. Avstanden fra tunnelåpningen til starten på innsnevringen skal være minst den lengde et kjøretøy tilbakelegger på 10 sekunder når det kjører med hastighet lik fartsgrensen.

4.3 Tunnelportaler

Krav 4.3—1 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Vegtunneler skal ha portaler i tunnelmunningen. Tunnelportaler skal beskytte trafikanter ved utrasing av blokker eller stein, snøskred, nedfall av is eller liknende, samt hindre at vann renner ut over påhugget og ned i vegbanen. Lengden på frittbærende del utenfor tilbakefyllingsmasser skal være ≥ 2,0 meter.

Veiledning til kravet

Krav til prosjektering av tunnelportaler er gitt i vegnormal N400[7]. Ved risiko for nedfall og skred på portal vurderes behov for beskyttelse/støtpute i hvert enkelt tilfelle.

Tunnelportalen føres tilstrekkelig langt ut fra påhugget til å kunne ta imot nedfall av stein og is.

Minimum lengde på frittbærende del ivaretar trafikksikkerhet ved eventuell snøansamling og utrasing i vegbanen.

Behovet for portaler for rømningstunneler og nødutganger til det fri vurderes spesielt.

Krav 4.3—2 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Forskjæringen inn mot tunnelportalen skal ha tilstrekkelig bredde.

Veiledning til kravet

Bredden på forskjæringen vurderes ut fra plassbehov ved mulig nedfall av is, snø eller stein og plassbehov for portalstøp.

Krav 4.3—3 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Tunnelportalen og tilhørende rekkverk skal utformes slik at de ivaretar sikkerhet ved påkjørsel.

Veiledning til kravet

Tunnelportalen bygges med tilstrekkelig bredde for å ivareta rekkverksløsning i portalåpningen. Rekkverksløsningen tilpasses vann- og frostsikringskonstruksjon i tunnelen.

Krav 4.3—4 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Ved ÅDT > 6000 skal tunnelportalen utformes med traktform. For toløpstunneler gjelder dette som minimum i løpet for innkjørende trafikk.

Veiledning til kravet

Trakten utformes slik at tangentene til sirkelbuene er parallelle i overgangspunkter i profilet. Radius i veggen holdes konstant i henhold til normalprofilene. Radius i hengen tilpasses slik at hengen får en jevn overgang.

Traktform/traktutforming kan legges i eller utenfor tunnelen. Et eksempel på rekkverksløsning ved tunnelportal er vist i Figur 4.3—1. Betongrekkverk bygd uten hulrom mellom rekkverk og vegg er en drifts- og vedlikeholdsvennlig løsning.



Figur 4.3—1 — Eksempel på rekkverksløsning ved portal (E18 Larvik, Foto: google).

Krav 4.3—5 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Lengde på kontaktstøpt del av tunnelportal skal være ≥ 1 meter. Kontaktstøpt del skal støpes mot en membran som føres ned til drenasjenivå i tunnelsålen.

Veiledning til kravet

Lengden på kontaktstøpt del fastsettes på bakgrunn av bergmassekvalitet, bergoverdekning, type bergsikring m.m.

4.4 Tunnelprofiler

4.4.1 Generelle krav til tunnelprofiler

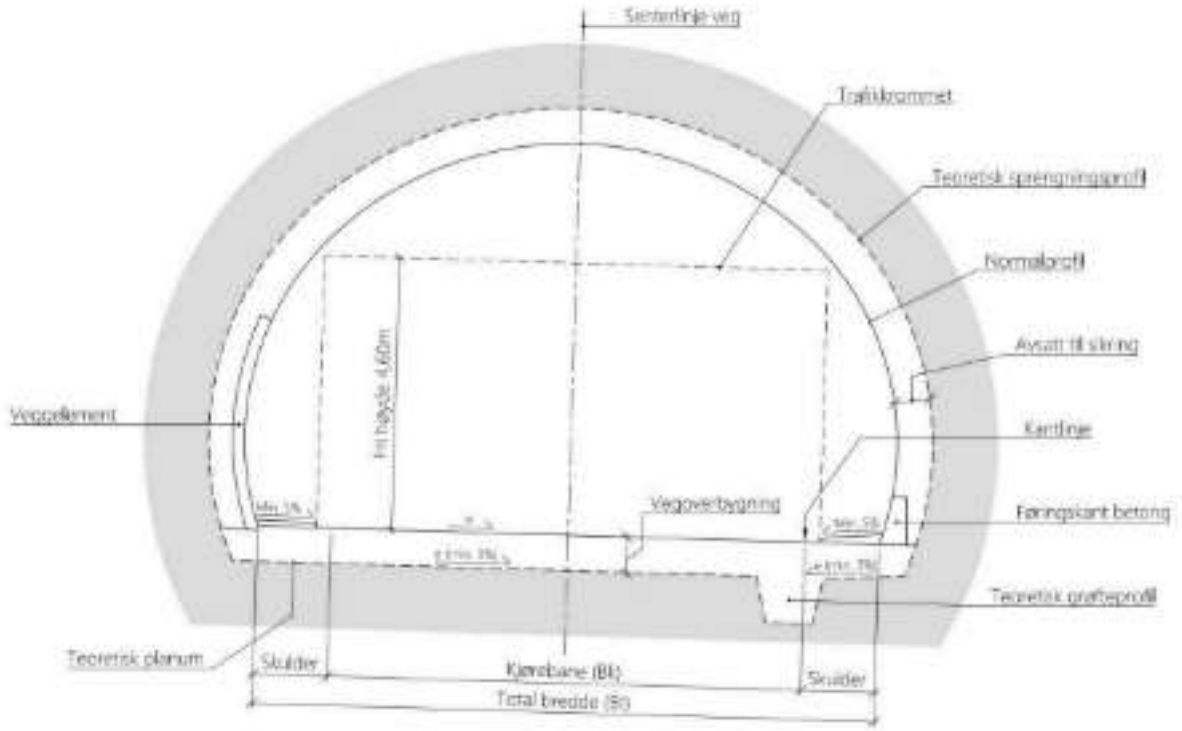
Krav 4.4.1—1 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Tunnelprofilet skal gi rom for skilt, signalanlegg og tekniske installasjoner. Minimum høyde til teknisk utrustning skal være 4,8 m over kjørebanen.

Veiledning til kravet

De enkelte tunnelprofilene er vist i vegnormal N100 [1]. Skjematisk tunnelprofil er vist i Figur 4.4.1—1. Behov for lokale utvidelser vurderes i hvert enkelt tilfelle.

Installasjoner inkluderer trekkerør, drenssystemer, ev. pumpeanlegg, renseløsninger o.a.



Figur 4.4.1—1 — Skjematisk tunnelprofil, vist med eksempel på veggelement og føringskant av betong.

Krav 4.4.1—2 **SKAL** Gjeldende fra 01.01.2024

Fri høyde i tunneler skal være 4,6 m. Kravet til fri høyde gjelder vinkelrett på kjørebanen, målt ved kantstein. Ved bruk av tunnelprofil T9,5 med forsterket kantoppmerking (se vegnormal N100 [1]) måles fri høyde i ytterkant av forsterket kantoppmerking (nærmest vegg).

Veiledning til kravet

Høyde er inkludert toleranser for vegoverbygning og senere justering av vegdekke (samlet avvik = 0,1 m).

Tunnelprofil T9,5 med forsterket kantoppmerking er vist i figur i Tillegg B i N100 [1].

Krav 4.4.1—3 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

For vegtunneler som er tilrettelagt for gang- og sykkeltrafikk skal fri høyde for gående og syklende være minimum 3,0 m.

Veiledning til kravet

Tunnelprofil for separat tunnel for gang- og sykkeltrafikk er gitt i vegnormal N100[1].

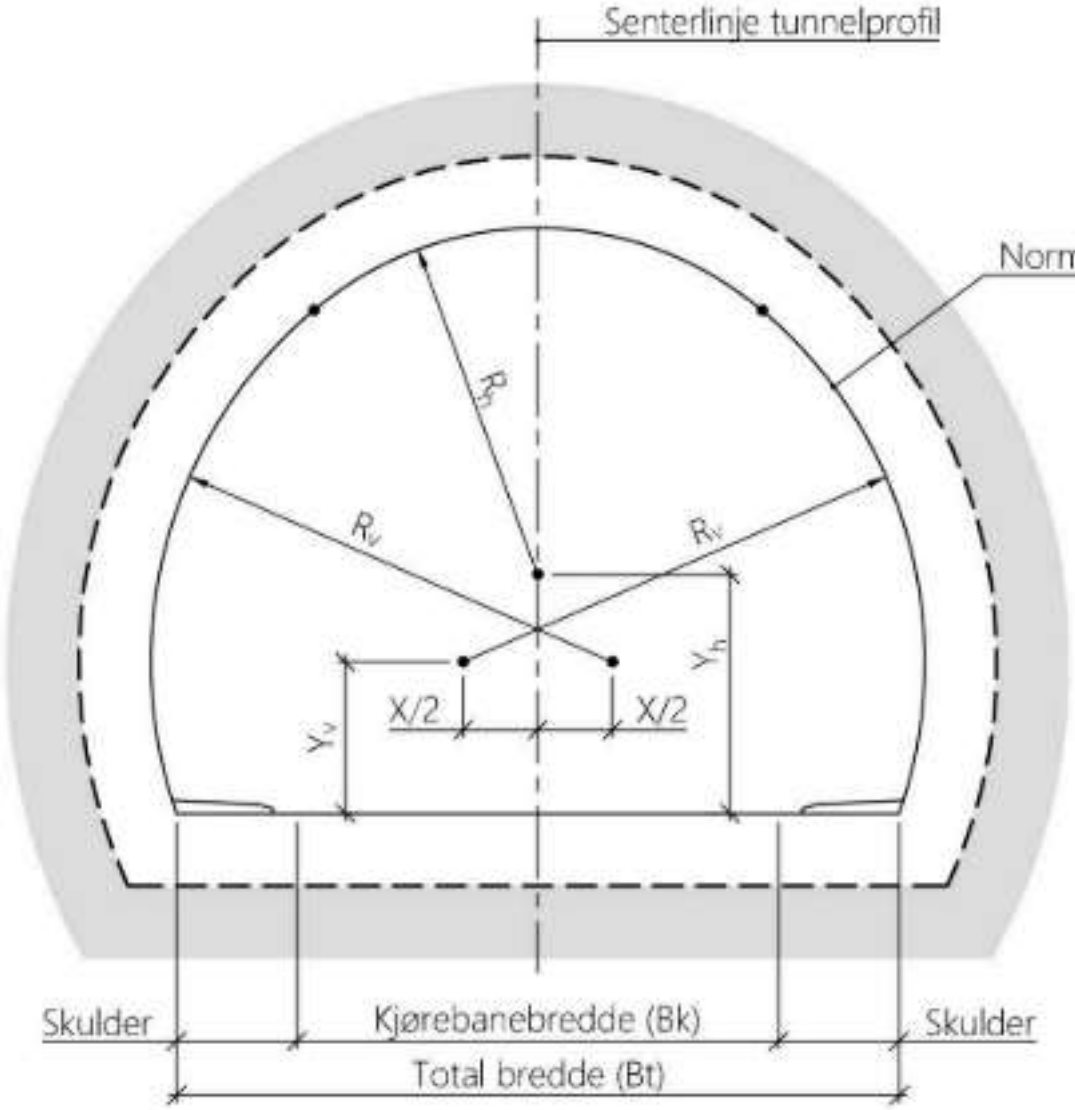
4.4.2 Geometriske mål

Krav 4.4.2—1 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

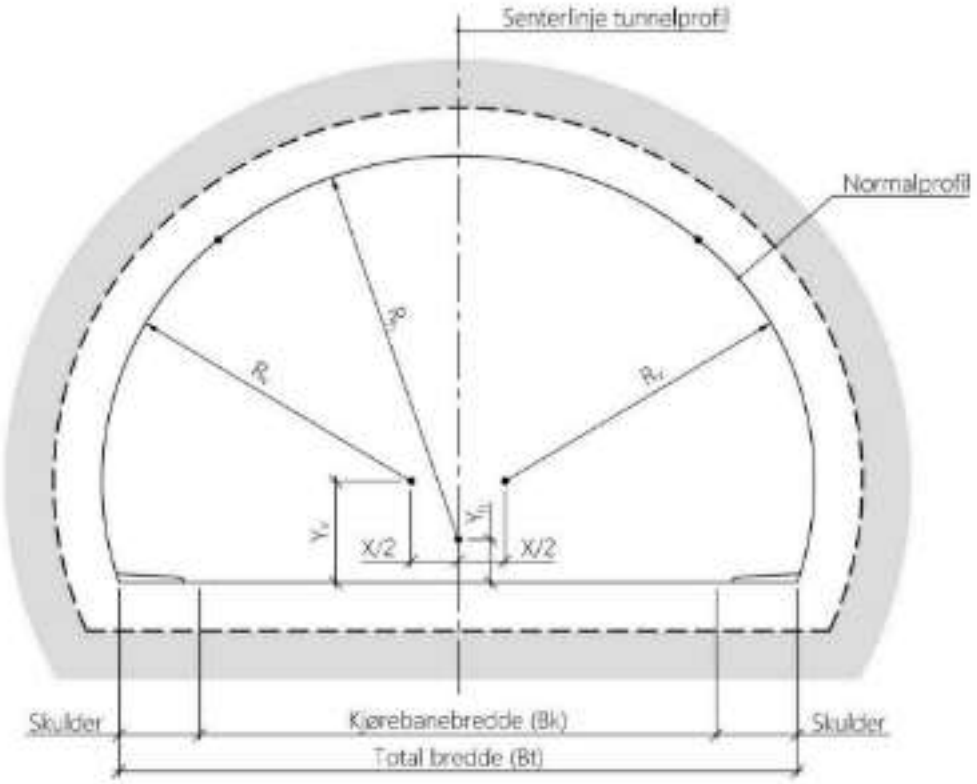
Vegtunneler skal utformes i henhold til geometriske mål gitt i Tabell 4.4.2—1, og vist i Figur 4.4.2—1 og Figur 4.4.2—2, og i henhold til vegnormal N100[1].

Tabell 4.4.2—1 — Geometriske mål for de ulike tunnelprofilene (mål gitt i m)

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



Figur 4.4.2—1 — Geometriske mål for tunnelprofil T5,5-T8,5 (målene er gitt i Tabell 4.4.2 —1)



Figur 4.4.2—2 — Geometriske mål for tunnelprofil T9,5-T14 (målene er gitt i Tabell 4.4.2—1)

Veiledning til kravet

I noen tilfeller kan det være grunn til å fravike standard tunnelutforming, som for eksempel:

- *ved behov for å legge traseen grunt. Tunneltaket legges parallelt med kjørebanen, mens det sirkulære profil beholdes for veggene.*
- *ved behov for å redusere bredden på byggegropa.*
- *for tunneler som dimensjoneres for vanntrykk. Firkantprofil gir mindre volum og dermed mindre oppdrift.*

Krav 4.4.2—2 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Tverrsnittsdata for tunnelprofilene under gitte forutsetninger går fram av Tabell 4.4.2—2. Tabellen gjelder for tunnelprofiler med ensidig tverrfall minimum 3 %.

Tabell 4.4.2—2 — Tunneltverrsnitt 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 normalprofilet over kjørebane og skulder, 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.

Veiledning til kravet

Ved ensidig tverrfall dreies profilet om vegens senterlinje.

Tunnelprofilet i ettløpstunneler dreies om vegens senterlinje til aktuelt tverrfall (3 % på rettstrekninger).

I toløpstunneler etableres en senterlinje for hvert løp. For toløpstunneler dreies dermed hvert enkelt løp om sin senterlinje ved tverrfallsendringer.

4.4.3 Tilpasninger av geometriske mål

Krav 4.4.3—1 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Ved overgang til nisjer og siktutvidelser skal tangentene til sirkelbuene være parallelle i overgangspunkter i profilet. Radius i veggen skal holdes konstant i henhold til normalprofilene i Tabell 4.4.2—1. Mellomliggende profiler skal gi tilstrekkelig plass til installasjoner, tunnelkledning og øvrig sikring, og stabilitetssikring skal ivaretas. Ved overgang til eventuell rampe skal tunnelprofilet beskrives i forhold til vegens senterlinje i rampe og vegens senterlinje i hovedløp.

Veiledning til kravet

Radius i hengen tilpasses slik at hengen får en jevn overgang og tangentene til sirkelbuene er parallelle i overgangspunkter.

Ved overgang i ramper kan rampen ha en vridning av tverrfallet og tunnelprofilet i forhold til hovedløpet i tilkoblingsområdet.

4.4.4 Skulder

Krav 4.4.4—1 **SKAL** Gjeldende fra 01.01.2024

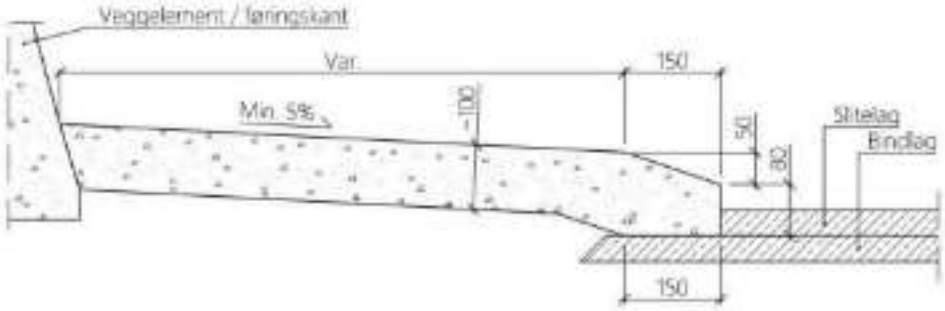
Skulder skal utføres med opphøyd del med minimum 5 % fall mot kjørebanen. Opphøyd del av skulder skal ha betongdekke eller asfalt, og avgrenses med lav og ikke-avvisende kantstein. Kantsteinen plasseres minimum 0,25 m fra kantlinje, på bindlaget i vegoverbygningen. Ved bruk av tunnelprofil T9,5 med forsterket kantoppmerking skal utforming av skulder være i henhold til figur i Tillegg B i vegnormal N100 [1]. Utforming av sluk prosjekteres spesielt.

Veiledning til kravet

Overgang kantstein-slitelag markerer målepunkt for fri høyde i tunnelen (se punkt 4.4.1 og Figur 4.4.4—1). Opphøyd del av skulder anbefales utført med lyst dekke fordi det gir bedre visuell føring.

Utforming av skulder og sluktype i tunnelprofil T9,5 med forsterket kantoppmerking må prosjekteres spesielt, for å ivareta at overflatevann, vaskevann og ev. lekkasjer ledes til sluk og sandfang. Om kapasitet for sluk, se Krav 9.1—2.

Regler for bruk av tunnelprofil T9,5 med forsterket kantoppmerking i dimensjoneringsklasse H3 er gitt i vegnormal N100 [1].



Figur 4.4.4—1 — Eksempel på kantstein og betongsåle, her vist som plasstøpt løsning. Mål i mm.

4.5 Utvidelse for nisjer

4.5.1 Havarinisjer, snunisjer og møteplasser

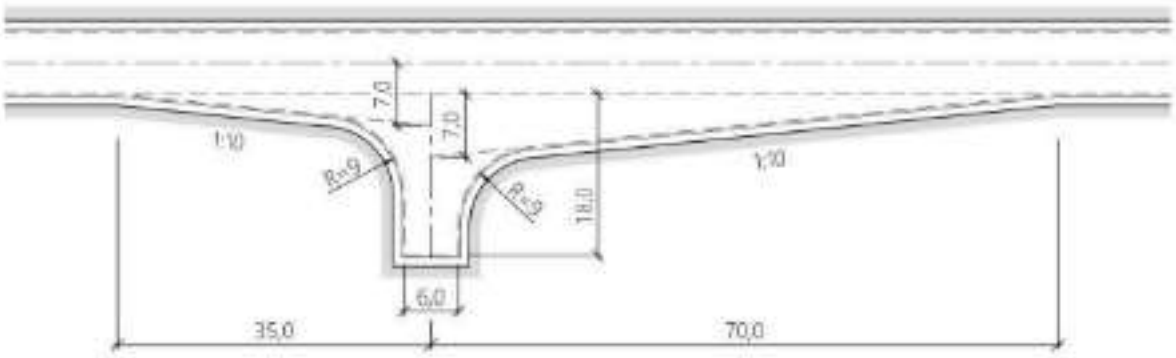
Krav 4.5.1—1 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Toleranse i plassering av havarinisjer og snunisjer skal være innenfor ± 50 m. Plassering skal tilpasses lokale forhold som bergforhold og geometri.

Veiledning til kravet

Krav til avstand mellom nisjer er gitt i punkt 5.3.1. Snunisjer, kombinert med skilt og signaler, bygges for at større kjøretøy har mulighet til å snu ved en brann eller annen hendelse i tunnelen. Havari- og snunisjer gir også tilkomst for driftsoppgaver.

Et eksempel på snunisje utformet utfra sporingsegenskaper er vist i Figur 4.5.1—1.



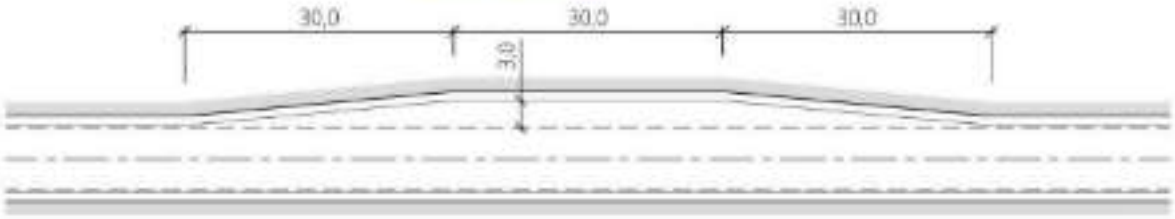
Figur 4.5.1—1 — Eksempel på utforming av snunisje (mål i m)

Nødvendig plass for at et større kjøretøy skal kunne snu, er vist ved sporingskurver i N100 [1].

Bergsikring og bergspenningsforhold vurderes spesielt. Det anbefales ikke å plassere snunisje i innerkurve av hensyn til sikt.

Krav 4.5.1—2 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Havarinisjer skal utformes som vist iFigur 4.5.1—2.



Figur 4.5.1—2 — Havarinisje (mål i m)

Krav 4.5.1—3 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

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

Krav 4.5.1—4 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

I ettfeltstunneler med toveistrafikk skal det anlegges møteplasser. Møteplasser skal utformes som havarinisjer (Figur 4.5.1—2). Avstanden mellom møteplassene skal maksimalt være 250 m (c-c), men aldri lenger enn at bilfører kan se fra én møteplass til den neste.

4.5.2 Nisje for teknisk bygg

Krav 4.5.2—1 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Teknisk bygg skal plasseres i egen nisje med tett vegg mot trafikkert tunnelrom. Nisjen skal plasseres i forbindelse med havarinisje.

Krav 4.5.2—2 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Gulvet i teknisk bygg skal være minimum 1 m over kjørebanenivå der teknisk bygg plasseres i tunnelens lavbrekk.

4.5.3 Nisje for kiosk til nødstasjon

Krav 4.5.3—1 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

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

4.5.4 Bergrom for pumpestasjon

Krav 4.5.4—1 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

I tunneler med lavbrekk, der det er nødvendig å pumpe vannet ut av tunnelen, skal det bygges bergrom for pumpestasjon i lavbrekket. Pumpesystemet dimensjoneres ut fra beregnet lekkasjevolum.

4.6 Nødutganger

Krav 4.6—1 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

For toløps vegtunneler skal det etableres nødutganger i form av gangbare tverrforbindelser mellom tunnelløpene med innbyrdes avstand på maksimum 250 m.

Krav 4.6—2 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

For ettløps vegtunneler skal nødutganger etableres med én av to løsninger:

- Gangbar rømningstunnel direkte til det fri bygges med tunnelprofil T4
- Parallelført rømningstunnel bygges med tunnelprofil T5,5 og med gangbare tverrforbindelser (T4) mellom hovedtunnel og rømningstunnel.

Krav 4.6—3 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Nødutganger skal ha helningsgrad ≤ 5 % (1:20), og utformes med fast dekke.

5 Sikkerhet og beredskap

5.1 Generelt

5.1.1 Prinsipper

Krav 5.1.1—1 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Vegtunnelen skal være tilrettelagt for selvredning ved brann eller annen hendelse. Det vil si at trafikantene selv tar seg ut av tunnelen ved en hendelse, enten med kjøretøy eller til fots.

Veiledning til kravet

Utforming, sikkerhetsutstyr og øvrige tekniske installasjoner i tunnelen gir støtte til trafikantene og redningspersonell ved en evakuering.

Krav 5.1.1—2 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Konsekvenser for trafikkavvikling og risikoforhold på alternative kjøreruter skal utredes i tilfelle behov for stengning av vegtunnel over lengre tid. Det skal legges til rette for at nedetid av vegtunnel, som følge av trafikale hendelser og vedlikehold, blir lav.

Veiledning til kravet

I reguleringsplanen vurderes behovet for å etablere areal som kan benyttes som landingsplass for helikopter og for kontroll av kjøretøy, og arealet knyttes til vegtunnelen.

Krav 5.1.1—3 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

De samme krav til sikkerhet, f.eks. systemsikkerhet, konstruksjonssikkerhet og trafikksikkerhet, gjelder for ramper i tunnel som for hovedløpet i tunnelen.

Veiledning til kravet

Kravet gjelder når det er godkjent fravik fra Krav 4.2.2—1 om kryss i tunnel.

5.1.2 Risikoanalyser og beredskapsanalyser for vegtunneler

Krav 5.1.2—1 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Forhold som påvirker risiko i vegtunneler skal vurderes under planlegging. Det skal benyttes både kvantitativ og kvalitativ risikoanalyse. Kravet gjelder tunneler med lengde over 500 m.

Veiledning til kravet

Risikoanalysen inkluderer en beskrivelse av uønskede hendelser som kan inntreffe i løpet av brukstiden, vurdering av konsekvensene for sikkerheten til trafikanter og trafikkavvikling, samt tilhørende usikkerhet. Tiltak for å redusere sannsynligheten og konsekvensene av hendelser identifiseres og vurderes.

Tunnelsikkerhetsforskriftene angir krav til nødutganger. Tunnelsikkerhetsforskriftene angir også krav til risikoanalyser og innholdet i disse. Innholdet og resultatene av risikoanalysen tas med i sikkerhetsdokumentasjonen som fremlegges ved søknad om godkjenning av tunnelen før byggestart, iht. forskriftens § 10.

Eksempler på metoder for utarbeidelse av risikoanalyser er vist i veiledning V721[18], og i rapport nr. TS 2007: Veileder for risikoanalyser av vegtunneler[19].

Krav 5.1.2—2 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Forhold som påvirker beredskap i vegtunneler, deriblant ventilasjon, skal vurderes under planlegging. Det skal utarbeides en beredskapsanalyse. Kravet gjelder for tunneler med lengde over 1000 m.

Veiledning til kravet

Ansvaret for beredskapsanalysen ligger hos tunnelforvalter, og beredskapsanalysen utarbeides i samarbeid med lokale redningsetater og vegtrafikksentral.

Eksempel på metoder for utarbeidelse av beredskapsanalyse finnes på Statens vegvesens internettsider. Se Statens vegvesen rapport nr. 260 Beredskapsanalyse av vegtunneler[20].

5.1.3 Beredskapsplan

Krav 5.1.3—1 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Beredskap i vegtunneler skal planlegges. Det skal utarbeides en beredskapsplan, som omfatter teknisk og organisatorisk beredskap ved trafikale hendelser. Kravet gjelder for tunneler med lengde over 500 m.

Veiledning til kravet

Ansvar for beredskapsplanen ligger hos tunnelforvalter, og beredskapsplanen utarbeides i samarbeid med lokale redningsetater.

En beredskapsplan er en avtale mellom tunnelforvalter og redningsetatene om ansvarsdeling og innsats om det skulle oppstå en uønsket hendelse i vegtunnelen. Beredskapsplanen utarbeides under planlegging, utvikles videre i byggefasen og revideres ved behov.

Risikoanalyse og beredskapsanalyse utgjør grunnlag for beredskapsplanen.

Eksempel på innhold i beredskapsplanen:

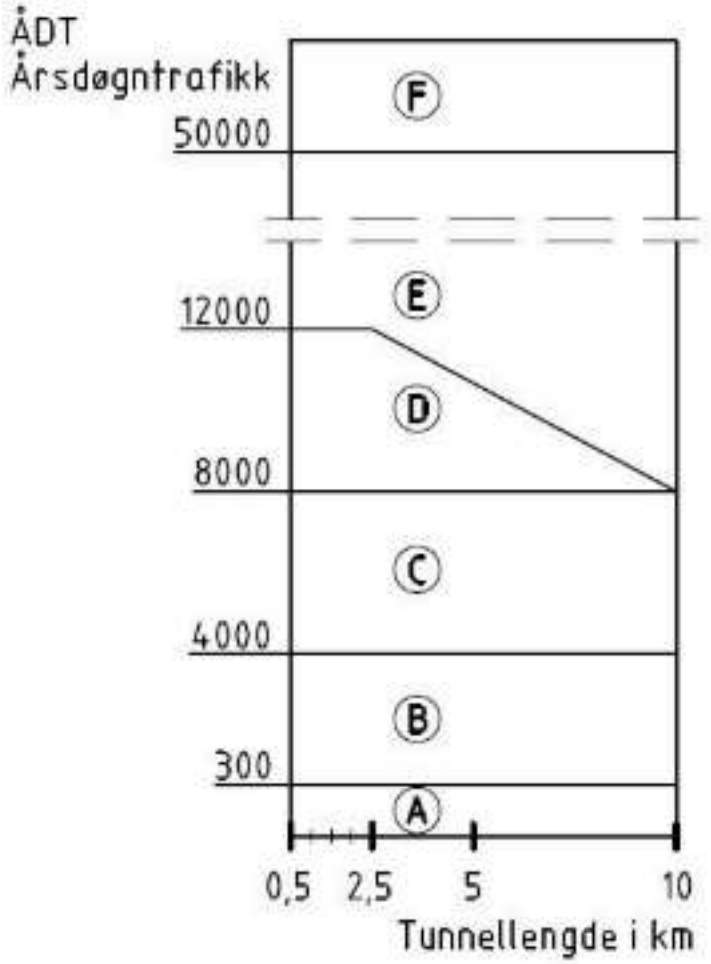
- *Beskrivelse av tunnelen, utstyret i tunnelen, tilhørende omkjøringsruter utenfor tunnelen, og disponibelt innsatsutstyr.*
- *Rutiner og tiltak ved hendelser og svikt i teknisk utstyr og sikkerhetsutstyr.*
- *Beskrivelse av sentrale scenario med innsatsplaner og klargjøring av ansvarsforhold mellom de ulike etatene.*
- *Strategi for ventilasjonsstyring ved brann.*

Eventuelle restriksjoner på transport av farlig gods gjennom tunnelen vurderes som del av beredskapsplanen.

