NTNU
Det skapende universitet

Vurdering av ventilasjonsanleggene i Hitra- og Frøyatunnelen

Mats Andre Lied

Master i veg og jernbane
Innlevert: mai 2016
Hovedveileder: Alex Klein-Paste, BAT
Medveileder: Gunnar Lotsberg, Statens veivesen

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for bygg, anlegg og transport

Forord

Masteroppgaven er skrevet i samarbeid mellom Faggruppe for veg, transport og geomatikk, Institutt for bygg, anlegg og transport, ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet og Statens vegvesen. Masteroppgaven er den avsluttende delen for det erfaringsbaserte masterprogrammet Veg og jernbane. Statens vegvesen har finansiert oppgaven og studiet, med kostnad og arbeidstid, og det rettes en stor takk til disse institusjonene for gjennomføringen. Oppgaven er skrevet på deltid høst 2015 og vår 2016.

Hovedveileder hos NTNU, som har utformet oppgaveteksten, har vært Alex Klein-Paste og lokal veileder har vært Gunnar Lotsberg i Statens vegvesen.

Studien stiller spørsmålet med ventilasjonsanleggene for Hitra- og Frøyatunnelen med tanke på tunnelsikkerhetsforskriften. Arbeidet med å vurdere ventilasjonanlegg i tunneler er en omfattende prosess og jeg håper dette arbeidet vil bli med i videre prosess for å vurdere tiltak i tunnelene.

En stor takk til fagpersoner i Statens vegvesen som har bidratt til å belyse problemstillinger og samtalen med varabrannsjefene i Frøya og Hitra kommune. For tilgangen på beregningsverktøy og forklaring av modellering av ventilasjonsanlegg rettes en ekstra takk til lokal veileder og en siste takk til hovedveileder for diskusjon og problemformulering i denne studien.

Trondheim 13. mai 2016

Innhold

Forord I
Sammendrag V
Summary V
Definisjoner og forkortelser VI
Figur-, formel- og tabell-liste VII
Vedlegg IX
Innledning 1
Problemstilling 1
Metode 2
Oppgavens oppbygging 2
Tunneler 4
Samfunnsnytten og kompleksiteten 4
Tunnelsikkerhetsforskriften 5
Historikk 5
Om tunnelsikkerhetsforskriften 6
Konsekvenser for eksisterende tunneler 6
Roller og ansvar i forbindelse med vegtunneler 7
N500 Vegtunneler 8
Om ventilasjonsanlegg 9
Luftkvalitet 9
Brannventilasjon 10
Beskrivelse av ventilasjonsanlegg og kravspesifikasjoner 13
Beredskap og risiko- og sårbarhetsanalyse 14
Beredskap for Hitra- og Frøyatunnelen 14
Risiko- og sårbarhetsanalyse – Hitra og Frøya kommune 15
Beredskapsplaner for Hitra- og Frøyatunnelen 16
Beskrivelse av Hitratunnelen 17
Tekniske data 17
Beskrivelse av Frøyatunnelen 20
Tekniske data 20
Intervju med varabrannsjef i Hitra og Frøya kommune 23
Forskning og forsøk - ventilasjon i tunneler 24
Forskning for brannventilasjon 24
Måling av lufthastighet ved «brannventilasjon» - Frøyatunnelen 25
Modellering og beregning 26
Om beregningsmodellen 26

Inngangsdata - Start 27
Beregninger – Retning A og Retning B 29
Inngangsdata – Brann A og Brann B 33
Beregninger – Data A og Data B 34
Valg av parametere 38
Brannventilasjon 38
Modellering av Hitratunnelen 39
Inngangsdata 39
Arkfane - Start 39
Arkfane – Faktorer 40
Arkfane – varme 40
Arkfane – Retning A og B 40
Arkfane – Brann A og B 41
Arkfane – Data A og Data B 42
Analysering i modellen 42
Modellering av Frøyatunnelen 43
Inngangsdata 43
Arkfane - Start 43
Arkfane – Faktorer 44
Arkfane – Varme 44
Arkfane – Retning A og B 44
Arkfane – Brann A og B 44
Arkfane – Data A og Data B 46
Analysering i modellen 46
Resultat etter modellberegning 47
Vurdering av resultat for luftkvalitet 47
Vurdering av resultat for brannventilasjon 48
Hitratunnelen 49
Luftkvalitet 49
Brannventilasjon 50
Frøyatunnelen 51
Luftkvalitet 51
Brannventilasjon 52
Diskusjon 53
Hitratunnelen 53
Frøyatunnelen 54
Oppsummering og anbefaling 56