5.2 Tunnelklasser

Krav 5.2—1 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Vegtunneler med lengde over 500 m deles inn i seks tunnelklasser, A-F, avhengig av trafikkmengde og tunnellengde. For vegtunneler med lengde over 500 m skal tunnelklasse angis. Se Figur 5.2—1.



Figur 5.2—1 — Tunnelklasser A-F, for ÅDT (20) og lengde 0,5-10 km. For tunneler med lengde over 10 km vises til Krav 4.1—1.

Veiledning til kravet

Tunnelklassene bestemmer sikkerhetstiltak og sikkerhetsutrustning i vegtunneler. Dette gjelder blant annet antall tunnelløp og behov for havarinisjer, snunisjer og nødutganger. Trafikkmengde angis som den årsdøgntrafikken, ÅDT, som forventes 20 år etter at tunnelen er åpnet for trafikk.

Krav 5.2—2 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Tunnelklassen skal begrunnes. Valg av tunnelklasse, som avviker fra Figur 5.2—1, skal dokumenteres ved risikoanalyse.

Veiledning til kravet

Valg av tunnelklasse, som avviker fra Figur 5.2—1, kan f.eks. være basert på ujevn trafikkmengde over døgnet eller året, eller stor usikkerhet i beregningsgrunnlaget for ÅDT.

Krav 5.2—3 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Tunnelklasse E og F skal ha to løp.

Veiledning til kravet

Tunnelklassene C og D kan også måtte bygges som toløpstunneler for å innfri krav til nødutganger, ref. tunnelsikkerhetsforskriftene vedlegg I, punkt 2.3.6 og § 8.

5.3 Sikkerhetstiltak og sikkerhetsutrustning i vegtunneler over 500 m

5.3.1 Generelt

Krav 5.3.1—1 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

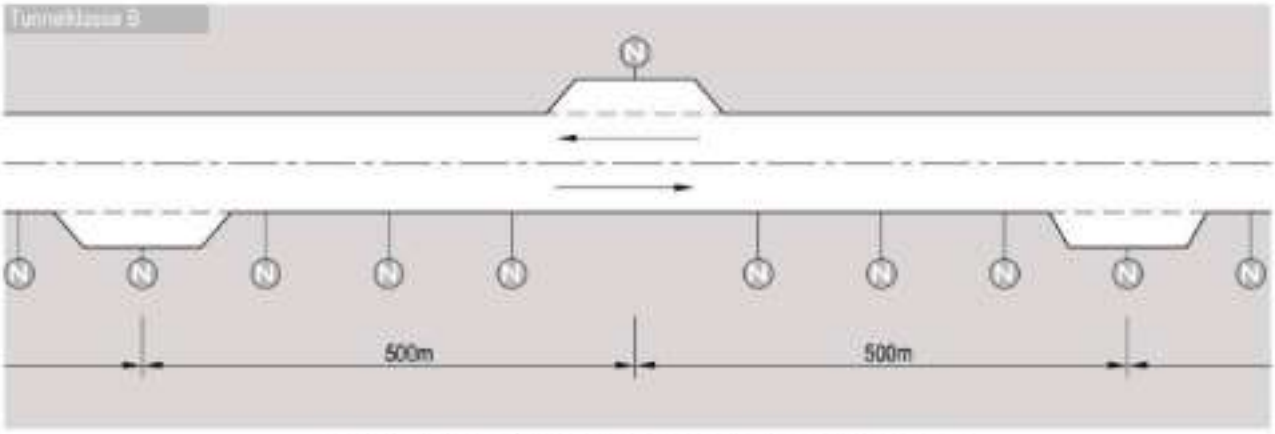
Prosjektert avstand mellom havarinisjer og snunisjer skal være i henhold til Tabell 5.3.1—1. Toleranse i plassering er gitt i punkt 4.5.

Tabell 5.3.1—1 — Normalavstand for havari- og snunisjer (for geometrisk utforming henvises det til kapittel 4.

Tunnelklasse	Normalavstand havarinisje	Normalavstand snunisje	Kommentar
A	-	-	Møteplasser
B	500 m	2000 m	Snunisje bygges i tunneler > 4 km
C	375 m	1500 m	Snunisje bygges i tunneler > 3 km
D	250 m	1000 m	Snunisje bygges i tunneler > 2 km
E	500 m	-	Angitt avstand gjelder for hvert tunnelløp
F	250 m	-	Angitt avstand gjelder for hvert tunnelløp

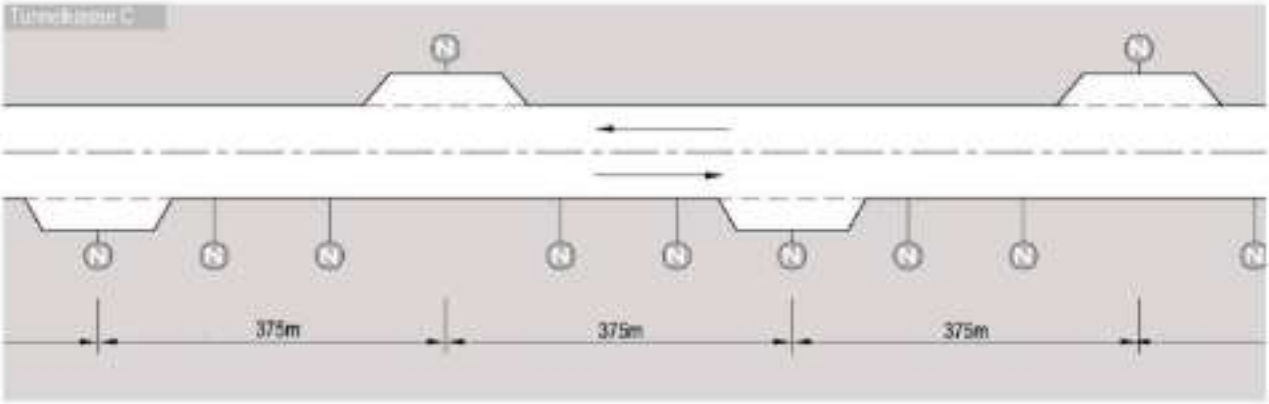
Veiledning til kravet

Plassering tilpasses lokale forhold som bergforhold og geometri. Figur 5.3.1—1, Figur 5.3.1—2, Figur 5.3.1—3, Figur 5.3.1—4 og Figur 5.3.1—5skisserer plassering av havarinisjer og nødstasjoner for de aktuelle tunnelklasser.



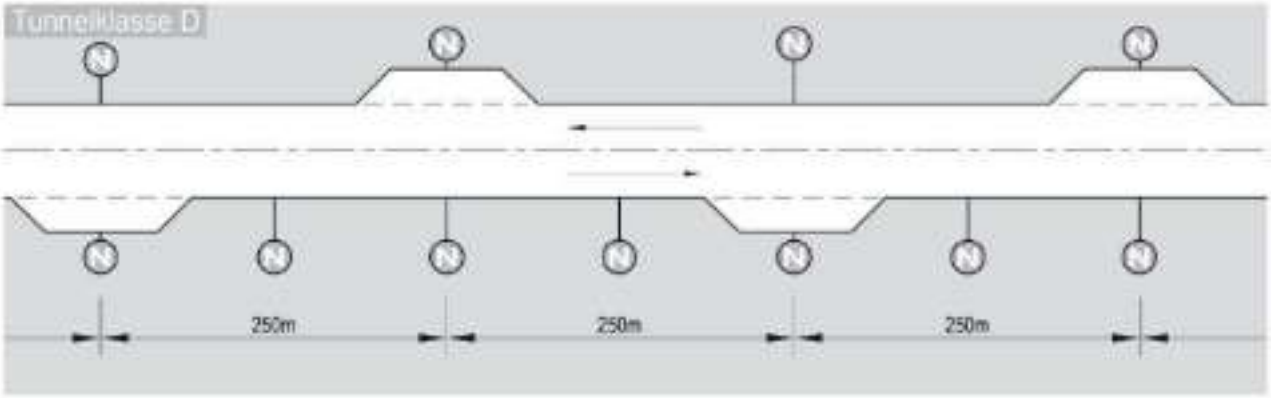
Havarinisjer for hver 500 m. N Nødstasjoner hver 125 m

Figur 5.3.1—1 — Tunnelklasse B, havarinisjer og nødstasjoner



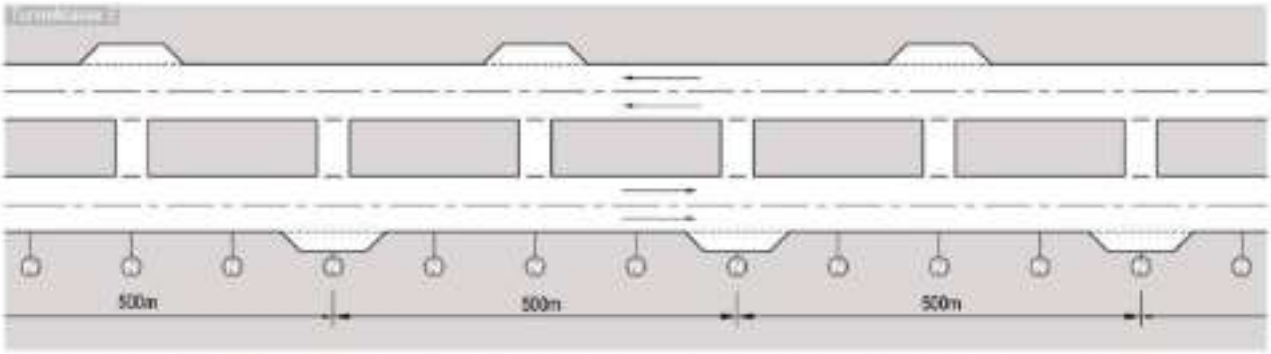
Havarinisjer for hver 375 m. N Nødstasjoner hver 125 m

Figur 5.3.1—2 — Tunnelklasse C, havarinisjer og nødstasjoner



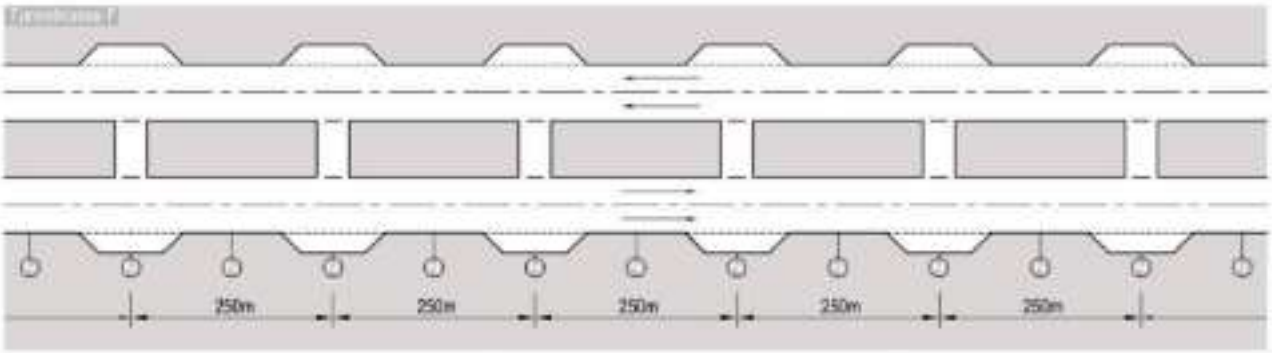
Havarinisjer for hver 250 m. N Nødstasjoner hver 125 m på en side, hver 250 m på motsatt side

Figur 5.3.1—3 — 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 5.3.1—4 — 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 5.3.1—5 — Tunnelklasse F, havarinisjer, nødstasjoner og tverrforbindelser

5.3.2 Nødstrømsystem

Krav 5.3.2—1 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Nødstrømsystem skal sikre trafikantene i vegtunnelen ved strømutfall.

Veiledning til kravet

Nødstrømsystem utføres etter vegnormal N601[8]og NEK 600[21].

Krav 5.3.2—2 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Nødstrømsystemet skal som minimum fungere i evakueringstiden. Evakueringstiden skal som minimum settes til utrykningstid + 1 time.

Veiledning til kravet

Evakueringstid bestemmes som del av beredskapsplanen. Det tas hensyn til tunnellengde, trafikkmengde, stigning og andre særtrekk ved tunnelen.

Krav 5.3.2—3 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Som minimum skal følgende utstyr være bygget som nødstrømsystem:

- Styrings-, regulerings- og overvåkingssystemer som skal fungere i en nødsituasjon
- Rødt stoppblinksignal, kjørefeltsignaler
- Fjernstyrte bommer for stengning
- Evakueringsbelysning
- Nødtelefon/nødstasjon
- Serviceskilt og nødutgangsskilt
- Radio- og kringkastingsanlegg
- Nødnett
- Nødstyrepanel
- ITV (videoovervåking)
- AID (automatisk hendelsesdeteksjon), eventuelt automatisk branndeteksjonssystem
- PA-system

Veiledning til kravet

For rødt stoppblinksignal og fjernstyrte bommer gjelder kravet for utstyret som er plassert nærmest tunnelen, i det tilfellet det er plassert to eller flere steder.

Behov for nødstrømsforsyning for ventilasjonsanlegget avgjøres gjennom en risikovurdering, blant annet på bakgrunn av evakueringstid, stabilitet i strømforsyning, beredskap ved strømutfall etc.

For tunneler i klasse D, E og F vurderes det om annet trafikkteknisk utstyr tilkobles nødstrømsforsyning.

Krav 5.3.2—4 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Tverrforbindelser mellom to tunnelløp skal ha nødstrømsforsyning fra begge løp.

5.3.3 Evakueringsbelysning

Krav 5.3.3—1 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Vegtunneler skal ha sammenhengende evakueringsbelysning. Evakueringslys plasseres som minimum langs én av veggene. I tunneler med nødutganger skal evakueringslysene plasseres på samme side som nødutgangene.

Krav 5.3.3—2 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Evakueringslys skal ha to-sidig mating, og være i henhold til *Technical Specification NMF01 LED luminaires - requirements*[22].

Krav 5.3.3—3 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Evakueringslys skal tennes automatisk ved fjerning av brannslokningsapparat, og skal kunne aktiveres fra vegtrafikksentral og fra nødstyrepanel utenfor tunnelen.

5.3.4 Nødstasjoner

Krav 5.3.4—1 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Nødstasjoner skal monteres i vegtunnel for hver 125 m.

Veiledning til kravet

I henhold til tunnelsikkerhetsforskriftene vedlegg I, punkt 2.10 plasseres nødstasjon, med nødtelefon og brannslokningsapparater, i nærheten av portal, og inni tunnelen.

Hvis havarinisjer flyttes (i henhold til toleranser i punkt 4.5), kan nødstasjoner justeres tilsvarende, men avstanden kan ikke overstige 150 m.

Plassering av nødstasjon utenfor tunnelåpning tilpasses den enkelte tunnel.

Krav 5.3.4—2 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Nødstasjon i havarinisjer skal monteres i kiosk. Kiosk for nødstasjon skal:

— være innvendig belyst

— ha fri gulvplass til en snusirkel med diameter på minimum 1,5 m

— ha trinnfri tilkomst

— være støv- og vanntett

— ha dør utstyrt med panikkbeslag

Veiledning til kravet

For dør i rustfri utførelse vises til NEK 600 El og ekom i vegtrafikksystem[21].

Krav 5.3.4—3 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Det skal med skilt gjøres oppmerksom på at nødstasjonen ikke gir beskyttelse ved brann. Teksten skrives på norsk og engelsk.

Veiledning til kravet

Eksempel på merking: «Dette området gir ikke beskyttelse ved brann. Følg skilt til nødutganger. / This area does not provide protection from fire. Follow signs to emergency exits.»

Krav 5.3.4—4 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Nødstasjoner utenom havarinisjene skal plasseres i skap. Skap for nødstasjon skal være utenfor normalprofilet.

Veiledning til kravet

Skapet kan plasseres enten på føringskant av betong eller innfelt i tunnelveggen.

Krav 5.3.4—5 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Dør og karm til kiosk, og ramme til skap, skal ha signalrød farge RAL 3020.

Veiledning til kravet

Eksempel på overflatebehandling er to-komponent epoxy.

Krav 5.3.4—6 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Betjening og visuell informasjon på nødtelefoner og brannslokningsapparater skal tilpasses konstruksjonen og plasseres i en høyde på maksimum 1,2 m. For kiosk måles høyde fra gulv, og for skap måles høyde fra skulder, ved overgang til vegg.

Krav 5.3.4—7 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Brannslokningsapparat skal være på minimum 6 kg pulver type ABC (NS-EN 3-7[23]) og minimum effektivitetsklasse 43A-233B. Det skal gis signal til bemannet sentral hvis brannslokningsapparat fjernes. Trafikantene informeres ved skilt om at fjerning av brannslokningsapparatet utløser automatisk varsling.

Krav 5.3.4—8 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Nødtelefon skal gi lydsignal når røret løftes av og gi kontakt med bemannet sentral. Sentral skal kunne se hvilken telefon det ringes fra.

Veiledning til kravet

Bemannet sentral kan være politi, brannvesen, vegtrafikksentral. Dette er en del av beredskapsplanleggingen.

5.3.5 Slokkevann

Krav 5.3.5—1 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Det skal finnes vannforsyning med kommunalt trykksatt vann.

5.3.6 Fjernstyrte bommer for stengning av tunnel

Krav 5.3.6—1 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Fjernstyrte bommer for stengning av tunnel skal plasseres foran vegtunneler i tunnelklasse C, D, E og F. Fjernstyrte bommer plasseres minimum 100 m fra tunnelåpning for å sikre plass ved eventuell evakuering, røykutvikling, etc.

Veiledning til kravet

For vegtunneler i tunnelklasse A og B vurderes behov for fjernstyrte bommer gjennom risikoanalysen.

Krav 5.3.6—2 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Fjernstyrte bommer sammen med rødt stopplinksignal skal plasseres hensiktsmessig i forhold til omkjøring. Der avstand mellom fjernstyrt bom og tunnelportal er lengre enn 300 m, etableres det i tillegg egne bommer og stoppsignal ca. 100 m fra portal.

Krav 5.3.6—3 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Fjernstyrte bommer skal:

— aktiveres i kombinasjon med rødt stoppblinksignal

— benyttes sammen med videoovervåking (ITV)

— kunne betjenes manuelt på stedet

— sperre det/de aktuelle felt, men muliggjøre utkjøring

Veiledning til kravet

Av sikkerhetshensyn aktiveres rødt stoppblinksignal før aktivering av bom. Tidsintervall vurderes i sammenheng med fartsgrense, stoppsikt m.m.

5.3.7 Automatisk hendelsesdeteksjon (AID) og videoovervåking (ITV)

Krav 5.3.7—1 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

AID og ITV skal som minimum monteres i:

— Vegtunneler i tunnelklasse C, D, E og F med lengde > 3 km.

— Vegtunneler i tunnelklasse B med lengde > 5 km.

AID-funksjoner skal være operative og kalibrert før åpning av tunnel. Funksjoner utover minimumskrav avklares gjennom en risikovurdering.

Veiledning til kravet

AID og ITV krever tilknytning til vegtrafikksentral.

Krav 5.3.7—2 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

I tunneler i tunnelklasse C, D, E og F skal kamerapunktene plasseres slik at hele tunnelbredden dekkes 100 prosent, og med en deteksjonssikkerhet av samtlige hendelser i forholdet 1/1.

Krav 5.3.7—3 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

I tunneler i tunnelklasse B skal AID og ITV monteres med avstand mellom kamerapunktene på maksimum 125 m.

Veiledning til kravet

AID soner tilpasses ITV soner slik at en hendelse, som for eksempel stoppet kjøretøy, aktiverer aktuelt kamera.

Krav 5.3.7—4 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

ITV skal overvåke trafikk ved tunnelportal og fjernstyrt bom.

5.3.8 PA-system for trafikantinformasjon

Krav 5.3.8—1 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

PA-system skal monteres i ettløpstunneler med lengde > 3 km i tunnelklasse C og D, og i tunneler med lengde > 5 km i tunnelklasse B. Systemet skal ha dekning gjennom hele tunnelen.

Veiledning til kravet

PA-system (public address) sikrer at trafikanter får varsel/instruksjon i en nødsituasjon, og ledes i sikreste evakueringsretning ved hjelp av lyd- og lyssignal. Det tas hensyn til at vegtunneler har svært krevende lydforhold.

Systemet prosjekteres for hver tunnel, og vil normalt kreve tilknytning til vegtrafikksentral.

5.3.9 Utstyr for nødutganger

Krav 5.3.9—1 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Nødutganger skal som minimum utstyres i henhold til følgende:

— Dør til rømningsvei utføres og utstyres slik at den sikrer rask evakuering og med minimum fri bredde 1,2 m.

— Dør til rømningsvei med grønn farge (for eksempel RAL 6016),se NS-EN 16276[24].

— Vegg mellom hovedtunnel og nødutgang skal ha brannmotstand minimum REI 120-M, ubrennbare materialer, se veiledning til forskrift om tekniske krav i byggverk.

— Tverrforbindelser utføres som branncelle og med brannmotstand minimum EI 60 mot begge tunnelløpene, se veiledning til forskrift om tekniske krav i byggverk.

— Det gis sikker leding fra dør til dør mellom tunnelløp, og fra dør i tunnel til utgang i det fri.

Veiledning til kravet

Se tunnelsikkerhetsforskriftene vedlegg I, punkt 2.3.9.

5.3.10 Høydehinder

Krav 5.3.10—1 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Høydehinder (avviser) skal monteres for å hindre at for høye kjøretøy kjører inn i vegtunnelen. Fysisk høydehinder skal være deformerbart og ha ekstra sikring som hindrer nedfall ved påkjørsel.

Veiledning til kravet

Høydehinder markeres med skilt (se vegnormal N300[41]).

Høydehinder kan være fysisk, teknisk installasjon, sensor, eller annet.

Avstand fra tunnelportal vurderes i sammenheng med f.eks. fartsgrense på stedet, samt stopp- eller avkjøringsmulighet.

Høydehinder kan sløyfes dersom andre konstruksjoner har den nødvendige avvisende effekt.

For toløpstunneler der det planlegges for toveistrafikk i ett løp i driftsfasen, vurderes høydehinder for begge løp.

5.3.11 Nødkommunikasjon, kringkasting og mobiltelefoni

Krav 5.3.11—1 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Det skal etableres Nødnett og kringkasting i alle vegtunneler.

Krav 5.3.11—2 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Det skal benyttes strålekabel som felles antenneanlegg for Nødnett og kringkasting (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 strålekabler og koaksial matekabler skal spesifiseres for hver enkelt tunnel.

Veiledning til kravet

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

Krav 5.3.11—3 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Tunnelforvalter/vegeier skal levere nødvendig infrastruktur for å implementere Nødnett og transportere Nødnettets signaler i tunnelen.

Veiledning til kravet

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.

Krav 5.3.11—4 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Tunnelforvalter/vegeier skal etablere og drive kringkastingsanlegg som distribuerer radiokringkasting i vegtunnel.

Krav 5.3.11—5 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

DAB-blokker som har dekning utenfor vegtunnelen, skal distribueres i tunnelen. Hvis det ikke er dekning for DAB-blokken *Regional* utenfor tunnelen, vurderes tiltak for å distribuere denne blokken i tunnelen.

Krav 5.3.11—6 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Vegtrafikksentralen skal kunne bryte inn i samtlige radioprogram som distribueres i tunnel. Innbrytning i DAB skal benytte funksjonen *Alarm Announcement*.

Krav 5.3.11—7 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Tunnelforvalter/vegeier skal legge til rette for utbygging av infrastruktur for mobiltelefoni. Nettoperatør skal få tilgang til nødvendige tegninger for å planlegge utstyrsplass og øvrig infrastruktur. Nettoperatørens byggeplaner skal godkjennes av tunneleier før iverksetting.

Veiledning til kravet

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

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

5.4 Brannsikring

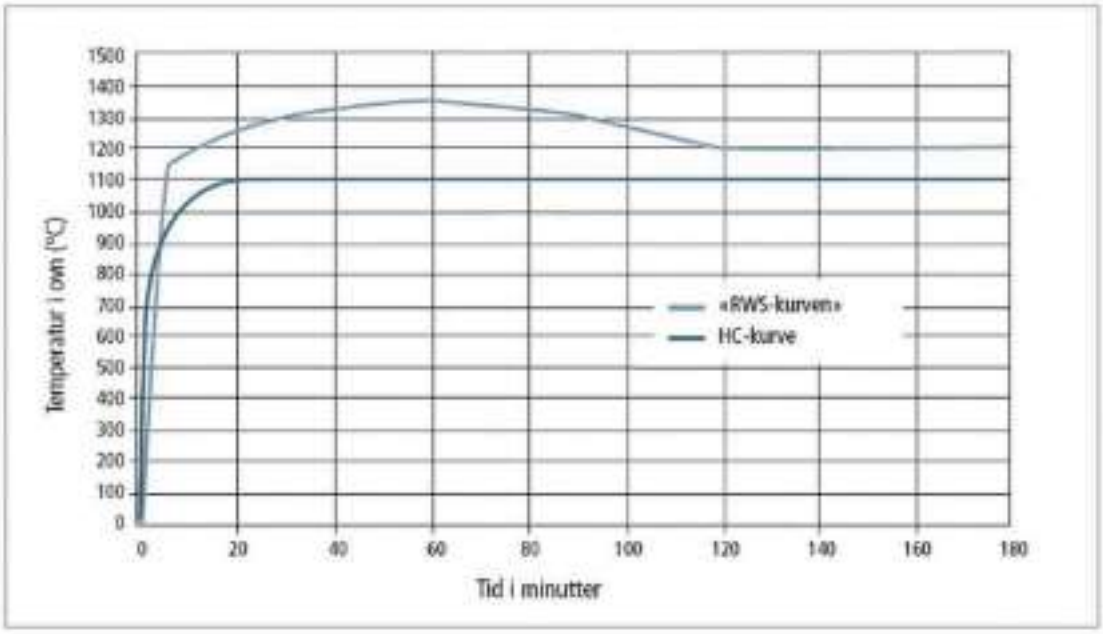
5.4.1 Krav til brannmotstand for konstruksjoner

Krav 5.4.1—1 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Dimensjonerende brann og brannmotstand for konstruksjoner i tunnel skal være i henhold til Tabell 5.4.1—1 og Figur 5.4.1—1. Kravene gjelder overflater mot trafikkert tunnelrom.

Tabell 5.4.1—1 — Dimensjonerende brann. Krav i henhold til standard tid-temperaturkurver Figur 5.4.1—1.

Tunnelklasse	Dimensjonerende branneffekt	Eksponerings-kurve	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 5.4.1—1 — Standard tid-temperaturkurver som benyttes ved branndimensjonering: RWS-kurven (utviklet av Rijkswaterstaat)[25]og Hydrocarbon-kurven (HC-kurven) definert i ISO/TR 834-3[26] og NS-EN 1363-2[27].

Veiledning til kravet

RWS-kurven er aktuell ved dimensjonering av brannbeskyttelse for tunnelkonstruksjoner nevnt i tunnelsikkerhetsforskriftene vedlegg I, punkt 2.7. Se også tunnelsikkerhetsforskriftene vedlegg I, punkt 2.18.

Krav 5.4.1—2 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Tunnelkledning skal ikke bidra aktivt i en bilbrann, ikke spre en slik brann, eller bidra til vesentlig ekstra røykutvikling eller giftige gasser. Brann i vegtunnelen skal ikke vedvare etter at bilbrannen har opphørt.

Veiledning til kravet

For øvrige krav til tunnelkledninger se kapittel 8.

5.4.2 Brannteknisk dokumentasjon og prosedyre for testing

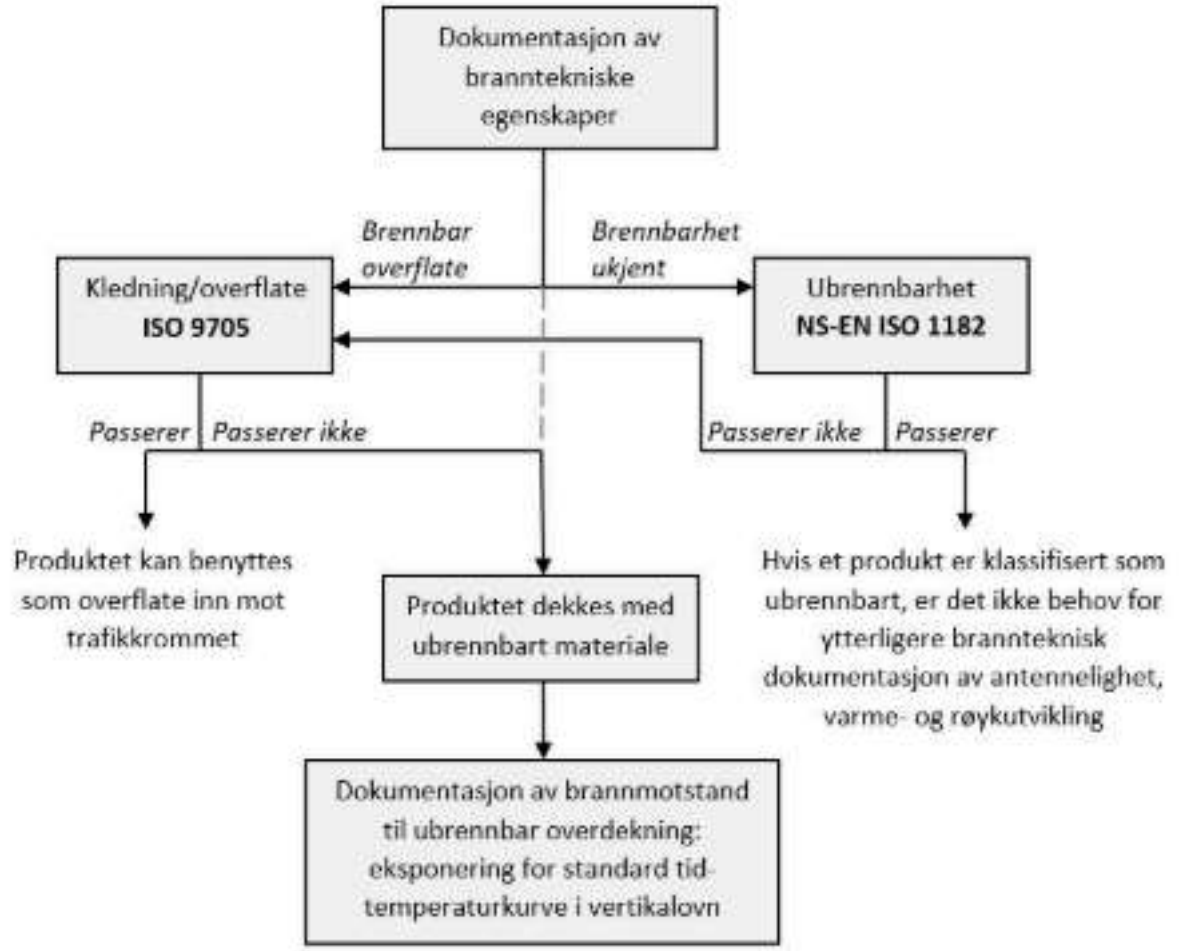
Krav 5.4.2—1 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Brannteknisk egenskaper for nye produkter til tunnelkledning skal testes i henhold til følgende beskrivelser og prosedyrer:

- Test av brennbarhet, jf. Krav 5.4.2—2
- Test av konstruksjoner med (mulig) brennbar overflate mot trafikkrommet, jf. Krav 5.4.2—3
- Dokumentasjon av brannbeskyttelse på brennbare produkter, jf. Krav 5.4.2—4, Krav 5.4.2—5 og Krav 5.4.2—6.

Veiledning til kravet

Oversikt over dokumentasjon av brannegenskaper er gitt i Figur 5.4.2—1.



Figur 5.4.2—1 — Diagram for dokumentasjon av brannteknisk egenskaper for konstruksjoner benyttet i tunneler (NS-EN ISO 1182 [28], ISO 9705-1[29])

Krav 5.4.2—2 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Dersom det er usikkert om materialet er brennbart eller ikke, skal materialet testes for ubrennbarhet i henhold til NS-EN ISO 1182[28]. Hvis produktet her blir klassifisert som ubrennbart, er det ikke behov for ytterligere brannteknisk dokumentasjon av antennelighet, varme- og røykutvikling. Hvis produktet blir klassifisert som brennbart, testes produktet i henhold til Krav 5.4.2—3.

Krav 5.4.2—3 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Testing og dokumentasjon av konstruksjoner med mulig brennbare overflate mot trafikkrommet skal gjennomføres i henhold til ISO 9705-1 [29]. Akseptkriterier for bruk i vegtunneler skal være i henhold til Tabell 5.4.2—1. Overflater inkluderer overflatebehandling. Overflatebehandling påføres i den tykkelse og på det underlaget produktet dokumenteres for. Dersom et produkt ikke klarer akseptkriteriene, skal materialet brannbeskyttes og testes ihenhold tilKrav 5.4.2—4, Krav 5.4.2—5 og Krav 5.4.2—6.

Tabell 5.4.2—1 — Akseptkriterier for de enkelte tunnelklasser ved testing i henhold til ISO 9705-1 [29].

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

Krav 5.4.2—4 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Brannmotstand for brannbeskyttelse av brennbare produkter skal testes i vertikalovn med eksponering for standard tid-temperaturkurve, se Figur 5.4.1—1. Akseptkriterier for bruk i vegtunneler skal være i henhold til Tabell 5.4.2—1.

Krav 5.4.2—5 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Prøvestykket skal bestå av både beskyttelse og brennbart materiale. I tillegg til temperaturmålinger på ueksponert side, måles temperatur i sjiktet mellom ubrennbar beskyttelse og brennbart materiale. Akseptkriteriene bestemmes ut fra målingene i dette sjiktet.

Veiledning til kravet

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

Det er ingen spesielle krav til ueksponert side, hvis den anbringes mot berg.

Krav 5.4.2—6 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

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

Krav 5.4.2—7 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Brennbare frostisolasjonsmaterialer, som del av brannbeskyttet tunnelkledning, skal tilfredsstille kriteriene til antennelighet for euroklasse D, samt d0, ved prøving i henhold til NS-EN ISO 11925-2[30]. Akseptkriterier er gitt i NS-EN 13501-1[31]. For laminerte plater gjelder dette alle lag.

6 Skilt og signaler

6.1 Generelt

Krav 6.1—1 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Det skal utarbeides en detaljert skiltplan for tunnelen tidlig i arbeidet med prosjektering av tunnelen.

Veiledning til kravet

Krav til skilt og signaler er gitt i vegnormal N300[4] og vegnormal N303[6].

Skiltplanen er vesentlig for utforming av tunnelen og kan være styrende for viktige byggtekniske forhold.

Virkning på ventilasjonsanlegg og belysning av overhengende skilt i tunnelen vurderes.

For skilt og signaler som er tilknyttet nødstrømsystem, se punkt 5.3.2.

6.2 Trafikkskilt utenfor tunnel

Krav 6.2—1 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Fjernstyrte bommer for stengning av tunnel skal ha påmontert skilt 908 Hindermarkering, i fargene rødt og gult. For signal på bom, se N303[6].

Krav 6.2—2 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Nødtelefon og brannslokningsapparater utenfor tunnelåpning (jf. kapittel 5) skal varsles med skilt.

Veiledning til kravet

Prinsippskisser for plassering av skilt og signaler utenfor tunneler er vist i retningslinje R311[32].

6.3 Trafikkskilt i tunnel

Krav 6.3—1 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Skilt i tunnel skal være innvendig belyst eller LED-variable.

Veiledning til kravet

Skilt i tunnel er for eksempel serviceskiltene 605 nødtelefon, 606 brannslokningsapparat og 601 lytt til radio, opplysningsskiltene 570.1, 570.2 nødutgangsskilt og 555 havarilomme, og markeringsskilt 916 avstandsmarkering i tunnel. Se N300[4]. Se også tunnelsikkerhetsforskriftene vedlegg I, punkt. 2.12.

Krav 6.3—2 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Fri høyde under sideplasserte skilt skal være minimum 2,0 m over skulder målt ved overgang til vegg.

Krav 6.3—3 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Snunisjer i tunnel skal merkes med variabelt skilt, som i aktiv posisjon er synlig fra begge kjøreretninger. I normalposisjon skal skiltet være mørkt. Skiltet i kombinasjon med rødt stoppblinksignal (signal 1094) godkjennes av skiltmyndighet.

Veiledning til kravet

Spesielt for tunnel er skilt og signal i forbindelse med snunisjer. Et eksempel er vist i Figur 6.3—1.



Figur 6.3—1 — Eksempel på skilt og signal for snunisje i tunnel, vist i aktiv og passiv posisjon

7 Tunneldriving og bergsikring

7.1 Generelt om tunneldriving

Prinsippet for tunneldrivingen er basert på at bergmassen er byggematerialet og at bergmassens selvbærende egenskaper utnyttes. Bergmassen og geologiske strukturer blir kartlagt og vurdert under driving, og danner grunnlaget for endelig valg av bergsikring. Ingeniørgeologisk kartlegging, sikringsvurderinger og utført stabilitetssikring inngår i dokumentasjonen av tunnelkonstruksjonens stabilitet.

Krav 7.1—1 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Sprengning av tunnelen skal utføres skånsomt.

Veiledning til kravet

Driving av tunnel utføres med konturssprengning for å redusere overberg, redusere bruk av sprengstoff og redusere rensk og bruk av sikringsmidler. Samtidig oppnås best mulig kvalitet på gjenstående berg. Andre fordeler er mindre opplasting og transport. Ladelogg fra ladeenheten bør etterspørres som dokumentasjon på ladningsmengden i hullene.

Krav 7.1—2 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

All boring skal utføres med *Measurement while drilling* (MWD). Det skal benyttes programvare for boreparametertolkning (BPT) som tolker og presenterer informasjon som bergmassens relative hardhet, oppsprekking og vannforhold. Programvaren kalibreres og tilpasses berggrunnen langs tunnelen.

Veiledning til kravet

Measurement while drilling (MWD) er innhenting av data. Boreparametertolkning er bearbeiding og tolkning av data. Det er viktig at data fra forskjellige rigger kalibreres slik at de viser like forhold. Tolkningene kan presenteres både som utbrettskart og på skjerm i 3D der tunnelen(e) kan betraktes fra alle vinkler.

Krav 7.1—3 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

I områder med fare for skadelige grunnvannssenkninger skal det treffes tiltak for å unngå langvarige lekkasjer fra borehull.

Veiledning til kravet

Borehull tettes så snart som mulig for å unngå langvarige innlekkasjer, for eksempel ved bruk av pakkere.

Krav 7.1—4 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Der to tunnelløp drives parallelt, skal avstanden mellom tunnelstuffene være slik at erfaringene fra ett tunnelløp kan nyttiggjøres i det andre, og at injeksjonsarbeider på en tunnelstuff ikke kommer i konflikt med arbeider på den andre.

Veiledning til kravet

En avstand på ca. 50 m mellom to tunnelstuffer anbefales. Avstanden ses i forhold til geologien på stedet.

7.2 Etablering av forskjæring og påhugg

Krav 7.2—1 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Det skal utarbeides en egen plan for forhåndssikring og de første tunnelsalvene. Dette skal minst inkludere forbolting og sprøytebetong rundt påhugget, og korte (eventuelt delte) salver inntil driving med hele tverrsnitt er forsvarlig. Der påhugg etableres under naturlig grunnvannsnivå kartlegges alle grunnforhold og mulige konsekvenser av inngrepet slik at det kan utarbeides en plan for utførelsen som ivaretar omgivelsene. Bynære tunneler med innlekkasjekrav og med påhugg i dype byggegroper krever særlig oppmerksomhet.

Veiledning til kravet

Se V521[10]. Det vises også til NGFsByggegropveiledning[33].

7.3 Arbeider foran stuff

Krav 7.3—1 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Det skal treffes tiltak for å begrense avbøyningsavvik ved boring av sonderhull og injeksjonshull.

Veiledning til kravet

Avviksmålinger vurderes spesielt i kritiske områder som f.eks. liten eller usikker overdekning. Avbøyningsavvik ved salveboring gir ujevn, skadet kontur, men kan reduseres med godt utstyr (styrestenger, borkroner), nøyaktighet ved ansett og lavere matetrykk.

7.3.1 Sonderboring

Sonderboring benyttes der det er behov for å skaffe informasjon om bergkvalitet og vannlekkasjer foran stuff.

Krav 7.3.1—1 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Systematisk sonderboring med slagboring skal gjennomføres i følgende områder:

- Der forundersøkelsene viser tolket svakhetssone og dårlig bergmassekvalitet generelt.
- Ved liten og usikker bergoverdekning. Sonderboringen inkluderer skråhull frem og opp for verifisering av bergoverdekning, som er spesielt viktig ved fjordkrysninger, og under innsjøer, tjern og elver.
- På strekninger med definerte krav til innlekkasje, der systematisk forinjeksjon ikke er iverksatt.

Veiledning til kravet

Se også V521 [10].

Krav 7.3.1—2 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Sondering med kjerneboring skal utføres i kritiske områder der det er særlig viktig å verifisere bergoverdekning og innhente informasjon om bergmassen.

Veiledning til kravet

Se også V521 [10].

Krav 7.3.1—3 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Det skal utarbeides borerapport fra sonderboringen.

Veiledning til kravet

Borerapporten kommer i tillegg til MWD. Borerapport fra sonderboringen inneholder som minimum:

- *tegning av stuff med hullplassering og -nummer (som boret, sett mot stuff)*
- *tunnelnavn, løp/stuff, profilnummer, dato og klokkeslett*
- *angivelse av merkbare slepper, borevansker*
- *spylevannsfarge, spesielt endringer i fargen*
- *eventuelt tap av spylevann, også vanninnbrudd*
- *vannmengden fra hver enkelt hull, og fra alle hull samlet. Vann fra hvert enkelt borehull samles opp og registreres som liter/minutt i rapporten. Prøver tas tidligst 5 minutter etter endt boring*

Om mulig merkes observasjonene ovenfor med hulldybde. Dersom det ikke utføres injeksjon gjenstøpes hullene.

7.3.2 Forinjeksjon

Krav 7.3.2—1 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Forinjeksjon skal utføres ut fra prosjektspesifikke innlekkasjekrav, for å hindre grunnvannssenkning og skader på ytre miljø.

Veiledning til kravet

For tunneler der det er satt krav til tetthet for hele eller deler av tunnelen er det flere forhold som krever kontinuerlig oppfølging for å kunne styre og justere tettearbeidene i tunnelen (se også V521 [10]):

- *lekkasjemålinger i tunnelen, totallekkasjer ut av tunnelen og over seksjoner*
- *målinger av grunnvannstand, poretrykk i løsmasser, og setninger*
- *registrering av vannstand i vann og myrer*
- *inngang av vann i ev. infiltrasjonsbrønner*

Krav 7.3.2—2 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Det skal utarbeides borerapport fra injeksjonsboringen.

Veiledning til kravet

Borerapporten kommer i tillegg til MWD. Borerapport fra injeksjonsboringen inneholder som minimum:

- *tegning av stuff med hullplassering og -nummer (som boret, sett mot stuff)*
- *tunnelnavn, løp/stuff, profilnummer, dato og klokkeslett, signatur*
- *angivelse av merkbare slepper, borevansker*
- *spylevannsfarge, spesielt endringer i fargen*
- *eventuelt tap av spylevann, eller vanninnbrudd*
- *eventuell kontakt mellom hull*
- *vannlekkasjer fra hvert enkelt hull og hele skjermen samlet, målte eller anslåtte mengder (når måling ikke er mulig)*

Om mulig merkes observasjonene ovenfor med hulldybde.

Krav 7.3.2—3 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Det skal benyttes injeksjonssementer i samsvar med NS-EN 197-1[34]. Informasjon om sementtyper, tilsetningsmaterialer, tilsetningsstoffer og blandingsforhold skal foreligge før injeksjonsarbeidene starter.

Veiledning til kravet

Sammensetningen tilpasses underveis i injeksjonen. Injeksjonsmasse tilsettes superplastiserende stoff for å kunne kontrollere herdingsprosessen. Kompatibilitet mellom den aktuelle sementen og tilsetningsstoffer, inklusive akselerator, sikres. Der det foreligger anvisninger i produktdatabladene følges disse. Sementer lagres tørt og luftig, og brukes innenfor angitt holdbarhetsdato.

Krav 7.3.2—4 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Det skal utføres kontroll og rapportering av injeksjonsarbeidene i henhold til NS-EN 12715[35]. Injeksjonsarbeidene skal dokumenteres underveis, samt i ingeniørgeologisk sluttrapport, se punkt 7.10.

Veiledning til kravet

For å sikre kvalitet på blanding og materiell kontrolleres densitet, Marsh-viskositet, avbindingstid og vannutskillelse («bleeding»). Det kontrolleres minst én gang pr. injeksjonsomgang og en gang før første injeksjonsomgang iverksettes. Resultatene dokumenteres i injeksjonsrapport. For å undersøke at injeksjonsmassens komponenter passer sammen og oppfører seg som forutsatt gjøres det en testblanding i god tid før oppstart av injeksjonsarbeider på anlegget, slik at man ved eventuelle problemer kan skaffe nye materialer.

Injeksjonsrapport leveres etter hver injeksjonsomgang og inneholder som minimum:

- *tunnelnavn, stuff/løp, profilnummer, dato, injeksjonsomgang (nr.), type injeksjon*
- *dybde pakkerplassering*
- *tidspunkter for pumpestart og stopp pumping på siste hull*
- *mengde pr. hull av de ulike v/c-blandingene, og totalmengde*
- *mengde tilsetningsstoffer pr. hull*
- *sluttrykk på hvert enkelt hull*
- *tidspunkt for start boring etter injeksjon*
- *eventuelle utganger på/bak stuff, eller til terreng*
- *kontakt/gjennomgang mellom hull*
- *vannlekkasje pr. hull (og samlet fra hele skjermen) før injeksjon*
- *kontrollresultater injeksjonsmasse*
- *dato, klokkeslett og signatur*

7.4 Geologisk kartlegging og bergmasseklassifisering

Krav 7.4—1 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Geologisk kartlegging, bergmasseklassifisering og stabilitetsvurderinger skal utføres fortløpende i hele tunnelens lengde og i hele tunnelprofilet. Kartlegging og bergmasseklassifisering utføres før berget dekkes av sprøytebetong. Dokumentasjonen benyttes som grunnlag for å bestemme permanent bergsikring.

Veiledning til kravet

Dokumentasjon av utførte sikringsarbeider, sammen med geologiske registreringer presenteres samlet i ingeniørgeologisk sluttrapport (punkt 7.10). Se V521 [10]. For geologisk kartlegging i tunnel, se retningslinje R211[36], samt Statens vegvesen rapport nr. 193 Kartlegging under driving med Novapoint Tunnel[37].

Dokumentasjon som grunnlag for å vurdere behov for permanent sikring består av følgende:

- *Beskrivelse av bergarter og inntegning av bergartsgrenser*
- *Inntegning av sprekker, slepper og svakhetssoner (orientering og bredde) som er av betydning for stabiliteten. Eventuell laboratorieprøving av sleppemateriale*
- *Strøk- og fallmålinger for de viktigste sprekkeretningene*
- *Vannlekkasjer*
- *Bergmasseklassifisering etter Q-metoden. (For Q-metoden, ref. Norges geotekniske institutt: Håndbok Bruk av Q-systemet[38]. For vegtunneler er det til dels valgt en økt sikring sammenlignet med bergsikringen spesifisert i Q-systemet. Dette er gjort med tanke på dimensjonerende brukstid og trafikksikkerhet. Bergmasseklasser i henhold til Q-verdi er relatert til sikringsklasser I-VI i N500; Tabell 7.5—1).*

7.5 Sikringsklasser

Krav 7.5—1 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Sikringsklasser med beskrivelse av sikringsmetode og -omfang skal bestemmes fra Tabell 7.5—1 ved hjelp av bergmasseklasser i henhold til Q-metoden. Tabellen viser sammenhengen mellom bergmasseklasser og sikringsklasser. Sikringsangivelse i tabellen gjelder utsprengt tunneltverrsnitt for T8,5-T12,5. Bergsikring i andre tverrsnitt dimensjoneres spesielt.

Tabell 7.5—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	**Sikringsklasse IVa** — Sprøytebetong B35 E1000, tykkelse 150 mm — Systematisk bolting, c/c 1,5 m
	Q = 0,2-0,1	**Sikringsklasse IVb** — Sprøytebetong B35 E1000, tykkelse 150 mm — Systematisk bolting, c/c 1,5 m — Armerte sprøytebetongbuer, buedimensjon E30/6 ø20 mm, c/c buer 2-3 m, ev. gitterbuer • 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, ø20 mm, c/c buer 1,5-2 m, ev. gitterbuer • Buene boltes systematisk, c/c 1,0 m, boltelengde 3-6 m — Sålestøp vurderes

Tabell 7.5—1 — Sammenhengen mellom bergmasseklasser (Q-systemet) og sikringsklasser – permanent sikring *(fortsetter)*

Bergmasse-klasse	**Bergforhold** **Q-verdi (sprengt berg)**	**Sikringsklasse** **Permanent sikring**
G	Eksepsjonelt dårlig bergmasse, stort sett løsmasse Q < 0,01	**Sikringsklasse VI** — Driving og permanent sikring dimensjoneres spesielt
— Salvelengde reduseres senest fra og med sikringsklasse IV. — Sprøytebetong sprøytes ned til minimum kjørebanenivå. — Minimum tykkelse på sprøytebetong i saltvannssoner og syredannende berg (alunskifer, sulfidførende gneis) skal være 100 mm. — Med driving inn mot svakhetssoner, og andre kritiske partier, skal det i god avstand fra partiet utføres en vurdering av det videre drive- og sikringsopplegget. — Kombinasjonsbolter forspennes med 50 kN		

Veiledning til kravet

Sikringsklassene er, i likhet med de kartlagte Q-verdiene, retningsgivende for valg av endelig sikring. Det foretas en vurdering av anbefalt sikring i forhold til bergrommets geometri og geologi, spesielt kryssende sprekker, slepper og svakhetssoner. Om nødvendig suppleres sikringsklassen med tilpasset sikring. Driveopplegg og permanent sikring som dimensjoneres spesielt ved bergmasse i sikringsklasse VI dokumenteres og vedlegges som bygd-dokumentasjonen. For utførelse av armerte sprøytebetongbuer, se V521 [10].

Krav 7.5—2 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

All bergsikring i tunnelen skal utføres slik at den kan inngå i den permanente stabilitetssikringen.

Krav 7.5—3 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Kontroll av utført permanent stabilitetssikring skal utføres før tunnelen kles med vann- og frostsikring, se punkt 2.3 om kontroll.Eventuell supplerende sikring dokumenteres i ingeniørgeologisk sluttrapport (punkt 7.10).

7.6 Bergsikringsbolter

7.6.1 Bolter til stabilitetssikring

Krav 7.6.1—1 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Bolter benyttet til sikringsklassene I-V definert i Tabell 7.5—1 skal være i henhold til Tabell 7.6.1—1.

Tabell 7.6.1—1 — Bolter til bergsikring ved tunnelpåhugg, ved stuff og bak stuff (ref. sikringsklasser i Tabell 7.5—1).

		Forankring	Diameter	Kommentar
Type 1	Forbolter	Fullt innstøpt	Ø 32 mm	Fullt innstøpte bolter, der bolten presses inn i mørtelfyllt hull. Brukes ved stuff og ved tunnelpåhugg
Type 2	Bolter, fullt innstøpte	Fullt innstøpt	Ø 20 mm Ø 25 mm	Fullt innstøpte bolter, der bolten presses inn i mørtelfyllt hull. Brukes fortrinnsvis til radiell bolting bak stuff
Type 3	Kombinasjonsbolter	Endeforankret og ettergysbar	Ø 20 mm Ø 25 mm	Fullt innstøpt med endeforankring og ettergysningssystem. Brukes til radiell bolting ved og bak stuff, m.m.
Type 4	Bolter ved bergtrykksproblemer	Endeforankret og ettergysbar	Ø 20 mm	Brukes til radiell bolting ved og bak stuff m.m. ved bergtrykksproblemer.

Veiledning til kravet

Bolter med dimensjon Ø20 mm brukes ved spredt og systematisk bolting samt for oppheng av sprøytebetongbuer. Bolter med dimensjon Ø25 mm brukes ved spesielle tilfeller der det behøves større kapasitet f.eks. ved tunnelkryss, tverrslag og nederst i sprøytebetongbuer.

Krav 7.6.1—2 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Ved spesiell dimensjonering i sikringsklasse VI skal bolter beskrevet i Tabell 7.6.1—1 benyttes så langt det er mulig. Andre typer bolter og stag kan brukes der det er nødvendig for midlertidig og permanent stabilitet.

Veiledning til kravet

Ved sikring og driving i bergmasse som krever sikringsklasse VI kan andre bolter og sikringsmidler en det som er beskrevet i Tabell 7.6.1—1 benyttes etter spesiell vurdering og prosjektering. Det kan f.eks. være selvborende stag, andre typer stag, bolter med andre dimensjoner, og bolter med andre materialer (f.eks. glassfiberbolter til stuffsikring). Dokumentasjon på egenskapene til boltene og stagene legges ved dokumentasjonen på drive- og sikringsopplegget.

Krav 7.6.1—3 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Radielle bolter skal være gjenget og forsynt med mutter, halvkule og underlagsplate som gir stabilt anlegg mot berg/sprøytebetong. Platen skal ligge stabilt mot underlaget, selv med et avvik mellom boltens normal til platens flate på inntil 20°. Underlagsplater, halvkuler og muttere skal være i stål og korrosjonsbeskyttet på samme måte som bolten (se punkt 7.6.2).

Krav 7.6.1—4 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Underlagsplaten skal ha en tykkelse på minimum 5 mm. Platens ytterkant skal ha en minste avstand fra sentrum på 75 mm. Hullet på platen skal være parallelt med anleggsflaten.

Krav 7.6.1—5 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

For bolter av type 1 og 2 tolereres en minimal reduksjon av tverrsnitt i gjengepartiet for å tilpasse egnet mutterdimensjon. Den ytre forankring (plate, mutter, gjenger, etc.) skal være sterkere enn bruddstyrken i gjengepartiet. Deformasjon i platen ved overskridelse av boltestammens flytegrense i gjengepartiet tillates.

Veiledning til kravet

Bolter av type 1 vil kunne være både gjengede og ikke gjengede, og senere krav til dokumentasjon utover boltestammens egenskaper gjelder følgelig bare for bolter som er gjengede.

Krav 7.6.1—6 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

For bolter av type 3 tolereres en minimal reduksjon av tverrsnitt i gjengepartiet for å tilpasse egnet mutterdimensjon. Den ytre forankring (plate, mutter, gjenger, etc.) skal være sterkere enn bruddstyrken i gjengepartiet. Deformasjon i platen ved overskridelse av boltestammens flytegrense i gjengepartiet tillates. Boltens endeforankring skal være sterkere enn bruddstyrken i partiet med det ev. reduserte tverrsnittet ved forankring i kompetent bergmasse. Boltens gysesystem skal ikke føre til en reduksjon av boltestammens binding til bergmassen.

Veiledning til kravet

For boltens endeforankring vil både type forankring, utformingen på selve forankringen og bergmassens kvalitet påvirke dens kapasitet. For eksempel vil en mekanisk forankring med liten kontaktflate mot berget ha behov for en bedre bergkvalitet for å klare kravet enn en med en større kontaktflate. Ved tiltakende svakere bergmasse vil en mekanisk forankring, uansett utforming, på et punkt ha problemer med å få tilstrekkelig feste. Se også veiledning til Krav 7.6.1—10.

Boltens gysesystem utformes på en slik måte at det ikke påvirker mørtelens binding/kapasitet mellom boltestamme og boltehullsvegg. Ved for eksempel bruk av rør som omslutter boltestammen må overflaten (inn og utside) på røret ha en høyere fasthet mot gysemassen enn boltens overflate. Dette på en slik måte at det sikres at boltestammen blir belastet ved deformasjoner og at det ikke blir brudd langs sjiktet mellom mørtel og rør.

Krav 7.6.1—7 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

For bolter av type 4 skal utformingen være tilpasset for bruk ved store deformasjoner og sprakeberg. Den ytre forankring (plate, mutter, gjenger, etc.) skal være sterkere enn den faktiske bruddstyrken i boltestammen. Deformasjon i platen ved overskridelse av boltestammens flytekapasitet tillates.

- Bolten skal være utformet slik at til sammen minst to tredeler av boltestammen går til flyt og utnytter sin deformasjonskapasitet.
- Bolten skal tåle en dynamisk belastning på minst 20 kJ både i permanent og midlertidig tilstand.
- Boltens endeforankring skal være sterkere enn bruddstyrken i boltestammen ved forankring i kompetent bergmasse.
- Bolten skal være gyst i permanent tilstand og fullstendig omhyllet av gysemasse. Bolten kan enten gyses rett etter installasjon, om det fremdeles vil tillates deformasjon, eller ha et system for gysing etter at deformasjonene har stanset.

Veiledning til kravet

For tilfeller der det kan forventes meget store bergspenningsproblemer vurderes å øke kravet til dynamisk belastning. For kommentar angående endeforankring, se Krav 7.6.1—6 og Krav 7.6.1—10.

Det er stilt krav til stålet i boltestammen. Kravet innebærer at bolten har kammer i hele lengden ut til gjengene. For at en innstøpt bolt skal kunne deformeres i to tredeler av lengden må effekten av disse gjengene fjernes i dette området ved at bindingen mellom boltestamme og borehullsvegg hindres.

Krav 7.6.1—8 **SKAL** Gjeldende fra 01.01.2024

For boltestammen gjelder:

— Stålet som brukes i boltestammen skal tilfredsstille krav til armeringsstål i klasse C gitt i NS-EN 1992-1-1+A1+NA [39], samt krav gitt i NS-EN 10080 [40]. Kravet til karakteristisk verdi for øvre flytegrense er 500 MPa. Armeringsstål av type B500NC iht. NS 3576-3 [41] tilfredsstiller disse kravene.

— Bolteprodusent skal sørge for at stålet er testet og kontrollert etter kap. 8 og tillegg ZA i NS-EN 10080 [40] og at testing og kontroll dokumenteres i et kontrollsertifikat av type 3.1 iht. NS-EN 10204 [42]. Sertifikatet skal inneholde prøvingsresultatene fra testingen.

— Dokumentasjonen av stålets egenskaper skal følge bolten ved levering til anlegg. For å lette mottakskontroll på det enkelte anlegg skal dokumentasjonen starte med en bekreftelse på at stålet i boltestammen er i henhold til kravet.

Veiledning til kravet

Bergsikringsbolter er en meget viktig del av den endelige konstruksjonsstabiliteten og det stilles derfor strenge krav til kontroll av stålet som brukes i boltestammen. For stål produsert etter NS-EN 10080 [40] og NS 3576-3 [41] blir det sikret jevn kvalitet ved at det utføres et gitt antall type tester over tid, samt at prøvingen verifiseres av et uavhengige kontrollorgan.

For ikke CE-merkede byggevarer, slik som en bergsikringsbolt, må det ifølge byggevareforskriften følge med produktdokumentasjon når byggevaren leveres. For bergsikringsbolter som helhet er dokumentasjonen som leveres med produktet spesifisert i inneværende krav, samt Krav 7.6.1—9 og Krav 7.6.1—10.

Det er viktig at produsenter utformer dokumentasjonen på en slik måte at den er lett å sette seg inn i for mottakeren.

Det er produsentens ansvar at prøving er utført og dokumentert. Tillegg ZA i NS-EN 10080 [40] angir hvilke tester som skal utføres. Tillegg ZA angir også verifikasjon etter system 1+ i byggevareforordningen. I byggevareforskriften blir også importører og distributører, som omsetter en byggevare under sitt eget navn, ansett som produsenter og vil i slike tilfeller være ansvarlig for at prøving er utført og dokumentert.

For boltestammen, spesifisert i dette kravet, er det følgende egenskaper som testes og dokumenteres iht. NS-EN 10080 [40]:

— *Masse per meter*

— *Kamutforming, kamavstand og kamhøyde, samt relativt kamareal*

— *Kjemisk sammensetning*

— *Strekkegenskaper; flytegrense (R_{eH}), duktilitet (A_{gt} og R_m/R_{eH}) og strekkfasthet (R_m)*

— *Bøybarhet, inkl. ombøyeprøving*

— *Utmattingsfasthet (gjelder kun for forankringsbolter for tunnelkledninger, se krav 8.1.4-1)*

Grenseverdier for kjemisk sammensetning, overflategeometri og utmattingsfasthet er gitt i NS-EN 10080 [40], mens resten av egenskapene er gitt i NS-EN 1992-1-1 [39].

Stål av type B500NC iht. NS 3576-3 [41] tilfredsstiller de tekniske kravene gitt i NS-EN 1992-1-1 [43] og NS-EN 10080 [40]. Et verkssertifikat av type 3.1 utstedt etter NS-EN 10204 [42] av stålverket anses derfor å oppfylle dokumentasjonskravet til testing av boltestammen.

Krav 7.6.1—9 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Et kontrollsertifikat av type 3.1 i henhold til NS-EN 10204[42], som viser at den ferdige produserte bolten følger de krav som er gitt, skal følge bolten ved levering. Bolten skal testes for hvert parti/batch med stål som brukes til boltestammen. Det som testes er minimum:

- For bolter type 1: Mekaniske egenskaper for eventuelt redusert tverrsnitt ifm. gjenging.
- For bolter type 2: Mekaniske egenskaper for eventuelt redusert tverrsnitt. Mekaniske egenskaper for bolten som helhet, montert med plate, mutter, etc. Mutterens tilstrammingsmoment ved en forspenning på 50 kN.
- For bolter type 3: Mekaniske egenskaper for eventuelt redusert tverrsnitt. Mekaniske egenskaper for bolten som helhet, montert med plate, mutter, etc. Mutterens tilstrammingsmoment ved en forspenning på 50 kN.
- For bolter type 4: Mekaniske egenskaper for bolten som helhet, montert med plate, mutter, etc. Mutterens tilstrammingsmoment ved en forspenning på 50 kN.

Veiledning til kravet

Et kontrollsertifikat av type 3.1 ihenhold til NS-EN 10204[42]innebærer at produsenten selv utfører testing og erklærer at produktet er innenfor de krav som er satt.

Testene kan f.eks. utføres ved at én bolt, i én av de produserte boltelengdene, for ett parti av produsert boltestammestål, plasseres i en strekkrigg med belastning på eventuell endeforankring og bolteplate. Rapporten dokumenterer at krav gitt i dette kapittelet er oppfylt og bør minst inneholde relevante opplysninger som flytspenning og bruddspenning for boltestamme og plate, hvor bolten gikk til brudd, last/deformasjonsdiagrammer og bilder av deformerte elementer. Det er viktig at dokumentasjonen inneholder testoppsett slik at resultatene kan vurderes.

Krav 7.6.1—10 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Annen dokumentasjon som skal følge med bolten omfatter:

- At gysesystem fungerer som forutsatt.
- Endeforankringens kapasitet brukt i berg. Kontrolldokumenter fra produksjonskontroll på endeforankringen fremvises av produsent ved forespørsel.
- Teoretiske betraktninger, samt fysiske tester som viser at bolter til bruk i sprakeberg (type 4) fungerer som forutsatt.

Veiledning til kravet

Dokumentasjonen kan vedlegges i form av rapporter. Det kreves ikke løpende tester underveis i produksjonen, men vedlegges som generell dokumentasjon på at bolten fungerer som forutsatt.

Dokumentasjon av boltens endeforankring vedlegges slik at boltens kapasitet i forhold bergforhold kan vurderes. Kravet til kapasitet er satt til «kompetent bergmasse» (se Krav 7.6.1—6 og Krav 7.6.1—7). Forankringen bør ha full kapasitet også i svakere berg, samt dokumentasjon på dette, slik at boltens bruk kan vurderes også i svakere berg. I bergmasse der full kapasitet ikke oppnås på den midlertidige endeforankringen tas dette hensyn til i driveopplegget. Beskrivelser av bergets kvalitet bør ikke være Q-verdier alene da disse beskriver bergmassens kvalitet med tanke på global stabilitet og ikke direkte kan overføres til en punktforankring.

Dokumentasjon for funksjon i sprakeberg bør omfatte både boltens mekaniske funksjon samt hvordan dette er tenkt å samvirke med berget. Energiabsorpsjon testes og dokumenteres som en del av dette. En bergmekanisk betraktning bør ligge til grunn for valg av utforming og funksjon, og gjengis i dokumentasjonen.

7.6.2 Korrosjonsbeskyttelse

Krav 7.6.2—1 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Korrosjonsbeskyttelse skal utføres med varmforsinking og pulverlakkering, med tykkelser spesifisert i Tabell 7.6.2—1.

Tabell 7.6.2—1 — Tykkelse på sinkbelegg og pulverlakkering.

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

Veiledning til kravet

Korrosjonsbeskyttelse av ståldeler i tunnel er utredet i etatsprogrammet Varige konstruksjoner, se f.eks. Statens vegvesen rapport nr. 410Korrosjonsbeskyttelse i tunneler - revidert[44].

Krav 7.6.2—2 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Varmforsinking av bolter og ståldeler skal utføres og dokumenteres i henhold til NS-EN ISO 1461[45].

Krav 7.6.2—3 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Pulverlakkering av bolter og ståldeler skal utføres og dokumenteres i henhold til NS-EN 13438[46], krav til prøveomfang og antall målinger av lakktykkelseer gitt i standardens vedlegg D. En enkeltmåling er ett målepunkt, lokal tykkelse er gjennomsnitt av minst 5 enkeltmålinger og midlere tykkelse er gjennomsnitt av de lokale tykkelsene.

Veiledning til kravet

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.

7.7 Sprøytebetong til bergsikring

Krav 7.7—1 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Produksjon, utførelse og kontroll av sprøytebetong skal være i henhold til NS-EN 206+NA [47]og Norsk Betongforenings Publikasjon nr. 7 (NB7) Sprøytebetong til bergsikring[48].

Veiledning til kravet

Fasthetsklasse, energiabsorpsjonsklasse og tykkelse for ulike sikringsklasser er i henhold til i Tabell 7.5—1.

Krav 7.7—2 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Prøving av energiabsorpsjon for fiberarmert sprøytebetong skal utføres etter reglene i NB7[48]. Prøvingsresultatet skal tilfredsstille spesifisert energiabsorpsjonsklasse, minimum 700 Joule for E700 og minimum 1000 Joule for E1000.

For sprøytebetong til brannsikring av vann- og frostsikringshvelv, se kapittel 8.

Krav 7.7—3 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Fiber i sprøytebetong skal være i henhold til NS-EN 14889-1[49].

Krav 7.7—4 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Bestandighetsklasser skal være:

— M45 der lekkasjevann er ferskvann

— M40 der lekkasjevann er saltvann, og ved vannlekkasjer i sulfid- og sulfatførende berg og alunskifer

Veiledning til kravet

For sprøytebetong til bergsikring i tunneler hvor innlekkasjevannet er saltvann gjelder eksponeringsklassene XA2 til XA3 for kjemisk angrep i henhold til tabell NA.1 og krav til bindemiddel i henhold til tabell NA.13, sulfatmotstandsklasse SuR1, i NS-EN 206+NA[47].

For sprøytebetong til bergsikring i tunneler hvor innlekkasjevannet drenerer gjennom alunskifer eller sulfidførende berg gjelder eksponeringsklasse XSA for kjemisk angrep i henhold til Tabell NA.1 og tabell NA.15, og krav til bindemiddel i henhold til Tabell NA.13, sulfatmotstandsklasse SuR2, i NS-EN 206+NA. For begge tilfeller gjelder at tilslaget er uten innhold av kalkstein eller kalkfiller.

Krav 7.7—5 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

For armerte sprøytebetongbuer og gitterbuer skal det benyttes sprøytebetong uten tilsetting av fiber, og med fasthetsklasse og bestandighetsklasse som for sprøytebetong til bergsikring.

Veiledning til kravet

For utførelse av armerte sprøytebetongbuer, se V521[10].

7.8 Sikringsstøp

Krav 7.8—1 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Betong til sikringsstøp skal være i fasthetsklasse B35, bestandighetsklasse M45 og kloridklasse Cl 0,1 i henhold til NS-EN 206+NA[47].

Veiledning til kravet

Sikringsstøp, betongutstøping ved og bak stuff, kan benyttes ved særlig ustabile partier, for eksempel svakhetssoner med mye leire eller liten bergoverdekning. Sikringsstøp medfører forberedelse, for eksempel ved å utvide tunnelprofilet i forbindelse med drivingen. Behov for armering vurderes i hvert enkelt tilfelle. Tykkelse på sikringsstøp er som regel minimum 300 mm.

7.9 Utstyr og beredskap ved driving av undersjøiske tunneler

Krav 7.9—1 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

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.

7.10 Ingeniørgeologisk sluttrapportering

Krav 7.10—1 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Det skal utarbeides en ingeniørgeologisk sluttrapport som inneholder:

— geologisk/ingeniørgeologisk dokumentasjon med kartlegging og beskrivelse av bergforholdene og samlet utført sikring.

— inspeksjonsrutiner for berg og bergsikring, både når det gjelder behov, hyppighet og spesielt beskrive områder som krever spesiell oppfølging.

— eventuelle avvik i utførte sikringsmengder og sikringsmetoder ut fra det som var forutsatt i geologiske forundersøkelser, med begrunnelse.

— 3D-modell av geologiske forhold der modell er utarbeidet.

Veiledning til kravet

Utført sikring, sammen med geologiske registreringer i tunnel, injeksjon, m.m. presenteres på en oversiktlig måte og rapporteres. Ingeniørgeologisk sluttrapport inngår som del av sikkerhetsdokumentasjonen for tunnel.

Erfaringer fra tunneldrivingen beskrives, både som dokumentasjon og for erfaringsoverføring. Dokumentasjon av utført uavhengig kontroll i byggefasen er også del av geologisk sluttdokumentasjon. Som del av ingeniørgeologisk sluttrapport lages en oversikt over punkter/ strekninger som anbefales fulgt opp spesielt som del av drift- og vedlikeholdsrutinene, sammen med beskrivelse av områdene og vurdering av nødvendig hyppighet. Relevant bakgrunnsmateriale inkluderes i rapporten og arkiveres.

Eksempler på sluttdokumentasjon er gitt i V521[10].

8 Tunnelkledninger

8.1 Generelle krav

8.1.1 Overordnet

Krav 8.1.1—1 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

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.

Krav 8.1.1—2 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Lekkasjer i vegger og heng skal samles opp ved at det monteres en vanntett tunnelkledning som fører vannet ned til grøft og frostfritt ut av tunnelen via drenssystemet. Over gitte frostmengder isoleres tunnelkledningen. Konstruksjonen bygges opp slik at kuldebroer unngås. Alle gjennomføringer i tunnelkledningen skal være vanntette.

Krav 8.1.1—3 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Tunnelkledningen skal monteres slik at den ikke kommer innenfor normalprofilet.

Krav 8.1.1—4 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Tunnelkledning for vann- og frostsikring skal

— oppfylle krav til laster, jf. punkt 8.3

— oppfylle krav til brannmotstand, jf. punkt 5.4

— dokumenteres i henhold til punkt 8.2

Veiledning til kravet

Kjente, etablerte løsninger er vist i punkt 8.4.

Krav 8.1.1—5 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Tunnelkledning og tilhørende fundamentering skal være tilpasset øvrige installasjoner i tunnelen.

Krav 8.1.1—6 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Tunnelkledning skal endetettes mot andre konstruksjoner i tunnelen og endetettes mot tunnelvegg ved eventuell avslutning av seksjoner med tunnelkledning.

Veiledning til kravet

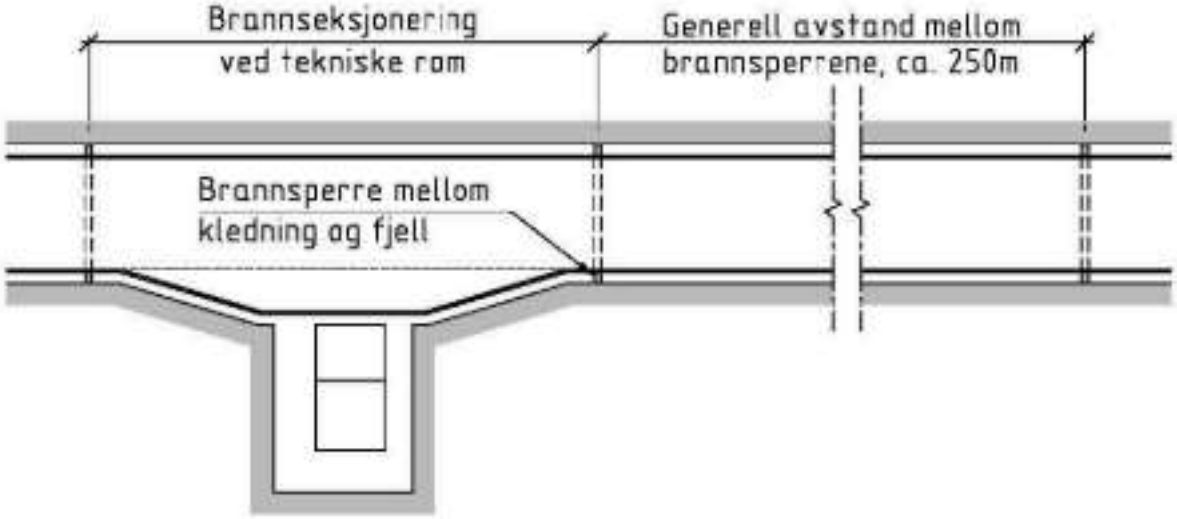
Endetetting hindrer luftgjennomgang bak hvelv med fare for frostoppbygging og isdannelse.

Krav 8.1.1—7 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Strekninger med brannsikret brennbart materiale i tunnelkledning skal seksjoneres til berg eller brannsikker konstruksjon ca. hver 250 m. Brannseksjonert felt merkes på vegg mot trafikkrommet.

Veiledning til kravet

Avstand 250 m kan tilpasses slik at seksjoneringen utføres på mest hensiktsmessig plass, for eksempel ved tekniske bygg, nødutganger etc. Se prinsippskisse for brannseksjonering i Figur 8.1.1—1. Brannseksjonert felt merkes med skilt, med tekst 'Brannsperre' og posisjon (km, m eller annet; til informasjon for brannmannskap).



Figur 8.1.1—1 — Prinsippskisse for brannseksjonering ved tekniske bygg, nødutganger, etc

8.1.2 Frostdimensjonering

Krav 8.1.2—1 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Frostsikring av tunnelkledning skal dimensjoneres basert på stedlige forhold med hensyn til frostmengde og årsmiddeltemperatur som baseres på kart: www.vegvesen.no/kart/visning/frostsonekart og www.vegvesen.no/kart/visning/arsmiddeltemperatur. Frostisolasjonen for tunnelkledning skal dimensjoneres etter F_{10} (h°C) ved tunnelåpningene. Der det kan dokumenteres lavere frostmengde innover i tunnelen kan frostmengden inne i tunnelen, F_{10T} (h°C), legges til grunn. Vegtunneler med lengde inntil 500 m dimensjoneres for frostmengden utenfor.

Veiledning til kravet

F_{10} er definert som den frostmengden som statistisk sett overskrides én gang i en 10-årsperiode.

Krav 8.1.2—2 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Tunnelkledning skal frostisoleres ved $F_{10} \geq 8000$ h°C. Tunnelkledningen kan utføres uisolert ved $F_{10} < 8000$ h°C. Materialer til frostisolering skal ha dokumentert antennelighet i henhold til punkt 5.4.2, samt isolasjonsegenskaper, varmeledningsevne (varmeledningstall, λ) og fuktopptak.

Veiledning til kravet

Ved fuktopptak mister materialer en del av isolasjonsevnen. Det er derfor av stor betydning at isolasjonsmaterialer er så diffusjonstette som mulig ovenfor vanndamp. Se eksempler i punkt 8.4.

8.1.3 Membraner

Krav 8.1.3—1 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Membran til vannsikring i tunnelkledning skal være av type GBR-P (polymeric geosynthetic barrier) i henhold til NS-EN 13491[50], og oppfylle krav til egenskaper gitt i Tabell 8.1.3—1. Membraner skal være heldekkende og utføres med varmsveiste skjøter.

Tabell 8.1.3—1 — Minimumskrav til membraner. Testmetoder i henhold til NS-EN 13491[50], GBR-P, uarmert eller armert.

Egenskap *	Type I	Type II	Type III	Merknader
Tykkelse	≥ 1,0 mm	≥ 2,0 mm	1,1-1,5 mm [1)]	[1)] avh. av type materiale
Strekkstyrke	≥ 18 N/mm^2	≥ 18 N/mm^2	> 25 N/mm^2	
			≥ 1000 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 i henhold til NS-EN 13501-1[51]

* I henhold til NS-EN 13491[50]. I tillegg testes følgende egenskaper: Permeabilitet, *Thermal expansion*, *Weathering*, Mikroorganismer, Oksidering, og hvis brukt på portal eller betongtunnel: Rotmotstand. Testverdier dokumenteres.

Veiledning til kravet

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

Krav 8.1.3—2 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

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

Krav 8.1.3—3 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

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

Krav 8.1.3—4 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Alle gjennomføringer skal være vanntette. Tetthet 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.

Krav 8.1.3—5 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Sveiset skjøt skal oppfylle følgende: Skjærbrudd (NS-EN 12317-2[52]): > 500 N/50 mm. Skrellbrudd (NS-EN 12316-2 [53]): > 100 N/50 mm.

Krav 8.1.3—6 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Skjøter mellom membran i tunnel og membran på tunnelportal skal være vanntette.

Veiledning til kravet

Dette kan oppnås ved at membran i tunnel videreføres over tunnelportal.

8.1.4 Forankringsbolter og festedetaljer for tunnelkledning

Krav 8.1.4—1 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Forankringsbolter og tilpassede festedetaljer skal være enten i rustfritt stål, eller korrosjonsbeskyttet stål;

— Rustfritt stål i henhold til NS-EN 10088-1 [54], i kvalitet 1.4401 eller 1.4404.

— Korrosjonsbeskyttet stål, der krav til stålet er gitt i Krav 7.6.1—8 og krav til korrosjonsbeskyttelse er gitt i punkt7.6.2.

Krav 8.1.4—2 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

I saltvannsonen i undersjøiske tunneler skal forankringsbolter og festedetaljer beskyttes spesielt. Dette utføres ved:

— Bruk av rustfritt stål av type 1.4462 i henhold til NS-EN 10088-1 [54], eller

— Boltediameter minimum 20 mm, kombinert med to lag pulverlakk (midlere tykkelse 150 µm, lokal tykkelse 120 µm, enkeltmåling 100 µm), og sinkbelegg i henhold tilTabell 7.6.2—1.

Krav 8.1.4—3 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

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

Veiledning til kravet

Gysing av forankringsbolter anbefales generelt.

8.2 Oversikt over dokumentasjon av tunnelkledninger

Krav 8.2—1 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

I dokumentasjonen skal inngå:

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

8.3 Laster og dimensjonering

8.3.1 Generelt

Krav 8.3.1—1 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Vann- og frostsikringskonstruksjonen skal oppfylle krav gitt i følgende dimensjoneringsregler og de aktuelle konstruksjonsstandardene. Laster og grensetilstander mv. skal defineres i samsvar med NS-EN 1990+NA [12] ogNS-EN 1991-1-1+NA [39]. I hvert tilfelle vurderes om det kan opptre andre laster eller om høyere karakteristiske verdier for angitte laster benyttes.

Krav 8.3.1—2 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Der det er nødvendig med dokumentasjon ved testing skal tester utføres ved uavhengig laboratorium.

Krav 8.3.1—3 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Følgende laster skal vurderes:

— Permanente laster
  - Egenlast
  - Egenlast ved produksjon, transport og montasje
  - Innhengt last; laster fra kabelstiger, skilt og annet utstyr som henges opp i konstruksjonen. Bestemmes i hvert enkelt tilfelle
  - Jordtrykk

— Variable laster
  - Trykk/sug-laster fra trafikk
  - Generell variabel last
  - Temperaturendringer, basert på temperaturdata gitt i NS-EN 1992-1-1+NA [43]. Effekter av temperaturgradient over tykkelsen av konstruksjonen vurderes.
  - Laster i midlertidige faser (produksjon, transport og montasje)

— Deformasjonslaster
  - Svinn og kryp, beregnes i henhold til NS-EN 1992-1-1+NA [43].
  - Setninger

— Ulykkeslaster
  - Fall-last
  - Påkjøringslast

Veiledning til kravet

Dimensjonerende lastvirkninger

Kombinasjonsfaktorer er gitt i Tabell 8.3.1—1.

Tabell 8.3.1—1 — Kombinasjonsfaktorer etter NS-EN 1990+NA [12](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*

Lastkombinasjoner i bruddgrensetilstanden for vedvarende og forbigående dimensjonerende situasjoner er gitt i Tabell 8.3.1—2.

Tabell 8.3.1—2 — Dimensjonerende verdier for laster – STR (sett B), etter NS-EN 1990+NA [12] (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 kontrolleres sett C etter NS-EN 1990+NA [12] tabell NA.A2.4(C). For sett C benyttes materialfaktor for jord > 1,0.

Lastkombinasjoner i bruddgrensetilstanden for ulykkessituasjoner er gitt i Tabell 8.3.1—3.

Tabell 8.3.1—3 — Lastkombinasjoner for ulykkessituasjoner etter NS-EN 1990+NA [12] (tabell NA.A2.5)

Kombinasjon	Permanente laster		Dominerendeulykkeslast	Øvrige variable laster
	Gunstig	Ugunstig		
Ulykkessituasjon	Σ Gk,sup	Σ Gk,inf	Ad	$\Sigma\ \psi_2\ Q_k$

sup/inf = øvre/nedre karakteristiske verdi. Variable laster tas med bare dersom de virker ugunstig. For ulykkessituasjon regnes ψ2 = 0,0 for trykk/sug fra trafikk.

Bruksgrensetilstanden

Tabell 8.3.1—4 — Lastkombinasjoner for bruksgrensetilstanden etter NS-EN 1990+NA [12] (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 ψ_2 = 0,5 (dominerende) og ψ_2 = 0,2/0,0 (øvrige variable laster).*				

Krav 8.3.1—4 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

For utmatting skal kapasiteten dokumenteres også ved forsøk, for nye materialer der erfaringsgrunnlaget er lite for bruk i tunnelkledning i vegtunneler.

Veiledning til kravet

Ved kontroll av kapasitet for utmatting, beregnes trykk/sug-laster fra trafikk som angitt i punkt 8.3.2. Dimensjonerende kjøretøyhastighet (V_b) settes ikke større enn 100 km/t.

Krav 8.3.1—5 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

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

8.3.2 Variable laster

8.3.2.1 Trykk/sug-laster fra trafikk

Krav 8.3.2.1—1 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Konstruksjonen skal dimensjoneres for ugunstigste tilfelle av trykk/sug-last som virker over hele tverrsnittet eller over den ene halvdelen av tverrsnittet. Lastene regnes uniforme over 50 m av tunnellengden. Karakteristiske verdier for trykk/sug-laster fra trafikk er gitt i 8.3.2.1—1.

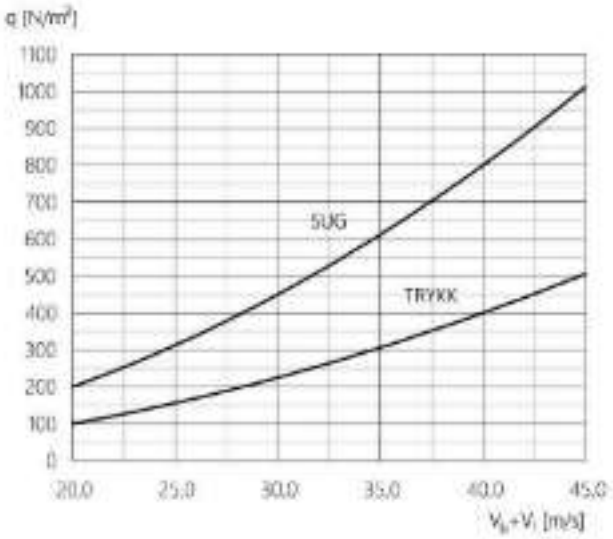
$$q = \mu \cdot \left(\frac{V_h}{3{,}6} + V_1\right)^2 \cdot \frac{1}{1{,}6} \qquad 8.3.2.1—1$$

q =	Trykk/sug [N/m^2]
μ =	Formfaktor, μ = -0,8 (sug), μ = 0,4 (trykk)
V_h =	Dimensjonerende kjøretøyhastighet, [km/t], settes 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, økes dimensjonerende hastighet tilsvarende.
V_1 =	Maksimalverdi for lufthastighet i tunnelen mot kjøreretningen, [m/s], som er summen av naturlig og mekanisk ventilasjon. Summen av naturlig og mekanisk ventilasjon regnes som et tillegg til dimensjonerende kjøretøyhastighet, [m/s] og settes ikke mindre enn V_1 = 2,0 m/s.

Krav 8.3.2.1—2 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Variasjon av trykk/sug som funksjon av total lufthastighet er vist i Figur 8.3.2.1—1. Minimum verdi for karakteristiske trykk/sug-laster skal være:

- Trykk: 200 N/m^2
- Sug: 400 N/m^2.



Figur 8.3.2.1—1 — Variasjon av trykk/sug med total lufthastighet

8.3.2.2 Generell variabel last

Krav 8.3.2.2—1 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Generell variabel last sikrer tilstrekkelig kapasitet i konstruksjonen for å ivareta usikkerheter i variable laster. Karakteristiske verdier skal være i henhold til Tabell 8.3.2.2—1.

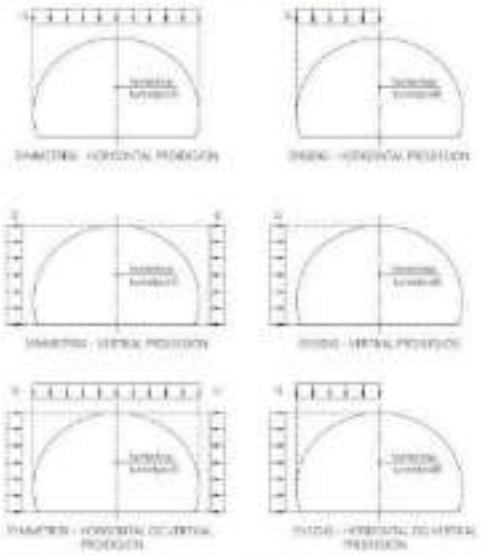
Tabell 8.3.2.2—1 — Karakteristiske verdier for generell variabel last

Tunnelklasse	Generell variabel last [kPa]
A, B	q_g
C, D, E, F	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.

Veiledning til kravet

Generell variabel last regnes som jevnt fordelt på ugunstigste av horisontal og/eller vertikal projeksjon av konstruksjonen. Lasten påføres symmetrisk eller kun på den ene halvdelen av tverrsnittet. Lasttilfeller for generell variabel last er vist i Figur 8.3.2.2—1.



Figur 8.3.2.2—1 — Generell variabel last – lasttilfeller

8.3.3 Ulykkeslast

Krav 8.3.3—1 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Konsekvensene for de enkelte deler av konstruksjonen som kan bli utsatt for påkjørsel og for hele konstruksjonen dokumenteres. I dokumentasjonen inngår helhetsvurdering av konsekvenser og konstruksjonens virkemåte i ulykkessituasjonen, samt en vurdering av konsekvenser når deler av konstruksjonen bryter sammen. Det skal videre dokumenteres at:

— Konstruksjonselementer er sikret mot påkjøringslaster på en slik måte at de ikke faller ned i trafikkrommet ved påkjørsel i tunnelen. Dette gjelder også tilstøtende deler.

— Konstruksjonen virker som rekkverk.

Krav 8.3.3—2 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Fester og fundamenter for tunnelkledning 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.

Krav 8.3.3—3 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Vegg i tunnelkledning skal dimensjoneres for en jevnt fordelt ulykkeslast med karakteristisk verdi q_u = 5 kN/m^2. Lasten regnes som horisontallast på vertikalprojeksjonen av konstruksjonen opp til 3,5 m over kjørebanenivå og over inntil en elementlengde i tunnelens lengderetning. Føringskanter skal ha høyde minimum 0,9 m og være sikret slik at de ikke skyves inn ved påkjørsel. Dette kan utføres med bakfylling eller annen egnet konstruktiv utforming.

Krav 8.3.3—4 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Karakteristisk verdi for fall-last skal være: p_f = 5,0 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.

8.4 Kjente løsninger for tunnelkledninger

8.4.1 Generelt

Krav 8.4.1—1 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Kjente og etablerte løsninger for tunnelkledning i vegtunneler i de ulike tunnelklassene skal utføres i henhold til punkt 8.4. Løsningene skal være i henhold til punkt 8.1.

Veiledning til kravet

Løsningene har vært en del av regelverket for tunnelkledninger til vann- og frostsikring i vegtunneler gjennom flere tiår. Løsningene er benyttet som standard, de er velprøvde og erfaringsgrunnlaget er omfattende.

Krav 8.4.1—2 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Tunnelkledning skal som minimum utføres med vann- og frostsikringskonstruksjoner som vist i Tabell 8.4.1—1. Vann- og frostsikringskonstruksjonen benyttes som hovedløsning; i soner med spesielt dårlig bergkvalitet og/eller vannproblemer dimensjoneres sikringen spesielt.

Tabell 8.4.1—1 — Tunnelkledninger og bruksområder

Tunnel-klasse	Vann-/ frostsikringskonstruksjon	Vannsikring og frostisolasjon
A og B	Hvelv av nettarmert sprøytebetong, montert over føringskant av betong	Frostisoleres med PE-skum ved F_{10} ≥ 8000 h°C, kan utføres uisolert, med membran type III (tabell), ved F_{10} < 8000 h°C
C	Hvelv av nettarmert sprøytebetong med føringskant av betong Veggelementer av betong i innkjøringssonene, med sprøytebetong i heng	Frostisoleres med PE-skum ved F_{10} ≥ 8000 h°C, kan utføres uisolert, med membran type III (tabell), ved F_{10} < 8000 h°C Veggelementer frostisoleres med XPS
D og E	Veggelementer av betong, med nettarmert sprøytebetong i heng	Veggelementer frostisoleres med XPS. Frostisoleres med PE-skum ved F_{10} ≥ 8000 h°C, kan utføres uisolert, med membran type III (tabell), ved F_{10} < 8000 h°C
F	Helhvelv av betongelementer	Frostisolasjon av XPS bak betongelementer Vannsikring med membran type III
Alle	Kontaktstøpt vann-/ frostsikringshvelv med membran, Alternativ, prosjektspesifikk løsning	Membran type II

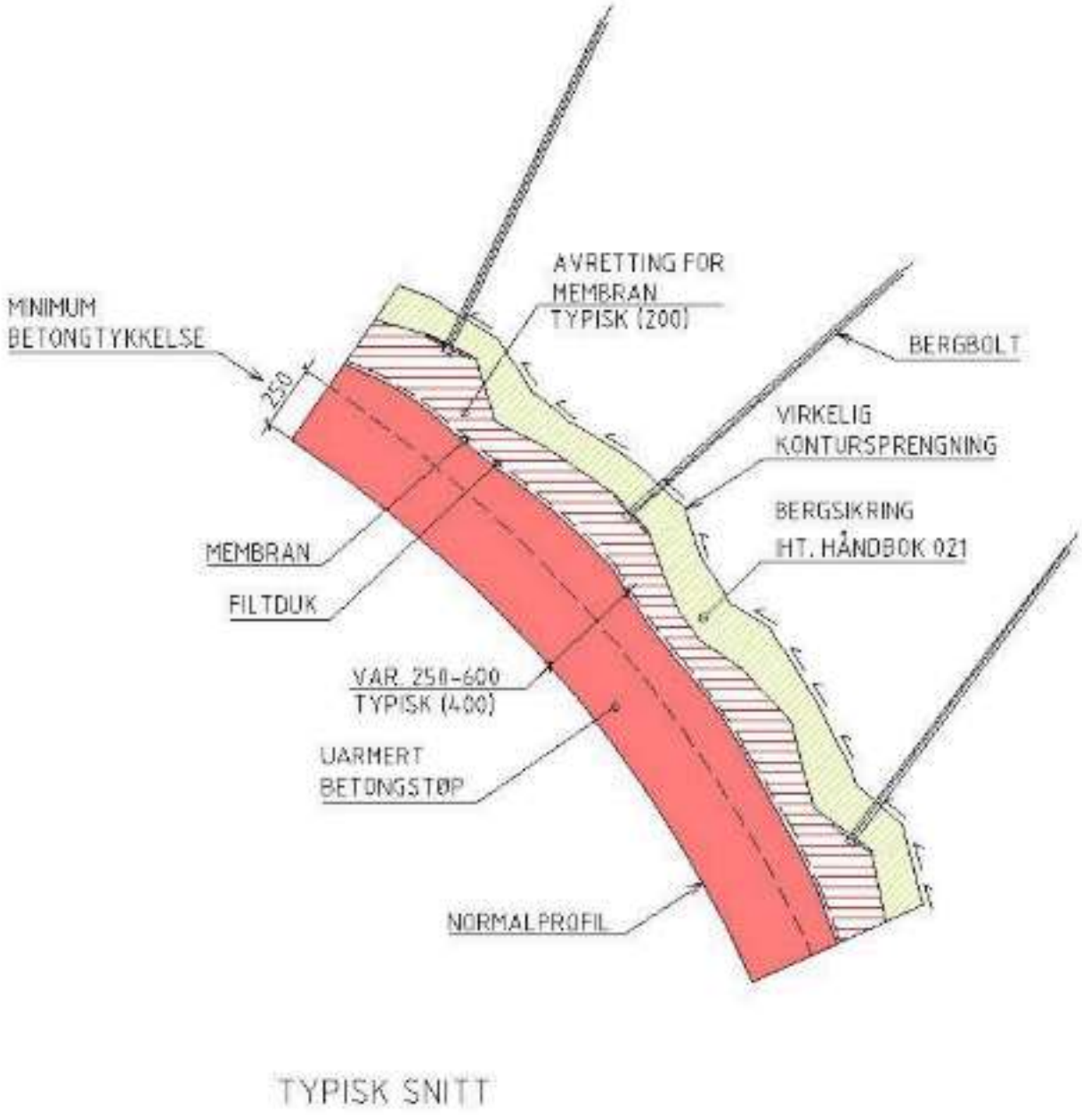
Veiledning til kravet

I tunnelklasse C benyttes veggelementer av betong i innkjøringssonene, i en avstand minst til og med halve lengden av overgangssone for belysning. I øvrige deler av tunnelen benyttes føringskant av betong.

Sprøytebetong i heng kombinert med veggelementer av betong kan benyttes i tunnelklasse F ved profilutvidelser; f.eks. havarinisjer. For eksempler på tegninger og detaljer av de ulike løsningene med betongelementer og sprøytebetonghvelv, se Statens vegvesen rapport nr. 510[55].

Kontaktstøpt vann- og frostsikringshvelv med membran er en alternativ tunnelkledning, og er aktuell for alle frostmengder. Løsningen er beskrevet i Statens vegvesen rapport nr. 127[56] og nr. 130[57], fra etatsprogrammet «Moderne vegtunneler». Prinsippskisse er vist i Figur 8.4.1—1.

En effektiv bygging av kontaktstøpt hvelv forutsetter at konturen er relativt jevn. Berget stabilitetssikres og avrettes med sprøytebetong. Ved kontaktstøp monteres membran på avjevnet underlag og med fiberduk som beskyttelse, for å unngå rifter og skader i membranen. Fiberduk er polypropylen med vekt 300-1500 g/m^2. Utenpå fiberduk og membran støpes uarmert betong med tykkelse minimum 250 mm. Fordelen med kontaktstøpt vann- og frostsikringshvelv er bl.a. at det monteres uten forankringsbolter og andre korrosjonsutsatte deler. Løsningen vurderes spesielt i saltvannssonen i undersjøiske tunneler, der korrosjonsmiljøet er krevende.



Figur 8.4.1—1 — Skisse av kontaktstøpt vann- og frostsikringshvelv med membran

8.4.2 Frostisolering med PE-skum eller XPS

Krav 8.4.2—1 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Frostisolasjonsmaterialene skal som minimum oppfylle krav i Tabell 8.4.2—1.

Tabell 8.4.2—1 — Minimumskrav til isolasjonsmaterialer (for tykkelse 50 mm)

Materiale	Dimensjonerende varmeledningstall	Densitet	Vannabsorpsjon ved diffusjon	Bruksområde tunnel
XPS; ekstrudert polystyren	≤ 0,039 W/mK		< 3 vol% *	Bak betongelementer
PE-skum; polyetylen-skum	≤ 0,043 W/mK	30 ± 2 kg/m³		Kombinert vann-/ frostsikring, festet i bolter
* i henhold til NS-EN ISO 16536 [58]				

Krav 8.4.2—2 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Dimensjonerende varmeledningstall, λ, for XPS skal fastsettes i henhold til NS-EN ISO 10456+NA[59]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 ≥ 200 kPa.

Krav 8.4.2—3 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

PE-skum skal ha minste tykkelse 45 mm. PE-platene skal være kryssbundet, med minimum 4 lag, og ha drensspor for vannavrenning.

Krav 8.4.2—4 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Minimumstykkelser for frostisolasjon ved ulike frostmengder skal være i henhold til Tabell 8.4.2—2.

Tabell 8.4.2—2 — 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
< 8000	-	-
8000-10000	50	45
10000-15000	50	50
15000-20000	50	60
20000-25000	60	70
25000-30000	60	80
> 30000	70	90

8.4.3 Brannsikring og brannbeskyttelse

Krav 8.4.3—1 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Som brannsikring av betongelementer og sprøytebetong, samt tunnelportaler, skal det tilsettes 2 kg/m³ monofilament polypropylenfiber med tykkelse ca. 18 mikrometer og med lengde ca. 6 mm. Fibrene skal ved produksjon være overflatebehandlet for bedre dispergering og redusert vannbehov.

Veiledning til kravet

Mikro pp-fiber til betong i tunnelkledning tilføres for å hindre/redusere avskalling av betong ved en brann, som beskyttelse av både armering og brennbar isolasjon bak hvelvet, samt unngå skader pga. eksplosiv avskalling av betong ved en brann. Se for eksempel Statens vegvesen rapport nr. 139[60] og nr. 127 [56].

Krav 8.4.3—2 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

PE-skum i tunnelkledning, skal brannbeskyttes med nettarmert sprøytebetong i tykkelse minimum 80 mm. Overlapper, endetetting og planskjøter i PE-skum skal ha spesifisert tykkelse av betong på alle punkt.

Veiledning til kravet

For dokumentasjon av brannbeskyttelse, se Teknologirapport nr. 2487[61]og Teknologirapport nr. 2488[62].

Krav 8.4.3—3 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Membran brukt som vannsikring i tunnelkledning skal brannbeskyttes med nettarmert sprøytebetong i tykkelse minimum 80 mm.

8.4.4 Betongelementer

Krav 8.4.4—1 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Veggelementer skal ha en høyde som tilsvarer 3,5 m over kjørebanen.

Krav 8.4.4—2 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Minste boltediameter for forankringsbolter skal være 25 mm. Boltediameter for forankringsbolter til takelementer av betong dimensjoneres spesielt.

Krav 8.4.4—3 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Produksjon skal være i henhold til følgende:

- Blandeanlegg for produksjon av betongelementer overvåket og sertifisert av et kontrollorgan i henhold til NS-EN 206+NA[47].
- Produksjon av elementene dokumenteres. Utstøping i henhold til krav gitt til utførelsesklasse 2 i NS-EN 13670+NA[63].
- Betong med fasthetsklasse B45 og bestandighetsklasse MF40 i henhold til NS-EN 206+NA [47].
- Toleranse for tykkelse av elementer er -0/+10 mm.
- Det benyttes armeringsstoler av betong i minimum samme betongkvalitet som elementene.
- Det benyttes formolje som ikke gir misfarging eller skjolder.
- Nødvendige herdetiltak gjennomføres for å unngå opprissing i tidlig fase.
- Herdemembran benyttes ikke på forskalede flater når avforming utføres etter at betongen er herdnet.

Krav 8.4.4—4 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Montering:

— Konstruksjonen som helhet skal ligge innenfor toleranser gitt i Tabell 8.4.4—1. I tillegg gjelder toleranse for fugebredde og fugesprang. Elementstørrelse tilpasses horisontal og vertikal kurvatur.

Tabell 8.4.4—1 — Toleranser for avvik i plassering

Type avvik	Tillatt avvik (mm)
Plassering horisontalt i forhold til en referanselinje (tillatt avvik er resultatet av totalt avvik for begge sider, slik at avstanden mellom elementene i taket ikke overstiger 25 mm)	± 25
Plassering vertikalt i forhold til en referanselinje	± 25
Fugebredde	+15, -12
Fugesprang begge sider	± 10

— Forankringsbolter skal være fullt innstøpte. Bolter skal ha forankringslengde minimum 1,0 m i stabilitetssikret berg.

— Alle bolter for takelementer skal gjennomgå prøvebelastning med to ganger takelementets egenvekt og erstattes ved eventuelt brudd i forankringen. Prøvingen skal gjøres før membran monteres.

— Skjøting av takbolter med skjøtehylse skal følge et eget kontrollopplegg som dokumenterer riktig montering av alle bolter.

— Muttere og gjengede sammenføyning av takbolter skal sikres mot å løsne med egnet låsemiddel. Skjøtehylser skal være utformet med en stoppemekanisme som hindrer gjennomskruing.

— Nominell fugebredde skal være 20 mm.

— Alle fuger skal være tette.

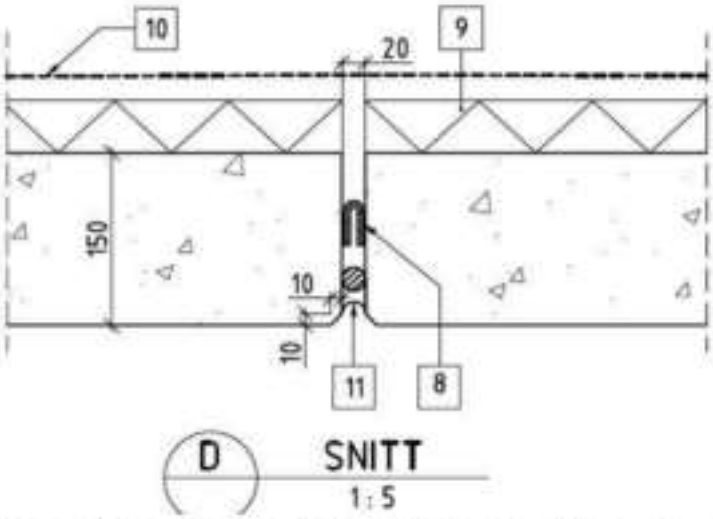
— Fugetetting med forsegling skal tilfredsstille følgende krav:

  - Bestandig i forhold til normal drift og 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.

Veiledning til kravet

Fuger mellom betongelementer tettes. Dette gjøres for å hindre at en brann kommer til brennbar isolasjon bak hvelvet, samt for å hindre frostoppbygging bak hvelv. Prinsippskisse av fuge og brannsikring av fuge er vist i Figur 8.4.4—1, fra Statens vegvesen rapport nr. 510[55].



Figur 8.4.4—1 — Skisse av fuge mellom betongelementer. Fugen er tettet med mineralull (merket (8) i figuren) og fugeforsegling med fugemasse inkl. bakfyllingslist (11).

8.4.4.1 Lettbetongelementer

Krav 8.4.4.1—1 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Lettbetongelementer, som alternativ til betongelementer, skal benyttes som helhvelv i tunneler. Lettbetonghvelv benyttes uten frostisolasjonsmaterialer i tillegg. Termisk dimensjonering av lettbetonghvelv skal følge Tabell 8.4.4.1—1.

Tabell 8.4.4.1—1 — Data for termisk dimensjonering av lettbetongelementer

Frostmengde, F_{10T} (h°C)	Min. tykkelse (mm)	Varmekonduktivitet λ (W/(m·K))
≤ 10000	150	≤ 0,6
≤ 15000	200	≤ 0,6
≤ 20000	250	≤ 0,6

Krav 8.4.4.1—2 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Materialer for lettbetongelementer skal være i samsvar med NS-EN 206+NA[47]. Fasthetsklasse LB 12, med densitet ca. 1300-1400 kg/m^3, men ikke over 1450 kg/m^3.

Krav 8.4.4.1—3 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Hvelvet skal monteres med membran. Punktlekkasjer i tunnel (≥ 0,3 l/min.) avskjermes og føres ned til sålen med isolasjon der frostmengden er F_{10T} ≥ 10000 h°C.

8.4.5 Nettarmert sprøytebetong

Krav 8.4.5—1 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Sprøytebetong benyttet i tunnelkledning skal være nettarmert. Sveiste armeringsnett skal være i samsvar med NS 3576-4[64]. Sprøytebetong skal ha fasthetsklasse B35 og bestandighetsklasse M45. Det skal brukes alkalifri akselerator.

Veiledning til kravet

Oversikt over typer av utførelse, med bolteavstand og dimensjoner på armeringsnett er vist i tabell.

Tabell 8.4.5—1 — Bolteavstand og armeringsnett for hvelv av nettarmert sprøytebetong

	Bolteavstand m	**Armeringsnett**	**Øvrige merknader**
Membranhvelv	*1,2x1,2*	*K 131*	*Metode for heft til betong*
PE med overlapp	*1,2x1,2*	*K 131*	
PE kant i kant	*1,375x1,375*	*K 189*	*Plateskjøt vannavskjermes*

Krav 8.4.5—2 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Minste boltediameter for forankringsbolter skal være 16 mm.

Krav 8.4.5—3 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

PE-skum til hvelv av PE-skum/nettarmert sprøytebetong skal ha vanntette horisontale og vertikale plateskjøter. Der PE-skumplater monteres uten overlapp, vannavskjermes skjøten spesielt.

Veiledning til kravet

PE-platene har som regel bredde 2,75 m. Platene kan skjøtes med overlapp, eller platene monteres kant mot kant med vannavskjerming av skjøten. Metodene kombineres i f.eks. tverrsnittsendringer eller utvidelser i den enkelte tunnel.

Kant-skjøten kan vannavskjermes med en overlappende ensidig påsveiset PE-membran ('PE-skjørt') på baksiden. Anbefalte dimensjoner på PE-skjørt:

- *Tykkelse 6-8 mm*
- *Kryssbundet, densitet ≥ 30 kg/m^3,*
- *Bredde min. 500 mm, overlapp med PE-skum-platen 100-150 mm.*

Krav 8.4.5—4 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Membran til hvelv av membran/nettarmert sprøytebetong skal som minimum oppfylle krav til type III i henhold til Tabell 8.4.2—1. Hvelv av membran oppstrammes og alle boltegjennomføringer vanntettes før påføring av sprøytebetong. Metode som sikrer vedheft til sprøytebetong dokumenteres.

Veiledning til kravet

Oppstramming av hvelvet er viktig for å minske bevegelse ved påsprøyting av betong. For å sikre heft til sprøytebetongen har membran i hvelvet ulike typer av løsninger. Eksempler på slike er integrerte løsninger (flosset overflate eller påsveiset nett), og separat montert tynn fiberduk.

Krav 8.4.5—5 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Ved utførelse skal følgende oppfylles:

— Forankringsbolter fullt innstøpte. Forankringslengde minimum 0,5 m i stabilitetssikret berg.

— Overlapp ved skjøting av armeringsnett er minimum 150 mm (en rute) i begge retninger.

— Avstanden mellom nett og isolasjonsmateriale eller membran minimum 20 mm, som regel benyttes nominell overdekning 25 mm med toleranse ± 5 mm. Ved dimensjonering tas hensyn til toleranse på plassering av armering i tverrsnittet.

— Nettarmeringen festes med egnete 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 sikres ved å benytte kraftoverføringsdel i stål, som sprøytes inn med sprøytebetong. Delene, inklusive festemidler, korrosjonsbeskyttes i henhold til punkt 8.1.4.

— Tykkelse på sprøytebetong minimum 80 mm. Toleranse for sprøytebetongtykkelse er for enkeltpunkt + 30 mm/- 10 mm. Det benyttes tykkelsesanvisere for å sikre at riktig tykkelse oppnås.

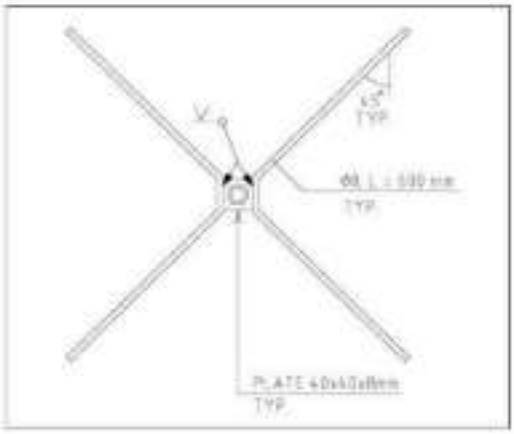
— Dilatasjonsfuger etableres for hver 30-40 m. Det tas hensyn til fastpunkter. Dilatasjonsfugene fylles med brannsikker fugemasse.

— Nysprøytet betong beskyttes mot uttørking i henhold til reglene i Norsk Betongforenings publikasjon nr. 7 [48].

Veiledning til kravet

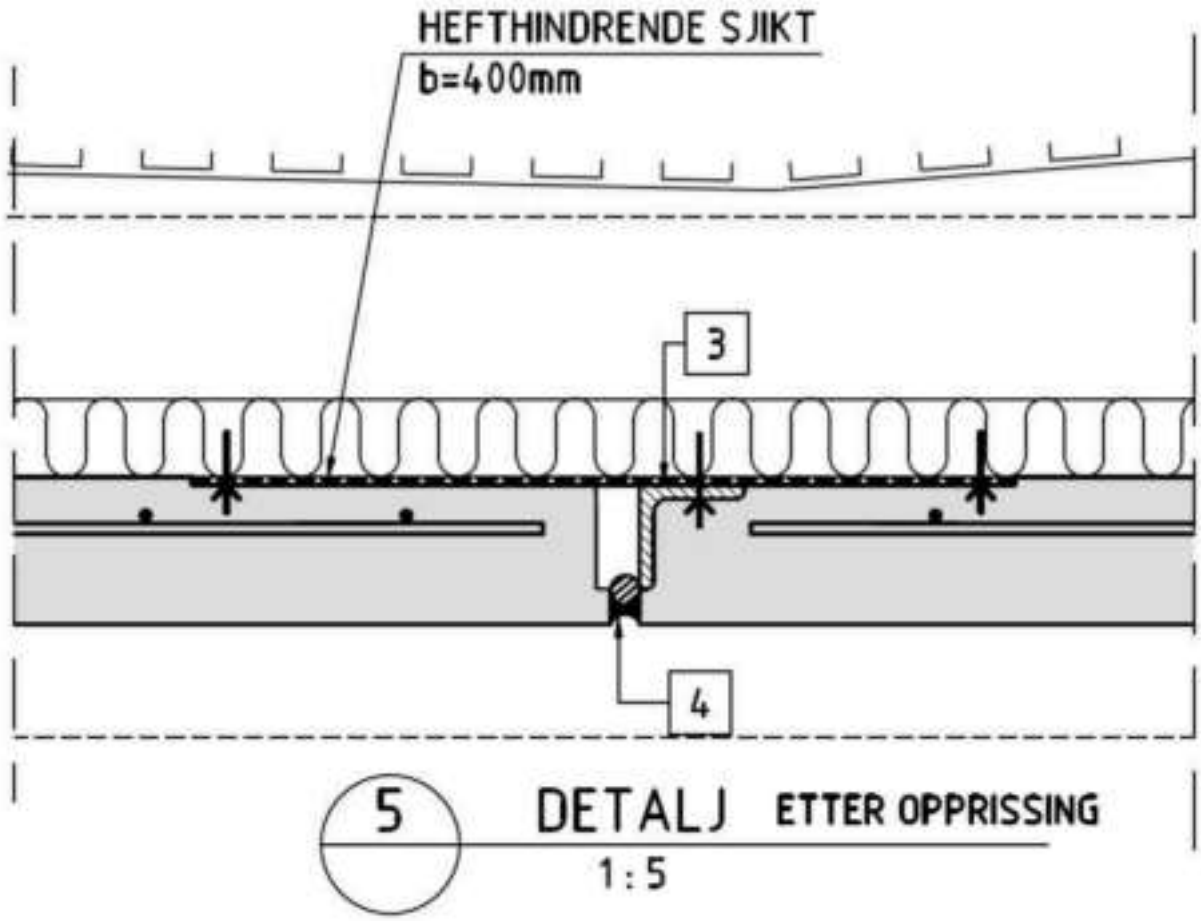
Eventuelt behov for avstivning av festebolter dimensjoneres spesielt.

For kraftoverføring mellom hvelv av sprøytebetong og bergbolt, se Figur 8.4.5—1.



Figur 8.4.5—1 — Stålskive med påsveiset armeringsjern. Total lengde diagonalt er ca. 600 mm (ca. 300 mm målt fra midten).

Dilatasjonsfuger: For dilatasjonsfuger monteres egnet plastprofil e.l. som rissanviser med dimensjon minimum 70 mm, for å styre opprissingen. Armering kappes og fjernes i avstand lik overdekningen til hver side for forventet riss. Dilatasjonsfuger med åpning mindre enn 5 mm samt spalte mellom sprøytbetonghvelv og veggelement/ føringskant forsegles ikke. For tunneler med veggelementer tilpasses dilatasjonsfugene best mulig til elementfugene på hver side av tverrsnittet. Prinsippskisse av dilatasjonsfuge i hvelv av sprøytebetong, og brannsikring av fuge er vist i Figur 8.4.5—2.



Figur 8.4.5—2 — Skisse av dilatasjonsfuge i sprøytebetonghvelv, utført med rissanviser, L-profil (merket (3) i figuren) og elastisk fugemasse (4). Statens vegvesen rapport nr. 510[55].

8.4.6 Føringskant av betong

Krav 8.4.6—1 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

I føringskant av betong skal det benyttes frostbestandig betong, bestandighetsklasse MF45.

Krav 8.4.6—2 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Føringskant av betong skal ha høyde på minimum 0,9 m over skulder, målt ved overgang til vegg.

Veiledning til kravet

Føringskant av betong tilpasses til tunnelen, normalprofil og øvrige installasjoner, og utføres ikke nødvendigvis som standardisert vegrekkverk eller brurekkverk. Føringskanten utformes med armering og rissanviser. Fordybling er ikke nødvendig. Kanten tilpasses til trekkerør etc. Se også Statens vegvesen rapport nr. 510[55].

9 Drenering, vegfundament og vegdekke

9.1 Drenssystemer i tunnel

Krav 9.1—1 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Drenssystemer i tunnel skal ta hånd om grunnvann fra forskjæring og portalområde, samt lekkasjevann, vaskevann, overvann, og eventuelle lekkasjer fra tungbiltrafikk.

Veiledning til kravet

Drenssystemet dimensjoneres ut fra trafikkmengde, tunnellengde, tunnel med lavbrekk/undersjøisk, rensekrav satt av forurensningsmyndighet m.m. For drenssystemer, se også vegnormal N200[3].

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 lekkasjepunkter flyttes.

Krav 9.1—2 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Kapasitet og utforming for sluk og oppsamlingssystem for vann, samt risiko for lekkasje av brannfarlige og giftige væsker skal avklares i plan- og prosjekteringsfasen.

Veiledning til kravet

Se forskrift om helse og sikkerhet i eksplosjonsfarlige atmosfærer i henhold til § 6 og § 9. Se tunnelsikkerhetsforskriftene vedlegg I, punkt 2.6.

9.2 Drenering

9.2.1 Generelt

Krav 9.2.1—1 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Vannlekkasjer i tunnel skal føres frostsikkert ut av tunnelen via drenssystemet. Lekkasjer i vegger og heng samles opp ved at det monteres en tunnelkledning som fører vannet ned til grøft. Vannlekkasjer fra tunnelsålen føres til grøft gjennom drenerende pukk- eller kultmaterialer.

Veiledning til kravet

Om sålerensk, etablering av planum, og drenerende materialer, se N200[3].

9.2.2 Vannmengder, ledningsdimensjoner og kummer

Krav 9.2.2—1 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Drenssystem skal dimensjoneres ihenhold til:

— Forventet lekkasje og mulige endringer i lekkasjer over tid

— Nedslagsfelt og nedbørsmengder i dagsoner

— Helning, med fare for tilslamming eller begroing av ledninger

— Behov for reservemagasin i forbindelse med lavbrekk

— Behov for hjelpedrensgrøfter i våte partier

— Frostsikring av drenssystemet, inklusive kummer

Krav 9.2.2—2 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Minimum innvendig diameter for drensrør skal følge Tabell 9.2.2—1.

Tabell 9.2.2—1 — Minimum innvendig diameter for drensrør

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

Krav 9.2.2—3 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

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

Veiledning til kravet

En egen overvannsledning anbefales bygget også ved lange strekninger med lite fall og med fare for tilslamming i drensledningen. Alternativt kan dimensjonen på drensledningen økes for å begrense lengden med egen overvannsledning.

Der det er aktuelt med legging av drenssystemet parallelt med driving, dimensjoneres eventuell uforutsett økning i lekkasjemengden og fare for tilslamming. Tiltak er å legge en midlertidig ledning for drifts- og lekkasjevann i tillegg.

Krav 9.2.2—4 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Drenssystemet i undersjøiske tunneler skal overdimensjoneres med 50 prosent eller mer i forhold til dimensjonerende kapasitet i ikke-undersjøiske tunneler, fordi drenssystemet er utsatt for gjengroing. Der fallet er under 10 ‰ økes kapasiteten med 100 prosent.

9.2.3 Sandfang

Krav 9.2.3—1 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

På ledning for oppsamlingssystem skal det monteres sandfang med største avstand 80 m. Sandfangene plasseres fortrinnsvis midt mellom inspeksjonskummene på drensledningen.

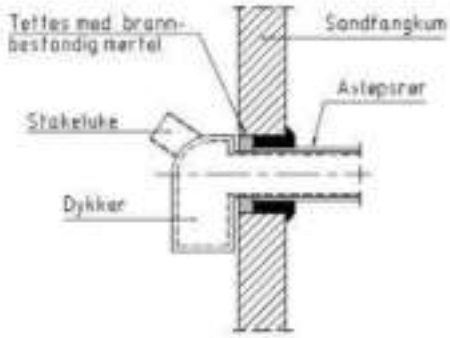
Krav 9.2.3—2 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Sandfangene skal ha tett bunn og være i ubrennbart materiale, inklusive dykker og monteringsutstyr. Høyden fra bunn til underkant utløpsrør er gitt i vegnormal N200[3]. Varmegjennomslag i sandfangskum fra brannsikker dykker og til overvannsledning skal hensyntas for å unngå svikt i overvannsledningens funksjon.

Veiledning til kravet

Se tunnelsikkerhetsforskriftene vedlegg I, punkt 2.6.

Brannsikker dykker monteres fordi at eventuell lekkasje av antente brannfarlige væsker ikke spres til andre deler av tunnelrommet. Dykker kan utføres i for eksempel støpejern. Eksempel på utforming av dykker er vist i Figur 9.2.3—1.



Figur 9.2.3—1 — Eksempel på utforming av dykker i sandfangskum i vegtunnel. Gjennomføring branntettes med egnet metode, for eksempel brannbestandig mørtel.

Krav 9.2.3—3 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Faren for brannspredning fra kum skal ivaretas ved valg av løsning. Innløpsrør unngås for å redusere brannspredning.

9.2.4 Sluk

Krav 9.2.4—1 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

I tunneler med kantstein skal det monteres sluk for å lede overvannet og vaskevannet til sandfangene. Slukets utforming og lengde skal vurderes spesielt for å kunne fange opp væsker i tunneler med langsgående fall. Det 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.

Veiledning til kravet

Se vegnormal N200 [3].

Krav 9.2.4—2 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Sluk i lavbrekk skal dimensjoneres spesielt.

9.3 Grøfter

9.3.1 Utforming og plassering

Krav 9.3.1—1 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Det skal etableres en avskjæringsgrøft i nedkant av lekkasjesoner for at vannet i sålen ikke kan spre seg til tørre partier. Ved frostmengde F_{10T} > 6000 h°C etableres hjelpedrensgrøfter i hele lengden for å sikre at innlekkasjer som avskjermes med tunnelkledningen ikke renner over sålen mot hovedgrøften.

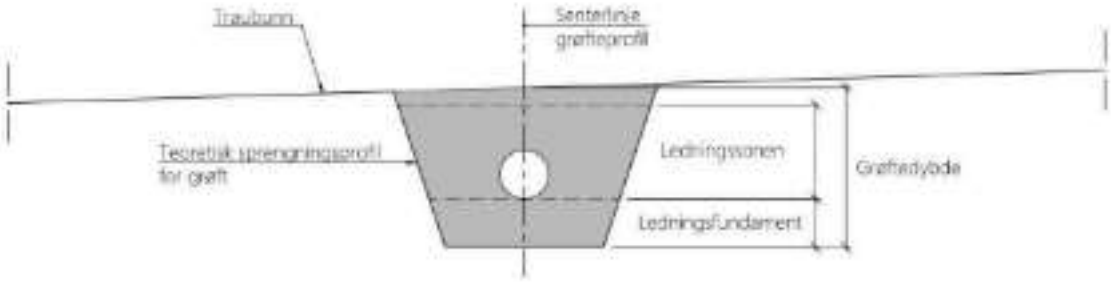
Veiledning til kravet

Grøften plasseres i tilstrekkelig avstand fra tunnelveggen slik at fundamentering for tunnelkledning og ev. sikringsstøp kan utføres utenfor grøft i sålenivå. I tilfeller med store lekkasjer kan det være hensiktsmessig å anlegge grøfter på hver side i tunnelen.

9.3.2 Fundament, omfylling og frostsikring for ledninger

Krav 9.3.2—1 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

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 velges. Se Figur 9.3.2—1.



Figur 9.3.2—1 — Prinsippskisse, grøftedybde

Veiledning til kravet

Teoretisk sprengningsprofil for grøftebunnen definerer underkant av ledningsfundamentet. Underkant av ledningsfundamentet legges så dypt at drensledningene effektivt kan samle opp vann fra sålen.

Krav 9.3.2—2 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Dersom frostmengden i tunnelen (F_{10T}) er større enn 6000 h°C frostsikres drenssystemet med isolasjon eller tilstrekkelig dyp grøft. Minimum avstand fra topp ferdig veg til underkant ledningsfundament skal være i henhold til Tabell 9.3.2—1.

Tabell 9.3.2—1 — Minimum avstand fra topp ferdig veg til underkant ledningsfundament uten frostisolasjon

Frostmengde i tunnel, F_{10T} (h°C)	Minimum avstand fra topp ferdig veg til underkant ledningsfundament (m)	Kommentar
< 6000	-	Ingen krav til frostsikring
6000-10000	1,0	
10000-15000	1,5	
> 15000	-	Grøft og kummer frostisoleres

Veiledning til kravet

For frostmengder, se punkt 8.1.2.

Krav 9.3.2—3 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Ved bruk av isolert vegfundament skal frostsikringen ivaretas ved at isolasjonen i vegfundamentet føres over grøft og frem til kontakt med konstruksjon for vann- og frostsikring av vegg og hvelv (tunnelkledning), og slik at kuldebroer unngås.

Krav 9.3.2—4 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Til frostsikring av grøfter skal det benyttes materialer som ivaretar frostmengde på stedet.

Veiledning til kravet

Til frostsikring av grøfter benyttes skumglassgranulat, lettklinker, eller isolasjonsplater, se vegnormal N200[3].

I de tilfeller isolasjonsplater benyttes til frostsikring av grøfter, benyttes ekstrudert polystyren (XPS) med tykkelse minimum 50 mm, for å begrense fuktopptak i platene. For utførelse, se vegnormal N200.

9.4 Pumpestasjoner og pumpeledninger

Krav 9.4—1 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Det skal bygges pumpestasjon i vegtunneler der det er behov for å pumpe ut vann.Størrelse på pumpestasjon og eventuelt antall pumpestasjoner bestemmes ut fra stedlige forhold, totalt energiforbruk, drift og vedlikehold, sikkerhets- og beredskapsnivå. Materialkvaliteter tilpasses vannkvalitet, saltinnhold, krav til levetid mv.

Veiledning til kravet

Pumper anbefales å være tørroppstilte av driftshensyn. Pumpestasjonen består som regel av pumpearrangement og pumpemagasin. I tillegg kommer egen slamutskiller, eventuelt oljeutskiller for å beskytte pumper. Pumpeledninger kan utføres i plast så lenge krav til trykklasse kan oppfylles. Se også Teknologirapport nr. 2402[65].

Krav 9.4—2 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Pumpemagasinene skal ha et totalvolum tilsvarende minimum 24 timers innlekkasje. Pumpene dimensjoneres med 50 prosent reservekapasitet.

Veiledning til kravet

Det anbefales at lekkasjevann pumpes trinnvis ut av tunnelen, ved å plassere en pumpestasjon når trykklassen er i underkant av PN 10, det vil si en løftehøyde på ca. 80 m. Trykklassen muliggjør bruk av enkelt og standard pumpeutstyr. Ved trinnpumping ledes drensvannet inn i den nedenforliggende trinnpumpestasjonen, slik at ikke alt vannet ledes helt til bunnen av tunnelen. Det betyr at drenssystemet seksjoneres for hver trinnpumpestasjon. Dette kan gjøres ved at drensledningen, eller transportledningen der slik benyttes, føres inn på slam-kammer i trinnpumpestasjonen. For å få med lekkasjevannet fra sålen som renner utenom drensledningen, kan det ved hver stasjon etableres en terskel eller en avskjæringsgrøft der vannet ledes inn på drensledningen og videre til slamkammer. Se også Teknologirapport nr. 2402[65].

Krav 9.4—3 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

I undersjøiske vegtunneler skal det legges til rette for at vannet kan pumpes ut i begge retninger.

Krav 9.4—4 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

I vegtunneler med fall inn fra tunnelportal skal det plasseres en enkel pumpestasjon med tilhørende kummer og sluk innenfor portal, for å fange opp og pumpe ut overvann.

Veiledning til kravet

En enkel pumpestasjon like innenfor tunnelportalen tar hånd om overvann fra forskjæring og omliggende terreng, og med kapasitet for å håndtere overvannet fordi avrenningen kan være betydelig i nedbørsperioder. Denne pumpestasjonen er uavhengig av øvrig pumpesystem.

9.5 Vegfundament og vegdekke

Krav 9.5—1 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

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

Veiledning til kravet

Dimensjonering av vegoverbygning og eventuell frostsikring av vegoverbygning i tunnel følger vegnormal N200 [3].

Krav 9.5—2 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

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

Krav 9.5—3 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

I tillegg til selve vegfundamentet skal følgende inngå:

— Kostnader for sprengning og utlasting.

— Behov for tiltak mot telehiv og iskjøving.

— Konsekvenser for grøftedybder og de installasjoner som inngår i drenssystemet.

— Konsekvenser for trekkerørtraseer, rørkryss, størrelse på trekkekummer mv.

— Fundamenteringsnivå for valgt konstruksjon for tunnelkledning.

Veiledning til kravet

Ved valg av materialer i overbygningen gjøres en teknisk/økonomisk vurdering der alle forhold som påvirkes av nivå for planum trekkes inn. Valg av løsning bestemmer tykkelsen av samlet vegoverbygning og dermed nivå for teoretisk sprengningsprofil.

10 Tekniske anlegg

10.1 Generelt

Krav 10.1—1 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

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.

10.2 Tekniske bygg

Krav 10.2—1 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Tekniske bygg tilhørende tunneler skal bygges med et antall tekniske rom etter behov, og det tas hensyn til eventuelle fremtidige utskiftinger og utvidelser.

Veiledning til kravet

Se også Krav 4.5.2—1.

Krav 10.2—2 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Tekniske bygg i tunnel skal bygges slik at brannsikkerheten for aktuelt utstyr ivaretas, som minimum i henhold til byggteknisk forskrift. Hvert av rommene i teknisk bygg skal være egne brannceller.

Veiledning til kravet

For rom til nettstasjon vises det til RENblad 6004[66].

Krav 10.2—3 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Alle tekniske rom skal utstyres med brannslokker av type CO_2.

Veiledning til kravet

Type apparat er gitt fordi bruk av brannslokningsapparat med for eksempel pulver kan gi store følgeskader.

Krav 10.2—4 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Tekniske rom skal ha en høyde på 3 m, og bygges med følgende minimum areal (innvendige mål):

- Rom for nettstasjon: 5 x 5 m
- Rom for fordelinger: 5 x 5 m
- Rom for nødstrøm/UPS/automasjon: 4 x 5 m
- Rom for batteri: 3 x 5 m
- Rom for radio og Nødnett: 3 x 5 m
- Rom for mobil/basestasjon: 3 x 5 m

Veiledning til kravet

For gulv i de ulike tekniske rom vises til vegnormal N601 [8]og NEK600[21]. For varmeledningsegenskaper og eventuelt behov for kjøling vises til NEK600.

Krav 10.2—5 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Dører til tekniske rom skal oppfylle følgende:

— Brannmotstand EI 60 .

— Minimum dimensjon på dør til nettstasjon (bxh) 1610 x 2700 mm.

— Minimum dimensjon på dører til øvrige tekniske rom (bxh) 1200 x 2400 mm

Veiledning til kravet

For brannmotstand, se byggteknisk forskrift. Minimum dimensjon på dører er gitt på bakgrunn av mulighet for utskifting av transformatorer, tavler osv. Eventuelle dører fra trafikkrom inn til tekniske bygg bør ikke redusere denne muligheten, dette forutsetter adgang fra for eksempel havari- eller snunisje.

10.3 Belysning i vegtunneler

10.3.1 Generelt

Krav 10.3.1—1 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Vegtunneler med lengde over 100 m skal ha belysning. Vegtunneler som er tilrettelagt for gang-/sykkeltrafikk skal belyses dersom lengden er over 25 m.

Veiledning til kravet

Se veiledning V124[67]. Krav som gjelder løsninger for gående og syklende i vegtunnel er gitt i vegnormal N100[1].

Krav 10.3.1—2 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

LED-armaturer skal utføres i henhold til krav i *Technical Specification, NMF01 LED luminaires – requirements*[22].

Veiledning til kravet

Se også veiledning V124[67].

Krav 10.3.1—3 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Belysning i nødutganger skal utføres i henhold til NS-EN 1838[68].

10.3.2 Belysningens kvalitet

Krav 10.3.2—1 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

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.

Krav 10.3.2—2 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

I tunneler skal synsnedsettende blending TI (Treshold Increment) være maksimum 6 prosent.

Krav 10.3.2—3 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Det skal ikke regnes med adapsjonsluminans for kjørebanen høyere enn 8000 cd/m^2. Adaptasjonsluminansen for belysning i innkjørings- og overgangssonene skal kontinuerlig måles ved bruk av luminansmåler.

Veiledning til kravet

Lengden på innkjøringssonen fra tunnelportalen og innover i tunnelen er lik målepunktet for adaptasjonsluminansen, se tabell i veiledning V124[67].

Krav 10.3.2—4 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Kjørebanens luminans skal være i henhold til Tabell 10.3.2—1, Tabell 10.3.2—2 og Tabell 10.3.2—3. For lysberegning legges C2-dekke til grunn. Luminans gjelder i hele belysningsanleggets dimensjonerte brukstid. I lysberegningene legges det derfor inn en vedlikeholdsfaktor som kompenserer for armaturens lystilbakegang som følge av elding og tilsmussing. Armaturvedlikeholdsfaktoren (f_{LM}) som inngår i lysberegning, skal ikke settes høyere enn 0,85.

Tabell 10.3.2—1 — Midlere kjørebaneluminans, gitt for ÅDT (10) <4000, opprettholdte driftsverdier. Innkjøringssonens første halvdel om dagen er angitt som prosent av adaptasjonsluminansen, og indre sone er angitt i cd/m²

ÅDT (10) <4000	50 km/t	60 km/t	70 km/t	80 km/t	90 km/t
Innkjøringssone dag (%)	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50
Indre sone dag (cd/m²)	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00
Alle soner natt (cd/m²)	0,50	0,50	0,50	0,50	1,00
Alle soner kl 00-05 (cd/m²)	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50

Tabell 10.3.2—2 — Midlere kjørebaneluminans, gitt for ÅDT (10) 4000-12000, opprettholdte driftsverdier. Innkjøringssonens første halvdel om dagen er angitt som prosent av adaptasjonsluminansen, og indre sone er angitt i cd/m²

ÅDT (10) 4000-12000	50 km/t	60 km/t	70 km/t	80 km/t	90 km/t	100 km/t	110 km/t
Innkjøringssone dag (%)	2,00	3,00	4,00	5,00	5,50	6,00	7,00
Indre sone dag (cd/m²)	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	4,00	4,00
Alle soner natt (cd/m²)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00	2,00
Alle soner kl 00-05 (cd/m²)	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	1,00	1,00

Tabell 10.3.2—3 — Midlere kjørebaneluminans, gitt for ÅDT (10) >12000, opprettholdte driftsverdier. Innkjøringssonens første halvdel om dagen er angitt som prosent av adaptasjonsluminansen, og indre sone er angitt i cd/m²

ÅDT (10) > 12000	50 km/t	60 km/t	70 km/t	80 km/t	90 km/t	100 km/t	110 km/t
Innkjøringssone dag (%)	2,90	3,60	4,30	5,00	5,70	6,40	7,00
Indre sone dag (cd/m²)	2,00	2,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Alle soner natt (cd/m²)	1,00	1,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
Alle soner kl 00-05 (cd/m²)	0,50	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Kommentarer til tabellene:

- Luminansnivå i innkjøringssonen skal ikke være under 50 cd/m².
- Overgangssonen avsluttes der luminansreduksjonskurven angir et luminansnivå som er tre ganger så høyt som indre sones midlere luminans.
- For vegtunneler skiltet med 110 km/t gjelder kolonnen for luminans ved 110 km/t uavhengig av ÅDT.
- I vegtunneler uten gang- og sykkeltrafikk og ÅDT(10) < 2500 tillates midlere luminans 0,5 cd/m² om natten og i indre sone om dagen.
- I vegtunneler som er tilrettelagt for gang- og sykkeltrafikk skal luminansnivå på dagtid være minimum 2 cd/m² og luminansnivå natt være minimum 1 cd/m².

Veiledning til kravet

Armaturvedlikeholdsfaktoren (f_{LM}) som inngår i lysberegning, fastsettes etter en vurdering beskrevet i veiledning V124[67].

Med 'Alle soner natt' menes tiden fra solnedgang til soloppgang. Alle soner kl. 00-05 er gitt med tanke på energisparing, fordi trafikken som regel er lavere og behovet for belysning er mindre. Luminansnivåetvurderes i forhold til landsdel og tid på året. I lange tunneler kan midlere luminans reduseres ihenhold til tabellene over med tanke på energisparing. Luminans kan reduseres etter den avstand et kjøretøy tilbakelegger på 60 sekunder ved kjøring i skiltet hastighet, men midlere luminans på dagtid er alltid minimum 1,00 cd/m².

Krav 10.3.2—5 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Kjørebanens totale luminansjevnhet (Uo) skal være:

$$Uo = \frac{L_{min}}{L_{mid}} \geq 0,40 \qquad 10.3.2—1$$

Kjørebanens langsgående luminansjevnhet (Ul) skal være:

$$Ul = \frac{L_{min}}{L_{max}} \geq 0,60 \qquad 10.3.2—2$$

10.3.3 Belysning av tunnelveggene

Krav 10.3.3—1 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Tunnelveggene skal belyses i en høyde på 2 m over skulder.

Veiledning til kravet

Gjennomsnittlig luminans på veggen beregnes som prosent av gjennomsnittlig luminans på nærmeste kjørefelt; for eksempel for vegg av betongelementer minimum 60 %, for vegger med sprøytebetong minimum 30 %.

10.3.4 Belysning av nisjer og dører til rømningsveier

Krav 10.3.4—1 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Havarinisjer og snunisjer skal belyses særskilt slik at de visuelt skiller seg ut fra tunnelen for øvrig. Dette oppnås ved å montere ekstra lysarmaturer i ca. 3,5 m høyde i nisjene. Belysningsstyrken i nisjer skal minimum ha samme nivå som på nærmeste kjørefelt. Lysfarge er den samme som tunnelbelysningen for øvrig.

Veiledning til kravet

Lysberegninger for havarinisjer og snunisjer tar kun hensyn til egen armatur, da kjøretøy som stopper vil skygge for armaturer montert over kjørebane.

Krav 10.3.4—2 **SKAL** Gjeldende fra 01.01.2024

For markering av dører til rømningsveier benyttes sammenhengende grønn lysstripe rundt dørene. Lysstripen rundt dørene skal alltid lyse.

10.3.5 Sikkerhetsbelysning

Krav 10.3.5—1 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

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

Veiledning til kravet

Sikkerhetsbelysning kan ha separat forsyning eller forsynes med felles alternativ forsyning (UPS) som nødstrømsystemet.

Sikkerhetsbelysning inngår derfor ikke som obligatorisk del av nødstrømsystemet.

10.4 Ventilasjon

10.4.1 Generelt

Krav 10.4.1—1 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

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

Veiledning til kravet

Se tunnelsikkerhetsforskriftene vedlegg I, punkt 2.9. Se også Tillegg A for veiledning om ventilasjon i vegtunneler.

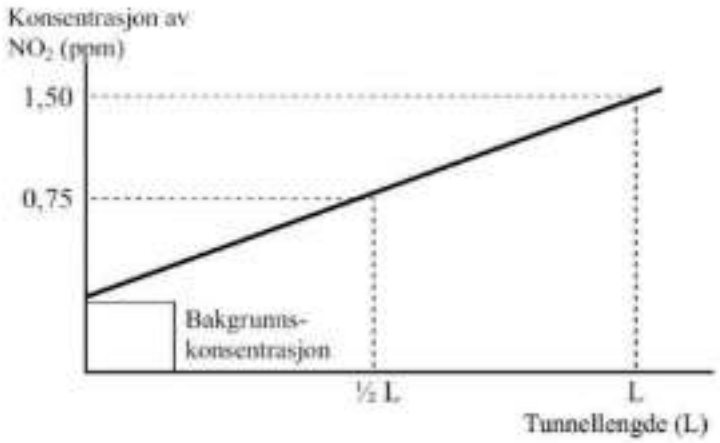
Krav 10.4.1—2 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Luftkvaliteten i vegtunnel skal som minimum overvåkes med måleutstyr for CO og måleutstyr for NO_2.

10.4.2 Krav til luftkvalitet i tunneler

Krav 10.4.2—1 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Ved dimensjonering av nødvendig friskluftbehov ved bruk av langslufting skal det tas hensyn til bakgrunnskonsentrasjonen av NO_2 ved tunneløpningen, se Figur 10.4.2—1.



Figur 10.4.2—1 — Dimensjonerende NO_2-konsentrasjon i tunneler

Veiledning til kravet

Ved langslufting øker forurensningsgraden i tunnelens lengderetning. Se også tunnelsikkerhetsforskriftene vedlegg I, punkt 2.9.

Krav 10.4.2—2 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Dimensjonerende luftkvalitetsnivå i tunneler som er tilrettelagt for gående og syklende, skal være: CO: 25 ppm og NO: 2 ppm.

Veiledning til kravet

Luftkvalitetsnivå prosjekteres for hver tunnel. Krav til løsninger for gående og syklende i tunnel er gitt i vegnormal N100[1].

Krav 10.4.2—3 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Dimensjonerende konsentrasjoner av gasser og svevestøv skal være i henhold til Tabell 10.4.2—1.

Tabell 10.4.2—1 — Dimensjonerende konsentrasjoner av NO_2, NO, CO og siktforurensning i tunneler

	Dimensjonerende konsentrasjoner	**Merknad**
NO_x	C_{NOx} = 10 ppm	
NO_2	C_{NO2} = 1,5 ppm	
NO	C_{NO} = 8,5 ppm	
CO	C_{co} = 50 ppm	
Sikt	C_{PM10} = 1 000 µg/m³	Vekt av svevestøv (PM_{10})
	$C_{PM2,5}$ = 500 µg/m³	Vekt av eksospartikler ($PM_{2,5}$)

Veiledning til kravet

SeTillegg A for veiledning om ventilasjon i vegtunneler for beregning av luftkvalitetsnivå.

10.4.3 Mekanisk ventilasjon (impulsventilator)

Krav 10.4.3—1 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Avstanden mellom impulsventilatorene i vegtunnelens lengderetning skal være minst 60 m for å oppnå jevn og stabil luftstrøm mellom hver vifte eller viftegruppe.

Veiledning til kravet

Senteravstanden mellom ventilatorene anbefales å ikke være mindre enn 2 x diameter på viftehjulet, for å unngå redusert virkningsgrad når to eller flere ventilatorer monteres i samme profil. Valg av brannklasse til ventilatorene vurderes for hver enkelt tunnel, ut fra dimensjonerende branneffekt, se Tabell 10.4.4—1.

NS-EN 12101-3[69]definerer tre alternative brannklasser for ventilatorer:

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

Krav 10.4.3—2 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Motorlager og viftehjul skal dimensjoneres for brukstiden uten behov for lagerskift eller avbalansering på grunn av slitasje eller korrosjon. Vifteblad skal være deformerbart for å hindre nedfall i kjørebanen ved en eventuell påkjenning.

Veiledning til kravet

For dimensjonerende brukstid for teknisk utstyr, se punkt 1.1.

Krav 10.4.3—3 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Festebolter for ventilatorer skal forankres 2,0 m inn i stabilitetssikret berg og innstøpes i hele lengden. Festeboltene skal prøvebelastes med 50 kN for ventilatorer og ventilatorrammer.

Veiledning til kravet

Innfesting av ventilator utføres slik at svikt i konstruksjonen/ramme ikke fører til nedfall i kjørebanen.

10.4.4 Brannventilasjon

Krav 10.4.4—1 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Nødvendig lufthastighet for brannventilasjon i vegtunneler skal beregnes, og baseres på en teknisk risikovurdering. Ventilasjonsanlegget skal være reversibelt med vifter som har lik mekanisk skyvkraft i begge retninger og skal dimensjoneres for å kunne styre røyken i ønsket retning, basert på dimensjonerende brannbelastning. Minimum brannventilasjon i tunneler med stigning under 2 prosentskal være i henhold til Tabell 10.4.4—1.

Tabell 10.4.4—1 — Dimensjonering av brannventilasjon i tunneler med stigning ≤ 2 %

Tunnelklasse	Tunnellengde	Dimensjonerende branneffekt	Eksponeringskurve (punkt 5.4)	Tid (minutter)	Minimumlufthastighet
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

Veiledning til kravet

Ventilasjonskapasiteten i fallretningen har særlig betydning i beredskapssammenheng.

Krav 10.4.4—2 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Ventilasjonsstyring og ventilasjonsretning i vegtunneler med skal avklares med lokal brannmyndighet i forbindelse med utarbeidelse av beredskapsplan.

Veiledning til kravet

Vegtunneler med enveistrafikk og eventuelt tilhørende ramper ventileres i samme retning som trafikken både i en driftssituasjon og ved brann. I tunneler som har to løp og enveistrafikk styres ventilasjonsanlegget ved brann slik at røyken ikke trekkes inn i det løpet som brukes til rømning. I ettløps tunneler med toveis trafikk kan fast ventilasjonsretning velges i driftsfasen, eller den kan variere tilpasset forhold som dominerende trafikkstrøm eller naturlig trekk forårsaket av klimatiske forhold. Ventilasjonsstyring som tillater varierende ventilasjonsretning i driftsfasen avklares med lokal brannmyndighet med utgangspunkt i hva som er mest hensiktsmessig i forhold til evakuering, redning og slukking. I tunneler med toveis trafikk kan brannventilasjon, ved melding om brann, iverksettes ved manuell regulering, eller at ventilasjonsretning fortsetter i samme retning som ventilasjonen hadde da brannen oppstod. Dette innebærer at ventilasjonsretning og lufthastighet instrumenteres slik at opplysninger om ventilasjonsretning og lufthastighet er tilgjengelig for de som er ansvarlig for å regulere ventilasjonsanlegget. Se også Tillegg A for veiledning om ventilasjon i vegtunneler.

11 Sikkerhetsdokumentasjon

Minimumskrav til sikkerhetsdokumentasjon som gjelder både for nye og eksisterende vegtunneler er beskrevet i tunnelsikkerhetsforskriftene; vedlegg I og II.

Krav som gjelder ingeniørgeologisk sluttrapport for vegtunnel er gitt i kapittel 7.

Krav 11—1 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Når byggearbeidene er avsluttet, skal tegninger/modell, oversiktstegning og dokumentliste ajourføres for endringer som er foretatt i byggefasen og merkes «Som bygd».

Krav 11—2 **SKAL** Gjeldende fra 31.03.2022

Vegdirektoratet skal ha tilgang til sikkerhetsdokumentasjon for saksbehandling av godkjenning av nye tunneler og periodisk inspeksjon av eksisterende tunneler. Sikkerhetsdokumentasjon gjøres tilgjengelig i Vegdirektoratets sikkerhetsforvaltningsverktøy.

Veiledning til kravet

- *Godkjenning av vegtunneler før byggestart og før åpning/brukstillatelse: Vegdirektoratet er myndighetsorgan for å etterspørre sikkerhetsdokumentasjon ved godkjenning av vegtunneler før byggestart og godkjenning før åpning; brukstillatelse. Sjekkliste for sikkerhetsdokumentasjon er tilgjengelig i Vegdirektoratets sikkerhetsforvaltningsverktøy. Sjekkliste for sikkerhetsdokumentasjon opprettes og vedlikeholdes av Vegdirektoratet.*
- *Periodisk inspeksjon av tunneler i drift: Periodisk inspeksjon av vegtunneler er beskrevet i tunnelsikkerhetsforskriftene; § 9. Gjennomgang av sikkerhetsdokumentasjon er en del av periodisk inspeksjon. Det benyttes sjekkliste for periodisk inspeksjon for dokumentgjennomgang. Den oppdaterte sjekklisten for periodisk inspeksjon er tilgjengelig på www.vegvesen.no og i Vegdirektoratets sikkerhetsforvaltningsverktøy.*
- *Arkivering av sikkerhetsdokumentasjon: I henhold til arkivlova § 6 har offentlige organer som forvalter en tunnel ansvar for å ha et arkiv, og plikter å arkivere sikkerhetsdokumentasjon og annen FDV-dokumentasjon trygt.*
- *Journalføring av saksdokumentasjon: Saksdokumentasjon som tilhører sikkerhetsgodkjenning før byggestart og før åpning/brukstillatelse, og saksdokumentasjon som tilhører periodisk inspeksjon journalføres i Vegdirektoratets sikkerhetsforvaltningsverktøy. Journalføring utføres i henhold til offentleglova.*

Referanser

[1] Vegnormal N100 Veg- og gateutforming. Statens vegvesen. https://www.vegvesen.no/fag/publikasjoner/handboker/vegnormalene/n100/

[2] Vegnormal N101 Trafikksikkert sideterreng og vegsikringsutstyr. Staten vegvesen. https://www.vegvesen.no/fag/publikasjoner/handboker/vegnormalene/n101/

[3] Vegnormal N200 Vegbygging. Statens vegvesen. https://www.vegvesen.no/fag/publikasjoner/handboker/vegnormalene/n200/

[4] Vegnormal N300 Trafikkskilt. Statens vegvesen. https://www.vegvesen.no/fag/publikasjoner/handboker/vegnormalene/n300/

[5] Vegnormal N302 Vegoppmerking. Statens vegvesen. https://www.vegvesen.no/fag/publikasjoner/handboker/vegnormalene/n302/

[6] Vegnormal N303 Trafikksignalanlegg. Statens vegvesen. https://www.vegvesen.no/fag/publikasjoner/handboker/vegnormalene/n303/

[7] Vegnormal N400 Bruprosjektering. Statens vegvesen. https://www.vegvesen.no/fag/publikasjoner/handboker/vegnormalene/n400/

[8] Vegnormal N601 Sikkerhetskrav for elektriske anlegg i – og langs offentlig veg. Statens vegvesen. https://www.vegvesen.no/fag/publikasjoner/handboker/vegnormalene/n601/

[9] Veiledning V220 Geoteknikk i vegbygging. Statens vegvesen.

[10] Veiledning V521 Geologi og bergsikring i tunnel. Statens vegvesen.

[11] Veiledning V770 Modellgrunnlag. Statens vegvesen.

[12] NS-EN 1990+NA Eurokode: Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner.

[13] NS-EN 1997-1+NA Eurokode 7 — Geoteknisk prosjektering — Del 1: Allmenne regler.

[14] NS 3466 Miljøprogram og miljøoppfølgingsplan for ytre miljø for bygge-, anleggs- og eiendomsnæringen.

[15] Retningslinje for behandling av støy i arealplanlegging (T-1442). Klima- og miljødepartementet.

[16] Veileder om behandling av støy i arealplanlegging (M-2061). Klima og miljødirektoratet.

[17] Retningslinje for behandling av luftkvalitet i arealplanlegging (T-1520). Klima- og miljødepartementet.

[18] Veiledning V721 Risikovurderinger i vegtrafikken. Statens vegvesen.

[19] Rapport nr. TS 2007: Veileder for risikoanalyser av vegtunneler. Statens vegvesen, 2011.

[20] Rapport nr. 260 Beredskapsanalyse av vegtunneler. Statens vegvesen, 2020.

[21] NEK 600 El og ekom i vegtrafikksystem. Norsk Elektroteknisk Komité.

[22] Technical Specification NMF01 LED luminaires - requirements. *Ekstern lenke/vei- og tunnel belysning – NMF – Nordisk Møde for Forbedret Vejudstyr (nmfv.dk)*

[23] NS-EN 3-7 Brannmateriell - Håndslokkere - Del 7: Egenskaper, ytelseskrav og prøvingsmetoder.

[24] NS-EN 16276 Rømningslys i veitunneler.

[25] Rijkswaterstaat (The Directorate-General of Public Works and Water Management, The Netherlands) RWS-kurven.

[26] ISO/TR 834-3 Fire-resistance tests — Elements of building construction — Part 3: Commentary on test method and guide to the application of the outputs from the fire-resistance test.

[27] NS-EN 1363-2 Prøving av brannmotstand - Del 2: Alternative prosedyrer og tilleggsprosedyrer.

[28] NS-EN ISO 1182 Prøving av produkters egenskaper ved brannpåvirkning - Prøving av ubrennbarhet.

[29] ISO 9705-1 Reaction to fire tests - Room corner test for wall and ceiling lining products - Part 1: Test method for a small room configuration.

[30] NS-EN ISO 11925-2 Prøving av materialers egenskaper ved brannpåvirkning - Antennelighet av byggeprodukter ved direkte påvirkning av flamme - Del 2: Prøving med én enkelt flamme.

[31] NS-EN 13501-1 Brannklassifisering av byggevarer og bygningsdeler - Del 1: Klassifisering ved bruk av resultater fra prøving av materialers egenskaper ved brannpåvirkning.

[32] Retningslinje R311 Trafikkstyringssystemer på veg - Utforming og virkemåte. Statens vegvesen.

[33] Byggegropveiledning. Norsk Geoteknisk Forening, 2018.

[34] NS-EN 197-1 Sement - Del 1: Sammensetning, krav og samsvarskriterier for ordinære sementtyper.

[35] NS-EN 12715 Utførelse av spesielle geotekniske arbeider - Injeksjon.

[36] Retningslinje R211 Feltundersøkelser. Statens vegvesen.

[37] Rapport nr. 193 Kartlegging under driving med Novapoint Tunnel. Statens vegvesen, 2013.

[38] Håndbok Bruk av Q-systemet - Bergmasseklassifisering og bergforsterkning. NGI.

[39] NS-EN 1991-1-1+NA Eurokode 1: Laster på konstruksjoner - Del 1-1: Allmenne laster - Tetthet, egenvekt og nyttelaster i bygninger.

[40] NS-EN 10080 Armeringsstål - Sveisbar armering - Del 1: Generelle krav

[41] NS 3576-3 Armeringsstål - Mål og egenskaper - Del 3: Kamstål B500NC.

[42] NS-EN 10204 Metalliske materialer - Typer av inspeksjonsdokumenter.

[43] NS-EN 1992-1-1+NA Eurokode 2 - Prosjektering av betongkonstruksjoner - Del 1-1: Allmenne regler og regler for bygninger.

[44] Rapport nr. 410 Korrosjonsbeskyttelse i tunneler - revidert. Statens vegvesen, 2015.

[45] NS-EN ISO 1461 Varmforsinkede belegg på fabrikkerte jern- og stålprodukter - Spesifikasjoner og prøvingsmetoder.

[46] NS-EN 13438 Maling og lakk - Organisk pulverbelegg for galvaniserte og sherardiserte stålprodukter for konstruksjonsformål.

[47] NS-EN 206+NA Betong — Spesifikasjon, egenskaper, framstilling og samsvar.

[48] Norsk Betongforenings publikasjon nr. 7 Sprøytebetong til bergsikring.

[49] NS-EN 14889-1 Fibere for betong - Del 1: Stålfibere - Definisjoner, krav og samsvar.

[50] NS-EN 13491 Geosyntetiske membraner. Krav til egenskaper ved bygging av tunneler og tilhørende undergrunnskonstruksjoner.

[51] NS-EN 13501-1 Brannklassifisering av byggevarer og bygningsdeler - Del 1: Klassifisering ved bruk av resultater fra prøving av materialers egenskaper ved brannpåvirkning.

[52] NS-EN 12317-2 Tetningsmaterialer på rull - Bestemmelse av skjærstyrke i skjøt - Del 2: Takbelegg av plast eller gummi.

[53] NS-EN 12316-2 Tetningsmaterialer på rull - Bestemmelse av spaltestyrke i skjøt - Del 2: Takbelegg av plast eller gummi.

[54] NS-EN 10088-1 Rustfrie stål - Del 1: Liste over rustfrie stålsorter.

[55] Rapport nr. 510 Gode løsninger for vann- og frostsikring i tunneler. Statens vegvesen, 2016.

[56] Rapport nr. 127 Etatsprogrammet Moderne vegtunneler 2008-2011 - Hovedrapport. Statens vegvesen, 2012.

[57] Rapport nr. 130 Etatsprogrammet Moderne vegtunneler - Strategi for bygging av nye vegtunneler - Grunnlagsdokument. Statens vegvesen, 2012.

[58] NS-EN ISO 16536 Varmeisoleringsprodukter til bruk i bygninger - Bestemmelse av langtids vannabsorpsjon ved diffusjon.

[59] NS-EN ISO 10456+NA Byggematerialer og -produkter - Hygrotermiske egenskaper - Tabulerte dimensjonerende verdier og prosedyrer for bestemmelse av deklarerte og praktiske termiske verdier.

[60] Rapport nr 139 Brannprøving av sprøytebetong med ulike doseringer monofilament polypropylenfiber. Statens vegvesen, 2012.

[61] Teknologirapport nr. 2487 Fullskala brannforsøk 50 MW brannsikret PE-skum. Statens vegvesen, 2007.

[62] Teknologirapport nr. 2488 Fullskala brannforsøk 100 MW brannsikret PE-skum. Statens vegvesen, 2007.

[63] NS-EN 13670+NA Utførelse av betongkonstruksjoner.

[64] NS 3576-4 Armeringsstål - Mål og egenskaper - Del 4: Sveiste armeringsnett.

[65] Teknologirapport nr. 2402 Trinnpumping i undersjøiske tunneler. Statens vegvesen, 2005.

[66] RENblad 6004 Prosjektering av nettstasjon i tunnel. REN.

[67] Veiledning V124 Teknisk planlegging av veg- og tunnelbelysning. Statens vegvesen.

[68] NS-EN 1838 Anvendt belysning - Nødbelysning.

[69] NS-EN 12101-3 Brannventilasjonssystemer - Del 3: Spesifikasjon for mekaniske brannventilasjonsanlegg (vifter).

Tillegg A

Veiledning ventilasjon i vegtunneler

Veiledende tekst til N500 Vegtunneler punkt 10.4 Ventilasjon. I dette dokumentet gis utfyllende kommentarer og veiledning angående ventilasjon – med ventilasjonsberegninger.

Innhold:

A.1 Beregning av nødvendig friskluftbehov og kontroll av luftkvalitet

A.2 Beregning av nødvendig skyvekraft ved langslufting

A.3 Styring av ventilasjonsanlegg

A.4 Sjaktventilasjon

A.5 Brannventilasjon

A.6 Referanser

A.1 Beregning av nødvendig friskluftbehov og kontroll av luftkvalitet

A.1.1 Dimensjoneringsår og trafikkmengde

Forurensningsnivået beregnes i dimensjonerende time. Dimensjonerende timetrafikk er den trafikkmengde (kjt/t) som overskrides inntil 30 ganger per år. Se eksempler på trafikkvariasjoner i veiledning V714 [1]. Ved ukjent trafikkfordeling, antas 2/3 av trafikken å kjøre i den mest ugunstige retningen, det vil si i stigning eller mot den valgte ventilasjonsretningen. Dimensjonerende timetrafikk deles opp i to kjøretøygrupper:

- Lette kjøretøy omfatter biler med totalvekt inntil 3,5 tonn eller lengde inntil 5,6 m.
- Tunge kjøretøy omfatter lastebiler, vogntog, busser og varebiler med lengde over 5,6 m.

Begge gruppene deles inn etter drivstoff/utslipp:

- LettB: Lette kjøretøy med bensin- eller gassdrift (også bensin hybrider)
- LettD: Lette kjøretøy med dieselmotor (også diesel hybrider).
- Lett: Alle lette kjøretøy uavhengig av motorteknologi (også utslippsfrie)
- TungD: Tunge kjøretøy med dieselmotor
- Tung: Alle tunge kjøretøy, uavhengig av motorteknologi.

SSBs statistikk for fylkesvis antall elbiler gir nyttig informasjon ved utarbeiding av trafikkprognoser for utslippsfrie biler.

A.1.2 Aktuelle stoffer for luftforurensning i vegtunneler

Friskluftbehov i vegtunneler beregnes fra dimensjonerende konsentrasjoner av:

- Nitrogendioksid (NO_2)
- Karbonmonoksid (CO)
- Eksospartikler (EP), måles som $PM_{2,5}$

Begrepet eksospartikler brukes her for å markere at beregninger av friskluftbehovet baserer seg bare på eksos som utslippskilde. Eksospartikler er svevestøv som er mindre enn 2,5 µm. For å ta hensyn til bakgrunnskonsentrasjonen brukes $PM_{2,5}$ som også inkluderer andre kilder (ligning 5). Måleapparater måler $PM_{2,5}$. Som regel beregnes friskluft basert på utslipp av NO_2 og EP. I vegtunneler med gang- og sykkeltrafikk beregnes i tillegg friskluftbehov basert på CO.

For de fleste vegtunneler vil utslipp ved normal trafikk være mest riktig for å dimensjonere ventilering. I tunneler der det kan oppstå køkjøring, er det egne ligninger som beregner friskluftbehovet ved køkjøring. I det følgende gis ligninger som beskriver friskluftbehovet for hver av disse stoffene. Tabell A.1.2–1 viser hvilke stoff det skal beregnes ved vanlig trafikk, og alternative beregninger ved kø og tilleggsberegninger for vegtunneler som er tilrettelagt for gående og syklende.

Tabell A.1.2–1 — Hvilke stoffer som avgjør friskluftbehovet ved ulike alternativer.

Stoff	Vanlig trafikk	Alternativ når tunnelen rammes av rushtrafikk/ køkjøring	Tillegg når tunnelen er tilrettelagt for gående og syklende
NO_2	Ligning (1a)	Ligning (1b)	
EP	Ligning (2a)	Ligning (2b)	
CO			Ligning (3)

A.1.3 Basisfaktorer for avgassutslipp

Utslippsnivå av avgasser endres som følge av teknologiutvikling innen bilindustrien. I tillegg varierer utslipp med hastighet i tunnelen. Det er derfor ikke hensiktsmessig å fastsette utslippsfaktorer i regelverket. Utslippsfaktorer for avgasser er vist her som eksempler. Tabellene under er oppdatert i 2019 med data for kjøretøyparken fra SSB 2016, [2], [3], [4]. Utslippsfaktorer er fra HBEFA (Handbook emission factors for road transport). HBEFA angir utslipp av NOx, utslipp av NO_2 er beregnet ved å anta at NO_2-andelen er 5 prosent for bensinbiler, 36 prosent for personbiler diesel og 11 prosent for tunge dieselkjøretøy.

Eksempelet inneholder tre tabeller med utslippsfaktorer for hhv. nitrogendioksid (NO_2), karbonmonoksid (CO) og eksospartikler (EP), målt som $PM_{2,5}$.

Basisfaktorer benyttes i ligningene (1a), (1b), (2a), (2b) og (3). For disse faktorene gjelder:

- Basisfaktorene angir gjennomsnittlig avgassutslipp av hhv. NO_2, EP og CO for hhv. lette bensinbiler, lette dieselbiler og tunge dieselbiler.
- Lette bensinbiler og lette dieselbiler er definert med totalvekt < 3,5 tonn, mens tunge dieselbiler er definert med totalvekt ≥ 3,5 tonn.
- Basisutslippet er basert på trafikkarbeidet som den nasjonale bilparken slipper ut for det år som er oppgitt.
- Basisutslippet er justert for kjørelengde som følge av alder på kjøretøyparken.
- Basisutslippet er ikke justert innenfor personbilsegmentet ved at bensinbiler, dieselbiler og elbiler har ulik kjørelengde.
- Basisfaktorene er avhengig av trafikkflytens gjennomsnittshastighet og er derfor gitt som tabell som gir egen basisfaktor for hastigheter i intervallet: 10 km/t-130 km/t.
- Faktorene justeres for stigning, dette er gitt som korreksjonsfaktorer.

Tabell A.1.3–1 — Eksempler på basisfaktorer for NO_2 til bruk i ligning (1a) og (1b). Tabellen er oppdatert i 2019 med data fra SSB 2016. HBEFA

Gjennomsnitts-hastighet	Basisutslipp personbil bensin	Basisutslipp personbil diesel	Basisutslipp Tunge diesel kjøretøy
	Symbol: $q_{NO2,petrol}$	Symbol: $q_{NO2,petrol}$	Symbol: $q_{NO2,lang}$
Enhet: $\left(\frac{km}{t}\right)$	Enhet: $\left(\frac{g}{km \cdot kjt}\right)$	Enhet: $\left(\frac{g}{km \cdot kjt}\right)$	Enhet: $\left(\frac{g}{km \cdot kjt}\right)$
10	0,0094	0,3135	1,3117
20	0,0056	0,2130	0,6956
30	0,0041	0,1730	0,4670
40	0,0035	0,1460	0,3446
50	0,0033	0,1234	0,2737
60	0,0035	0,1167	0,2324
70	0,0039	0,1277	0,2156
80	0,0039	0,1434	0,2200
90	0,0039	0,1644	0,2315
100	0,0040	0,1942	0,2474
110	0,0043	0,2323	0,2640
120	0,0049	0,2752	0,2712
130	0,0056	0,3228	0,2705

Tabell A.1.3–2 — Eksempler på basisfaktorer for EP til bruk i ligning (2a) og (2b). Tabellen er oppdatert i 2019 med data fra SSB 2016

Gjennomsnitts-hastighet	Basisutslipp personbil diesel	Basisutslipp Tunge diesel kjøretøy
	Symbol: $q_{p,petrol}$	Symbol: $q_{p,lang}$
Enhet: $\left(\frac{km}{t}\right)$	Enhet: $\left(\frac{g}{km \cdot kjt}\right)$	Enhet: $\left(\frac{g}{km \cdot kjt}\right)$
10	0,0272	0,16740
20	0,0204	0,09528
30	0,0177	0,07492
40	0,0156	0,06235
50	0,0138	0,05270
60	0,0134	0,04631
70	0,0143	0,04257
80	0,0155	0,04117
90	0,0171	0,04089
100	0,0191	0,04125
110	0,0211	0,04150
120	0,0230	0,04092
130	0,0245	0,04002

Tabell A.1.3–3 — Eksempler på basisfaktorer for CO til bruk i ligning (3). Tabellen er oppdatert i 2019 med data fra SSB 2016

Gjennomsnitts-hastighet	Basisutslipp personbil bensin	Basisutslipp personbil diesel	Basisutslipp Tunge diesel kjøretøy
	Symbol: $q_{CO,bil,B}$	Symbol: $q_{CO,bil,D}$	Symbol: $q_{CO,tung}$
Enhet: $\left(\frac{km}{t}\right)$	Enhet: $\left(\frac{g}{km \cdot kjt}\right)$	Enhet: $\left(\frac{g}{km \cdot kjt}\right)$	Enhet: $\left(\frac{g}{km \cdot kjt}\right)$
10	0,8359	0,3147	3,2057
20	0,5877	0,2345	1,6780
30	0,4943	0,2023	0,9942
40	0,5046	0,1702	0,6318
50	0,4597	0,0987	0,4545
60	0,4163	0,0517	0,3562
70	0,4111	0,0352	0,3088
80	0,4434	0,0329	0,2999
90	0,4959	0,0303	0,2945
100	0,5659	0,0280	0,2886
110	0,7008	0,0256	0,2834
120	1,0350	0,0249	0,2748
130	1,8282	0,0258	0,2660

A.1.4 Korreksjonsfaktorer ved kjøring i stigning

Utslipp av avgasser endrer seg når kjøretøyene kjører i stigning. En faktor i ligningene for avgass korrigerer for dette. Det er egne korreksjonsfaktorer for hver avgass.

A.1.5 NO_2-produksjon

Produksjon av NO_2 for fri flyt er gitt i Ligning (1a) og produksjon av NO_2 i kø er gitt i Ligning (1b).

$$Q_{NO_2} = \left(\left(q_{NO2,lettB} \cdot M_{lettB} \cdot k_{s,lettB}\right) + \left(q_{NO2,lettD} \cdot M_{lettD} \cdot k_{s,lettD}\right) + \left(q_{NO2,tung} \cdot M_{tung} \cdot k_{s,tung}\right)\right) \cdot L$$

Ligning (1a)

$$\left[\frac{g}{t}\right] = \left(\left(\left[\frac{g}{km \cdot kjt}\right] \cdot \left[\frac{kjt}{t}\right] \cdot [-]\right) + \left(\left[\frac{g}{km \cdot kjt}\right] \cdot \left[\frac{kjt}{t}\right] \cdot [-]\right) + \left(\left[\frac{g}{km \cdot kjt}\right] \cdot \left[\frac{kjt}{t}\right] \cdot [-]\right)\right) \cdot [km]$$

$$Q_{NO_2} = \left(\left(q_{NO2,lettB} \cdot D_{lettB} \cdot k_{s,lettB}\right) + \left(q_{NO2,lettD} \cdot D_{lettD} \cdot k_{s,lettD}\right) + \left(q_{NO2,tung} \cdot D_{tung} \cdot k_{s,tung}\right)\right) \cdot v \cdot L$$

Ligning (1b)

$$\left[\frac{g}{t}\right] = \left(\left(\left[\frac{g}{km \cdot kjt}\right] \cdot \left[\frac{kjt}{km}\right] \cdot [-]\right) + \left(\left[\frac{g}{km \cdot kjt}\right] \cdot \left[\frac{kjt}{km}\right] \cdot [-]\right) + \left(\left[\frac{g}{km \cdot kjt}\right] \cdot \left[\frac{kjt}{km}\right] \cdot [-]\right)\right) \cdot \left[\frac{km}{t}\right] \cdot [km]$$

- Q_{NO_2}: Produksjon av NO_2 i tunnelen $\left[\frac{g}{t}\right]$
- $q_{NO2,lettB}$, $q_{NO2,lettD}$, $q_{NO2,tung}$: Basisfaktorer for NO_2-utslipp $\left[\frac{g}{km \cdot kjt}\right]$
- M_{lettB}, M_{lettD}, M_{tung}: Trafikkmengde $\left[\frac{kjt}{t}\right]$

- D_{lettB}, D_{lettD}, D_{tung}: Trafikktetthet $\left[\frac{kjt}{km}\right]$
- $k_{s,lettB}$, $k_{s,lettD}$, $k_{s,tung}$: Korreksjonsfaktor for NO_2 for stigning (Tabell A.1.5—1)
- L: Lengde på tunnel $[km]$
- v: Kjørehastighet i tunnelen $\left[\frac{km}{t}\right]$

Tabell A.1.5—1 — Korreksjonsfaktor for utslipp av NO_2 ved kjøring i stigning.

Korreksjonsfaktor for stigning	Symbol	- 6 %	- 4 %	- 2 %	0 %	2 %	4 %	6 %
Bensinbiler	$k_{s,lettB}$	0,4	0,4	0,6	1,0	1,4	1,9	2,4
Dieselbiler	$k_{s,lettD}$	0,3	0,3	0,5	1,0	1,5	2,2	3,0
Tunge biler	$k_{s,tung}$	0,4	0,4	0,6	1,0	1,4	1,9	2,4

A.1.6 Produksjon av eksospartikler (EP)

Produksjon av EP for fri flyt er gitt i Ligning (2a) og produksjon av EP i en køsituasjon er gitt i Ligning (2b).

$$Q_{EP} = \left(\left(q_{EP,lettD} \cdot M_{lettD} \cdot k_{s,lettD}\right) + \left(q_{EP,tung} \cdot M_{tung} \cdot k_{s,tung}\right)\right) \cdot L \qquad \text{Ligning (2a)}$$

$$\left[\frac{g}{t}\right] = \left(\left(\left[\frac{g}{km \cdot kjt}\right] \cdot \left[\frac{kjt}{t}\right] \cdot [-]\right) + \left(\left[\frac{g}{km \cdot kjt}\right] \cdot \left[\frac{kjt}{t}\right] \cdot [-]\right)\right) \cdot [km]$$

$$Q_{EP} = \left(\left(q_{EP,lettD} \cdot D_{lettD} \cdot k_{s,lettD}\right) + \left(q_{EP,tung} \cdot D_{tung} \cdot k_{s,tung}\right)\right) \cdot v \cdot L \qquad \text{Ligning (2b)}$$

$$\left[\frac{g}{t}\right] = \left(\left(\left[\frac{g}{km \cdot kjt}\right] \cdot \left[\frac{kjt}{km}\right] \cdot [-]\right) + \left(\left[\frac{g}{km \cdot kjt}\right] \cdot \left[\frac{kjt}{km}\right] \cdot [-]\right)\right) \cdot \left[\frac{km}{t}\right] \cdot [km]$$

- Q_{EP}: Produksjon av EP i tunnelen $\left[\frac{g}{t}\right]$
- $q_{EP,lettD}$, $q_{EP,tung}$: Basisfaktorer for EP-utslipp $\left[\frac{g}{km \cdot kjt}\right]$
- M_{lettD}, M_{tung}: Trafikkmengde $\left[\frac{kjt}{t}\right]$
- D_{lettD}, D_{tung}: Trafikktetthet $\left[\frac{kjt}{km}\right]$
- $k_{s,lettD}$, $k_{s,tung}$: Korreksjonsfaktor for EP for stigning (Tabell A.1.6—1)
- L: Lengde på tunnel $[km]$

  v: Kjørehastighet i tunnelen $\left[\frac{km}{t}\right]$

Tabell A.1.6—1 — Korreksjonsfaktor for utslipp av EP ved kjøring i stigning.

Korreksjonsfaktor for stigning	Symbol	- 6 %	- 4 %	- 2 %	0 %	2 %	4 %	6 %
Bensinbiler	$k_{s,lettB}$	-	-	-	-	-	-	-
Dieselbiler	$k_{s,lettD}$	0,2	0,2	0,4	1,0	1,5	2,0	2,6
Tunge biler	$k_{s,tung}$	0,4	0,4	0,7	1,0	1,4	1,8	2,3

A.1.7 CO-produksjon, for vegtunnel som er tilrettelagt for gang- sykkeltrafikk

Produksjon av CO for fri flyt er gitt i Ligning (3).

$$Q_{CO} = \left(\left(q_{CO,lettB} \cdot M_{lettB} \cdot k_{s,lettB} \right) + \left(q_{CO,lettD} \cdot M_{lettD} \cdot k_{s,lettD} \right) + \left(q_{CO,tung} \cdot M_{tung} \cdot k_{s,tung} \right) \right) \cdot L \qquad \text{Ligning (3)}$$

$$\left[\frac{g}{t}\right] = \left(\left(\left[\frac{g}{km \cdot kjt}\right] \cdot \left[\frac{kjt}{t}\right] \cdot [-] \right) + \left(\left[\frac{g}{km \cdot kjt}\right] \cdot \left[\frac{kjt}{t}\right] \cdot [-] \right) + \left(\left[\frac{g}{km \cdot kjt}\right] \cdot \left[\frac{kjt}{t}\right] \cdot [-] \right) \right) \cdot [km]$$

- Q_{CO}: Samlet produksjon av CO $\left[\frac{g}{t}\right]$
- $q_{CO,lettB}$, $q_{CO,lettD}$, $q_{CO,tung}$: Basisfaktorer for CO $\left[\frac{g}{km \cdot kjt}\right]$
- M_{lettB}, M_{lettD}, M_{tung}: Trafikkmengde $\left[\frac{kjt}{t}\right]$
- $k_{s,lettB}$, $k_{s,lettD}$, $k_{s,tung}$: Korreksjonsfaktor for stigning (Tabell A.1.7—1)
- L: Lengde på tunnel $[km]$

Tabell A.1.7—1 — Korreksjonsfaktor for utslipp av CO ved kjøring i stigning.

Korreksjonsfaktor for stigning	Symbol	- 6 %	- 4 %	- 2 %	0 %	2 %	4 %	6 %
Bensinbiler	$k_{s,lettB}$	0,5	0,6	0,8	1,0	1,4	2,2	3,4
Dieselbiler	$k_{s,lettD}$	0,5	0,5	0,9	1,0	0,9	1,0	1,0
Tunge biler	$k_{s,tung}$	0,2	0,3	0,7	1,0	1,3	1,6	1,9

A.1.8 Friskluftbehov og dimensjonerende faktor

Friskluftbehovet for uttynning av de respektive stoffene ($Q_{0,luft}$) beregnes på grunnlag av grenseverdien ($C_{[stoff]}$) for tillatt konsentrasjon i vegtunnel og bakgrunnskonsentrasjon. Dimensjonerende konsentrasjoner er gitt i N500. Ligninger for friskluftbehovet for uttynning av hhv. NO_2, EP og CO er gitt med ligningene (4) - (6). Her brukes enheten µg/m^3 for konsentrasjoner. Tidligere versjoner har brukt enheten ppm for CO og NOx. Faktorer for omregning mellom enhetene er:

- CO: 1 ppm = 1200 µg/m^3
- NO_2: 1 ppm = 2000 µg/m^3

$$Q_{0,luft,NO_2} = \frac{Q_{NO_2}}{C_{NO_2} - BC_{NO_2} - 60} \cdot \frac{10^6}{3600}$$ Ligning (4)

$$Q_{0,luft,EP} = \frac{Q_{EP}}{C_{EP} - BC_{PM_{2,5}}} \cdot \frac{10^6}{3600}$$ Ligning (5)

$$Q_{0,luft,CO} = \frac{Q_{CO}}{C_{CO} - BC_{CO}} \cdot \frac{10^6}{3600}$$ Ligning (6)

Ligningene har enhetene: $\left[\frac{m^3}{s}\right] = \frac{\left[\frac{g}{t}\right]}{\left[\frac{\mu g}{m^3}\right] - \left[\frac{\mu g}{m^3}\right]} \cdot \left[-\right] / \left[\frac{s}{t}\right]$

Bakgrunnskonsentrasjonene, BC_{NO_2} og $BC_{PM_{2,5}}$, kan hentes fra nettstedet *Modluft*. Ved toløpstunneler kan det ventes økt bakgrunnskonsentrasjon på grunn av at forurenset luft overføres mellom tunnelløpene. Dette vurderes ut fra lokale terreng- og vindforhold.

Den største av de to, eller tre, verdiene ($Q_{0,luft,NO_2}$, $Q_{0,luft,EP}$ og $Q_{0,luft,CO}$) brukes til å beregne dimensjonerende trekk i tunnelen. Friskluftbehovet regnes om til aktuelt trykk og temperatur i tunnelen og divideres på tunneltverrsnittet for å finne dimensjonerende trekk:

$$u_t = Q_{0,luft} \frac{p_0 \cdot T}{p \cdot T_0 \cdot A_N \cdot 3600}$$

$$\frac{m}{s} = \frac{m^3}{s} \frac{kPa \cdot K}{kPa \cdot K \cdot m^2 \cdot [-]}$$

- u_t: Dimensjonerende trekk i tunnelen
- $Q_{0,luft}$: Dimensjonerende luftmengde
- p_0: 101,3 kPa (1013 mB)
- T_0: 273,15 K (0° C)
- p: Aktuelt lufttrykk (normalt lufttrykk korrigert for høyde over havet)
- T: Aktuell temperatur i tunnelen [K]
- A_N: Tverrsnitt målt i normalprofilet [m²], (Tabell A.2.1—1)

Dimensjonerende trekk beregnes i normalprofilet uavhengig av type og omfang av vann- og frostsikring i tunnelen.

A.1.9 Utstyr for kontroll av luftkvalitet

Måleinstrumenter for kontroll av luftkvalitet i vegtunneler dekker følgende måleområder:

- NO_2: 0-5 ppm tilsvarende 0-10 000 µg/ m³
- NO: 0-50 ppm tilsvarende 0-100 000 µg/ m³

- CO: 0-200 ppm tilsvarende 0-240 000 µg/ m^3
- $PM_{2,5}$: 0-1000 µg/m^3 ($PM_{2,5}$ dekker utslipp av eksospartikler, EP)

Det er ikke nødvendig å måle både NO_2 og NO. I eksisterende tunneler kan NO-sensorer brukes, men det anbefales at de erstattes av NO_2-sensorer ved oppgradering av anleggene.

Vegtunneler med lengde over 1,5 km og ÅDT > 1500, har et målepunkt for NO_2 nær midten. Behovet for måleutstyr i kortere tunneler vurderes ut fra ÅDT, sannsynlighet for kø og om tunnelen er tilrettelagt for gang-/sykkeltrafikk. I vegtunneler med gang- og sykkelveg, lengde over 500 m og ÅDT > 4000, er det minimum ett målepunkt for CO og/eller NO_2.

I vegtunneler med toveistrafikk og lengde fra 1,0 til 3,0 km, kan måleutstyr for NO_2, og eventuelt CO plasseres ved havarinisjene 0,5-1,0 km inn fra portalene. I tunneler med lengde fra 3,0 til 6,0 km, plasseres i tillegg måler for NO_2 ved havarinisje omtrent midt i tunnelen. I tunneler med lengde over 6,0 km kan avstanden mellom målepunktene økes til 3,0 km.

I vegtunneler med enveistrafikk er det ikke behov for måleutstyr i første halvdel av tunnelen. I tunneler som ventileres mot avtrekkssjakt, plasseres et målepunkt ved siste havarinisje før sjakta.

A.2 Beregning av nødvendig skyvekraft ved langslufting

Langslufting er valgt som ventilasjonsprinsipp i norske vegtunneler. Lange tunneler kan deles opp i flere ventilasjonsavsnitt ved bygging av sjakter eller tverrslag. Avtrekk gjennom sjakter eller ventilasjonstårn kan unntaksvis brukes for å innfri krav til lokal luftkvalitet ved tunnelportalene.

Luftstrømmen i vegtunneler kan regnes som rørstrømning med enkle ligninger for trykktap og ventilasjonskrefter fra vifter, trafikk, vind, temperatur og klimatiske forhold. Impulsvifter styres automatisk for å tilføre nødvendig luftmengde til uttynning av forurensninger fra trafikken.

I vegtunneler med toveistrafikk er det nødvendig at ventilasjonsanlegget overvinner stempeleffekt fra trafikk mot ventilasjonsretningen. Der det velges fast ventilasjonsretning, kreves også at anlegget har tilstrekkelig kapasitet til å overvinne naturlige ventilasjonskrefter.

A.2.1 Beregning av trykktap

$$\Delta p_{trykktap} = \left(i + 1{,}0 + \lambda \cdot \frac{L}{D_H}\right) \cdot \frac{\rho}{2} \cdot u^2$$

$$[Pa] = \left([-] + 1{,}0 + [-] \cdot \frac{[m]}{[m]}\right) \cdot \frac{[kg/m^3]}{2} \cdot [m/s]^2$$

- $\Delta p_{trykktap}$ = trykktap gjennom tunnelen (1,0 Pa = 1,0 N/m^2 = 0,01 hPa = 0,01 mb)
- i = koeffisient for innløpstap som varierer fra 0,5 for rett avskåret tunnelportal til 0,2 ved traktform.
- 1,0 = koeffisienten for utløpstap gjennom portal med normalprofil. Det er ikke tatt hensyn til trykkgjenvinning i portaler med traktform. Koeffisienter for inn- og utløpstap vurderes spesielt hvis portalene har kassetverrsnitt eller andre avvik fra normalprofilet som gir økt lufthastighet.
- λ = koeffisient for strømningstap som varierer fra 0,025 i moderne tunneler med glatte overflater til over 0,04 i en del eldre tunneler. Faktoren inkluderer strømningstap ved standard plassering og utforming av havarinisjer og veggmonterte skilt. Trykktap fra store overhengende skilt m.m. kan beregnes med egen formel.
- L = tunnellengde
- D_H = hydraulisk diameter, Tabell A.2.1—1
- ρ = luftens tetthet ved gjennomsnittstemperatur i tunnelen. Hvis bergtemperaturen er ukjent, kan verdien settes til 1,25 kg/m^3 ved havnivå, 1,30 kg/m^3 i undersjøiske tunneler og 1,20 kg/m^3 i tunneler som ligger ca. 400 moh.
- u = dimensjonerende trekk i normalprofilet

Formelen for trykktap gjelder ved jevn trekk i tunnelen. Kraft til akselerasjon av lufta i tunnelen kan sidestilles med et ekstra trykktap like etter start av vifter (K = m·a). Akselerasjonsleddet er ikke tatt inn i formelen fordi denne effekten forsvinner når luftstrømmen stabiliseres innen ti minutter etter endring av ventilasjonsnivå.

Tabell A.2.1—1 — Tverrsnitt, omkrets og hydraulisk diameter i vegtunnel og havarinisjer

Tunnelprofil	Normalprofil A_N [m²]	Omkrets O [m]	Hydraulisk diameter $D_H = 4A_N/O$ [m]
T5,5	30	20	5,9
T7,5	40	24	6,7
T 8,5	50	27	7,5
T 9,5	54	28	7,6
T 10,5	60	30	8,0
T11,5	71	33	8,6
T12,5	75	34	8,8
T13,5	84	37	9,1

A.2.2 Ventilasjonstrykk pga. stigning og bergtemperatur («skorsteinseffekt»)

I vegtunneler med høydedifferanse mellom portalene, kan den naturlige trekkretningen variere avhengig av om lufttemperaturen ute ligger over eller under temperaturen i tunnelen. I norske vegtunneler er det registrert store lokale variasjoner i bergtemperatur fra ca. 4 til 18 °C avhengig av geografisk plassering og avstand mellom tunnel og terrengoverflate. Når det er kaldt ute, varmes lufta i tunnelen opp av jordvarmen slik at det oppstår naturlig trekk oppover. På varme dager blir lufta avkjølt gjennom tunnelen slik at trekken kan snu nedover.

I tunneler med isolert vann- og frostsikring, reduseres varmeovergangen mellom luft og berggrunn slik at temperaturdifferansen mellom tunnelluft og uteluft blir mindre. I lange tunneler med stor høydeforskjell mellom portalene, kan ventilasjonstrykket likevel bli stort nok til å gi naturlig trekk både i varme og kalde perioder.

$$\Delta p_{Stigning} = \rho \cdot g \cdot \frac{\Delta t}{t + T_0} \cdot \Delta H$$

$$[Pa] = \left[{}^{kg}/_{m^3}\right] \cdot \left[{}^{m}/_{s^2}\right] \cdot \frac{[°C]}{[°C] + 273{,}15\,[°C]} \cdot [m]$$

- $\Delta p_{Stigning}$ = trykkdifferanse mellom portalene pga. stigning og temperaturdifferanse
- ρ = luftens tetthet ved nedre tunnelportal
- g = tyngdens akselerasjon 9,81 m/s²
- Δt = dimensjonerende temperaturdifferanse mellom gjennomsnittlig lufttemperatur i tunnelen og gjennomsnittlig lufttemperatur mellom portalene på utsiden av tunnelen. Ved tunnellengder over ca. 5 km, kan verdien settes til +/- 10 °C. Differansen blir mindre i kortere tunneler. Større temperaturdifferanser kan forventes i høyfjellstunneler og i spesielt kalde områder.
- t = gjennomsnittlig lufttemperatur i tunnelen. Gjennomsnittstemperaturen varierer med geografisk plassering, tunnellengde, ventilasjonsnivå og lufttemperatur i dagen.
- T_0 = 273,15 K (= 0 °C)
- ΔH = høydedifferanse mellom tunnelportalene [m]

A.2.3 Ventilasjonstrykk fra vind

Vinden kan gi trykkdifferanse mellom portalene og naturlig trekk i tunnelen. Vindtrykket varier med vindstyrke, vindretning og portalutforming. Vind som blåser rett inn mot en utstikkende tunnelportal, gir trykkstigning i tunnelen. Vind som blåser langs terrengoverflaten eller på tvers av portalen, gir derimot undertrykk. Trykkdifferanse kan virke med eller mot ventilasjonsretningen avhengig av vindretning.

$$\Delta p_{vind} = \frac{\rho_A}{2} \cdot w_A^2 \cdot f_A - \frac{\rho_B}{2} \cdot w_B^2 \cdot f_B$$

$$[Pa] = \frac{kg/m^3}{2} \cdot [m/s]^2 \cdot [-] - \frac{kg/m^3}{2} \cdot [m/s]^2 \cdot [-]$$

- Δp_{vind} = trykkdifferanse mellom portal A og B
- ρ = luftens tetthet ved tunnelportal A og B
- w = vindstyrke ved tunnelportal A og B
- f = faktor for overført dynamisk trykk fra vind ved portal A og B. Verdiene ligger mellom +1 og -1 avhengig av vindretning og portalform

Dimensjonerende trykkdifferanse mellom tunnelportalene vurderes ut fra lokale variasjoner i gjennomsnittlig vindstyrke og typisk vindretning ved portalene. Ved usikre eller manglende vinddata, kan ventilasjonstrykket fra vind regnes som et generelt trykktap på 25 Pa.

A.2.4 Trykkdifferanse mellom klimasoner

Lokale variasjoner i lufttrykk og temperatur kan gi naturlig trekk i tunneler som krysser store fjellmassiv. I lange tunneler i innlandet, vurderes effekten av ulike klimasoner spesielt.

A.2.5 Ventilasjonstrykk fra trafikk

Når trafikkmengder og hastighetsfordeling er kjent, kan stempeltrykket beregnes for lette og tunge kjøretøy. Grov inndeling med kun to kjøretøygrupper, gir som regel akseptabel nøyaktighet. Tabell A.2.5—1 viser eksempel på formfaktorer og tverrsnitt for en del kjøretøy og forslag til gjennomsnittsfaktorer for lette og tunge kjøretøy. Disse faktorene kan brukes hvis det ikke finnes detaljerte trafikkdata.

Tabell A.2.5—1 — Eksempel på form- og tverrsnittsfaktorer for lette og tunge kjøretøy

Kjøretøytype	Formfaktor: C_d	Tverrsnittsfaktor: A_b	
Lette kjøretøy	**0,29**	**3,0**	**0,87**
Personbil	0,25	2,5	0,63
SUV	0,35	3,4	1,20
Liten varebil	0,40	5,0	2,00
Tunge kjøretøy	**0,90**	**9,3**	**8,4**
Stor varebil	0,50	5,0	2,5
Lastebil	0,85	7,5	6,4
Vogntog	1,00	10,5	10,5
Buss	0,75	9,5	7,1

$$\Delta p_{kjøretøytype} = \frac{\rho}{2} \cdot \frac{C_d \cdot A_b/A_N}{(1 - A_b/A_N)^2} \cdot \left\{ \frac{L \cdot M_{med}}{v_{med}} \cdot \left(\frac{v_{med}}{3{,}6} - u\right)^2 - \frac{L \cdot M_{mot}}{v_{mot}} \cdot \left(\frac{v_{mot}}{3{,}6} + u\right)^2 \right\}$$

$$[Pa] = \frac{[kg/m^3]}{2} \cdot \frac{[-]\,[m^2]/[m^2]}{(1 - [m^2]/[m^2])^2} \cdot \left\{ \frac{[km]\,[-]/t]}{[km/t]} \left(\frac{[km/t]}{3{,}6} - [m/s]\right)^2 - \frac{[km]\,[-]/t]}{[km/t]} \left(\frac{[km/t]}{3{,}6} + [m/s]\right)^2 \right\}$$

- $\Delta p_{kjøretøytype}$ = ventilasjonstrykk for hver kjøretøytype (lette og tunge)
- ρ = gjennomsnittlig lufttetthet i tunnelen
- C_d = formfaktorer for beregning av luftmotstand for lette og tunge kjøretøy
- A_b = tverrsnittsfaktorer for lette og tunge kjøretøy
- A_N = normalprofil i tunnelen
- L = tunnellengde (= seksjonslengde hvis tunnelen deles opp i flere seksjoner på grunn av variasjon i tverrsnitt, stigning eller trafikkhastighet)
- $M_{med/mot}$ = dimensjonerende timetrafikk for hver kjøretøytype med og mot ventilasjonsretningen
- $v_{med/mot}$ = gjennomsnittlig trafikkfart for hver kjøretøytype med og mot ventilasjonsretningen
- u = dimensjonerende trekk i normalprofilet

Endring av fartsnivået gir store utslag ved beregning av ventilasjonstrykk. Gode vurderinger av fartsnivået i dimensjonerende time er derfor viktig. Gjennomsnittlig trafikkfart i vegtunnelen varierer med fartsgrense, stigning, antall kjørefelt, andel tunge kjøretøy og trafikkvolum i dimensjonerende time.

I vegtunneler med to eller flere felt i samme retning, kan det antas at gjennomsnittsfarten på lette kjøretøy ligger nær fartsgrensen. Gjennomsnittlig trafikkfart for tunge kjøretøy kan settes til maksimalt 80 km/t i flate tunneler og reduseres gradvis ved lange stigninger over 2 %. I formelen er det ikke lagt inn korreksjonsfaktor for havarinisjer eller andre variasjoner i tunnelprofilet. Ventilasjonstrykket fra trafikken blir ca. 30 % mindre i havarinisjer enn i normalprofilet. I tunneler med havarinisjer for hver 500 m, utgjør dette mindre enn 2 % av beregnet ventilasjonstrykk. Ved større endringer i profilet, beregnes ventilasjonstrykket seksjonsvis.

A.2.6 Trykktap ved store overhengende skilt og kjørefeltsignaler m.m.

Trykktap ved skilt og annet utstyr i tunnelrommet, kan beregnes etter samme prinsipp som stempeleffekt fra kjøretøy.

$$\Delta p_{skilt} = \frac{C_d\, A_s/A_N}{(1 - A_s/A_N)^2} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot (u \cdot f)^2$$

$$[Pa] = \frac{[-]\,[m^2]/[m^2]}{(1 - [m^2]/[m^2])^2} \cdot \frac{[kg/m^3]}{2} \cdot ([m/s] \cdot [-])^2$$

- Δp_{skilt} = trykktap fra store skilt m.m.
- C_d = formfaktor for beregning av trykktap. Faktoren kan settes til 1,1 for skilt og kjørefeltsignaler som er plassert i normalprofilet. Faktoren reduseres skjønnsmessig hvis øvre del av skiltet plasseres i taknisje over normalprofilet. Formfaktorer for annet utstyr vurderes spesielt.
- A_s = areal av skilt målt vinkelrett på tunnelaksen

- A_N = normalprofil i tunnelen mellom havarinisjer
- u = dimensjonerende trekk i normalprofilet
- f = korreksjonsfaktor for redusert vindhastighet ved skilt ca. 4,8 m over kjørebanen

A.2.7 Dimensjonerende skyvekraft i tunnelen

Vegtunneler med toveistrafikk ventileres som regel av naturlig trekk i lange perioder med liten trafikk. Dimensjonerende skyvekraft kan beregnes slik:

$$F_1 = \{\Delta p_{trykktap} - \Delta p_{lette\ kjøreøy} - \Delta p_{tunge\ kjøreøy} + abs(\Delta p_{vind}) + \sum \Delta p_{skilt}\} \cdot A_N$$
$$[N] = \{[Pa] - [Pa] - [Pa] + [Pa] + [Pa]\} \cdot [m^2]$$

Viftene startes i den naturlige trekkretningen når forurensningsnivået overskrider valgte startgrenser. Ved variabel ventilasjonsretning er det ikke nødvendig å dimensjonere for trykkrefter som skyldes stigning og klimasoner, men vindtrykk regnes med fordi vindstyrke og retning kan endres etter at viftene har startet. Fast ventilasjonsretning krever større dimensjonerende skyvekraft hvis tunnelen har stor høydedifferanse mellom portalene eller går mellom ulike klimasoner.

Dimensjonerende skyvekraft for tunneler med enveiskjøring og andre tunneler med fast ventilasjonsretning, kan beregnes slik:

$$F_2 = F_1 + \{abs(\Delta p_{stigning}) + abs(\Delta p_{klimasone})\} \cdot A_N$$

A.2.8 Dimensjonerende skyvekraft fra impulsvifter

Antall impulsvifter velges slik at det blir balanse mellom effektivt trykk fra viftene og dimensjonerende skyvekraft i tunnelen. Skyvekraften fra hver vifte korrigeres for luftens egenvekt i tunnelen, systemkoeffisient og medvind:

$$K = \frac{\rho}{1{,}20\ kg/m^3} \cdot \sum_1^x \left(k \cdot F_0 \cdot \frac{v_0 - u}{v_0}\right)$$
$$[N] = \frac{[kg/m^3]}{1{,}20\ kg/m^3} \cdot \sum_1^x \left([-] \cdot [N] \cdot \frac{[m/s] - [m/s]}{[m/s]}\right)$$

- K = dimensjonerende skyvekraft (alle vifter i drift)
- ρ = gjennomsnittlig lufttetthet i tunnelen (skyvekraft for vifter oppgis ved 20 ºC og 1013 mb som tilsvarer lufttetthet 1,20 kg/m³)
- x = antall impulsvifter i tunnelen
- k = systemkoeffisient for impulsvifter. Systemkoeffisienten vurderes for hver tunnelseksjon og for hver viftetype. Koeffisienten varierer fra 0,6-0,9 avhengig av hvor godt luftstrålen bøyes av fra heng og vegg. Plassering av vifter i hjørner eller i korte taknisjer, kan gi lav systemkoeffisient. Systemkoeffisienten settes til 0,70 for vifter som er plassert innenfor normalprofilet og har utblåsing symmetrisk om ventilatoraksen og maksimalt 0,90 for vifter med optimal plassering og skråstilt utblåsing

- F_0 = garantert skyvekraft målt i produsentens verksted og omregnet til normal tetthet for luft ved 20 °C og normalt lufttrykk ved havnivå
- v_0 = gjennomsnittlig lufthastighet ut fra vifte målt i aksiell retning [m/s]. Lufthastigheten for impulsvifter beregnes som en teoretisk gjennomsnittsverdi på grunnlag av målt skyvekraft i sertifisert verksted
- u = dimensjonerende trekk i normalprofilet

A.3 Styring av ventilasjonsanlegg

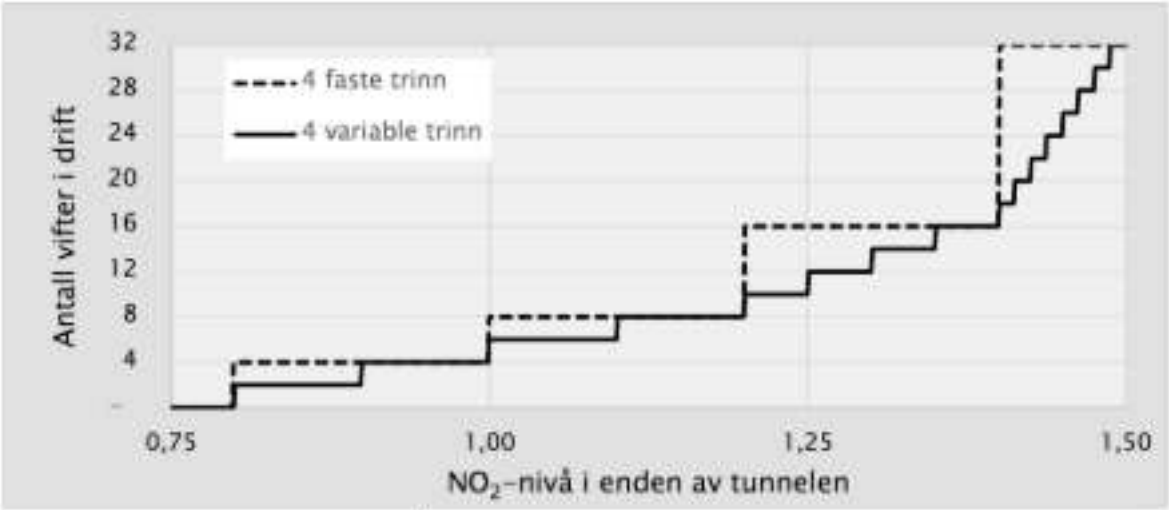
Trinnstyring av ventilasjonsanlegg basert på gassmålinger fungerer best hvis det tar mindre enn en halv time å skifte ut luften i hele tunnelen. I vegtunneler med store variasjoner i trafikkmengde eller lang utluftingstid, kan trafikkstyrt og/eller tidsstyrt ventilasjon gi redusert energibruk og jevnere luftkvalitet.

Ventilasjonsanlegg styres med vekt på luftkvalitet og energibruk. Hvis NO_2-konsentrasjonen holdes under grenseverdiene, kan det normalt regnes med akseptable mengder av røyk og svevestøv. Det forutsettes at svevestøv begrenses i vinterhalvåret.

I lange vegtunneler med enveistrafikk og fri trafikkavvikling, gir stempeleffekten som regel god nok trekk uten drift av vifter. Hvis trekken stopper opp på grunn av liten trafikk om natta, blir som regel forurensningsnivået også lavt slik at det sjelden blir behov for start av vifter.

A.3.1 Trinnstyrt ventilasjon

Ventilasjonsnivået kan reguleres trinnvis på grunnlag av måleverdier for luftkvalitet. Fire trinn med et fast antall vifter i hvert trinn, fungerer bra i korte tunneler med jevn trafikk og stabil naturlig trekkretning. I lange tunneler og i tunneler med stor trafikk som krever kontinuerlig drift av vifter, vil variable trinn gi jevnere regulering og redusert energibruk. For hver sensor tilpasses startgrenser og antall vifter som startes i hvert trinn til avstand mellom NO_2-sensorer og avstand fra siste sensor til tunnelportal. Se Figur A.3.1—1.



Figur A.3.1—1 — Eksempel på fast og variabel trinninndeling for NO_2-sensor nær tunnelportal. Ved variable trinn bestemmes antall vifter ved interpolasjon mellom fire faste trinn.

Der det velges fast ventilasjonsretning, kan det bli nødvendig å øke antall vifter i første og andre trinn for å overvinne naturlige ventilasjonskrefter og trykk fra biler som kjører mot ventilasjonsretningen.

Ettergangstid er definert som driftstid etter at gassnivået har falt under startgrensene i alle målepunktene. Riktig ettergangstid i hvert trinn vil sørge for at en gasspropp flyttes fra siste sensor og ut av tunnelen før ventilasjonsanlegget stopper. Tregheten i de store luftmengdene i tunnelen, medfører at det kan ta over fem minutt fra endring av trinn til trekken stabiliseres på nytt nivå. Normale trafikkvariasjoner gir ujevn trekk i tunneler med toveistrafikk. Det er ikke uvanlig at trekken snur i korte perioder når store biler kjører mot driftsretningen for viftene.

Tabell A.3.1—1 inneholder eksempel på startgrenser i en 4-10 km lang vegtunnel der viftene alltid starter med naturlig trekkretning. I eksisterende tunneler uten NO_2-måling, justeres startverdiene for NO i takt med endringene i forholdet mellom NO og NO_2.

Tabell A.3.1—1 — Eksempel på start- og alarmgrenser for NO_2, og NO eller CO

Ventilasjonstrinn	Ved havarinisje 375-750 m fra portal			Ved havarinisje midt i tunnelen		
	NO_2	NO	CO	NO_2	NO	CO
1	0,8	5,0	30	0,4	3,0	15
2	1.0	6,0	35	0,5	3,5	20
3	1.2	7,0	40	0,6	4,0	25
4	1,4	8,0	45	0,7	4,5	30
Alarm	1,5	8,5	50	0,75	5,0	50

Nye ventilasjonsanlegg følges nøye opp det første året etter åpning av tunnelen med justering av parametere. God tilpasning mellom viftekapasitet og aktuelle trafikkmengder er viktig både for luftkvalitet og energibruk. Antall vifter og ettergangstid i hvert trinn, er parametere som justeres fra driftssentralen etter at anlegget er satt i drift.

A.4 Sjaktventilasjon

Lange vegtunneler med toveistrafikk kan deles i to ventilasjonsavsnitt med røyksjakt eller tverrslag midt i tunnelen. Energiforbruket kan reduseres med over 70 % hvis lufta trekkes inn fra begge portalene og blåses ut gjennom sjakt eller tverrslag. Røykavsug midt i tunnelen gir også fordeler ved brann fordi maksimalt halve tunnelen blir fylt av røyk. Kapasiteten til sjaktventilatorene reguleres i takt med impulsviftene og dimensjoneres for trykkfallet ved aktuelle trafikksituasjoner i tunnelen. Når sjaktventilatorer brukes til røykavsug, beregnes nødvendig kapasitet ut fra krav til minimum lufthastighet inn mot brannen. Røykvolumet ved brann nær avtrekkspunktet, kan bli langt større enn tilført luftmengde gjennom portalene fordi luft utvides ved oppvarming.

Det er anbefalt at sjaktventilatorer oppfyller kravene til brannklasse F200. Temperaturer over 200 °C kan unngås ved å blande røyken med kald luft fra den røykfrie delen av tunnelen. Frisk luft kan brukes til motorkjøling der det ligger til rette for det. Turtallsregulering av sjaktventilatorer anbefales, for trinnløs regulering av kapasiteten.

Ved dimensjonering av anlegg med sjaktventilasjon, legges det vekt på god hydraulisk utforming av ventilasjonskanalene. Trykktap på grunn av bend og variasjoner i kanaltverrsnitt unngås eller reduseres til et minimum ved god planlegging. Avtrekkspunkter legges til rette for utskilling og oppsamling av sand og søppel for å unngå skade på ventilatorer, samt negative miljøeffekter.

A.5 Brannventilasjon

Dimensjoneringskrav for brannventilasjon i vegtunneler er gitt i N500. I en tidlig fase holdes lufthastigheten under 2,0 m/s for å legge til rette for selvredning og redusere faren for spredning av brannen. Fra beredskapsplanen for tunnelen fremgår det om tidlig fase gjelder tidsrommet til brannvesenet har fått oversikt over situasjonen i tunnelen eller brannvesenet er klar til innsats.

Erfaring fra store tunnelbranner viser at ventilasjonsretning og lufthastighet er kritiske faktorer ved evakuering og redning. Det anbefales lav lufthastighet i evakueringsfasen fordi:

- trafikanter får bedre mulighet til selvredning til fots uten å bli innhentet av røykfronten
- trafikanter som kjører innover mot brannen, kan få tilstrekkelig tid å snu og kjøre ut før de møter røykproppen
- lav lufthastighet reduserer risikoen for brannspredning til flere kjøretøy og kan gi lavere branneffekt og mindre røykproduksjon
- lav lufthastighet betyr at en kortere tunnelstrekning fylles med røyk før brannvesenet kommer fram. Dette gir redusert tid til utlufting hvis brannvesenet velger å skifte ventilasjonsretningen for å evakuere personer som er innestengt på røykfylt side.

Ventilasjonsretning og nødvendig lufthastighet ved brannslukking vurderes av brannvesenet i hvert enkelt tilfelle. I vegtunneler med stigning gir naturlig oppdrift i varm røyk best arbeidsforhold på brannstedet når tunnelen ventileres oppover. Ved stigning over 2 % legges det som hovedregel til rette for røykventilasjon oppover og innsats fra nedre portal. Hvis bratte tunneler ventileres nedover, vil en del røyk vil trekke oppover under tunneltaket. Etter hvert som denne røyken blir avkjølt og blandes med frisk luft, blir sikten redusert og kan gi dårlige arbeidsforhold inn mot brannen. Ved valg av innsatsretning tas det også hensyn til at skyvekraften fra impulsventilatorer reduseres i varm luft. Ventilasjonskapasiteten nedover vil derfor avta ved økende brannintensitet.

A.6 Referanser til tillegg A

1) Håndbok V714 Veileder i trafikkdata. Statens vegvesen

2) Wessel, M. C. S., Antonsen, Ø. Eckhardt, Ø. og Tønnesen, D. Ingenia AS og NILU - Norsk institutt for luftforskning. Oppdatering av beregningsmetode for luftforurensning i Håndbok V520 Dokumentnr. ING-17067-001.

3) HBEFA 3.3. Update of Emission Factors for EURO 4,5,6 Diesel Passenger Cars for the HBEFA Version 3.3. 2017.

4) HBEFA. Emission factor handbook, version 3.3, Background documentation. 2017.