Luftkvalitet 56
Brannventilasjon 56
Brannventilasjon – Hitra 56
Brannventilasjon – Frøya 57
Anbefaling - Hitratunnelen 58
Anbefaling for Frøyatunnelen 59
Kostnadskonsekvenser for Hitra- og Frøyatunnelen 60
Eksempel på kostnader: 60
Litteraturliste 62

Sammendrag

Denne studien skal kartlegge om ventilasjonsanleggene i Hitra- og Frøyatunnelen i Sør-Trøndelag tilfredsstiller tunnelsikkerhetsforskriften. For å svare på studien er det lagt ved informasjon om historikk og krav som følge av forskriften, som trådde i kraft den 1.1.2015. Kontakt mot brannvesenet i kommunene og gjennomgang av planer gir denne studien en kort oversikt over eksisterende forhold som er viktige med tanke på sikkerheten til tunnelene.

Ved å finne dokumentasjon av tunnelene som Statens vegvesen har utarbeidet, er tunnelene modellert slik at studien kan svare opp dagens krav. I tillegg er det gjennomført forsøk av ventilasjonsanlegget i Frøyatunnelen.

Tunnelene ble åpnet på en tid hvor kravet til brannventilasjon ikke var nødvendig for konstruksjonen. Modelleringen er ikke utført av det mest moderne beregningsprogrammer som er tilgjengelige i dag, men resultatene for krav antas likevel godt nok for å svare ut om tunnelene har tilstrekkelig kapasitet.

Denne studien kommer til konklusjon at kravene i tunnelsikkerhetsforskriften ikke kan godkjennes for ventilasjonsanlegget i Hitratunnelen, og at ventilasjonsanlegget oppgraderes. Ventilasjonsanlegget i Frøyatunnelen konkluderer med at kravene er tilfredsstilt, men at det gjøres avbøtende tiltak og testing av anlegget.

Summary

In this study the ventilation systems in Hitra Tunnel & Frøya Tunnel in Sør-Trøndelag are reviewed to determine whether they satisfy the current regulations for safety in road tunnels. The review compares the current regulations as of 1.1.2015. Communication with fire departments in the relevant municipalities and review of tunnel plans has also been undertaken to gain an overview of existing conditions relating to tunnel safety.

The study has used the documentation of the tunnels made by the Norwegian Public Road Administration, to model the tunnel conditions using simulations. Testing of the ventilation system in Frøya Tunnel has also been done.

The tunnels were opened at a time when demand for fire ventilation was not necessary for the construction. The modelling does not use Computational Fluid Dynamics, but the results are still assumed more than accurate enough to determine whether the tunnels have sufficient ventilation.

This study concludes that the tunnel ventilation system in Hitra Tunnel is not approved according to the requirement of the current tunnel safety regulations. A recommendation to the owner is to upgrade the ventilation system for Hitra Tunnel. The tunnel ventilation system in Frøya Tunnel do meet the requirements, but further mitigation measures be put in place with testing.

Definisjoner og forkortelser

Brannvernleder – Utpekt ansvarligperson for brannobjekt, og ofte representant for eier av brannobjekt ved tilsyn fra myndigheter. (Vegdirektoratet 2007)

Forskrift – «generell bestemmelse om borgernes rettigheter eller plikter, fastsatt av forvaltningsmyndighetene som ledd i utøving av offentlig myndighet.» (Store norske leksikon)

Håndbok – Publikasjon utarbeidet av Statens vegvesen Vegdirektoratet som er hjemlet i lovverket, det i to nivåer som avgjør gyldigheten av håndboken. Normaler og retningslinjer er nivå 1 og veiledning nivå 2. Forkortes med første bokstav og tresifret nummerering, navn på håndboken kommer etter, eksempel N500 Vegtunneler.

Selvredningsprinsippet - Prinsipp for evakuering i tunneler, trafikantene skal ta seg til sikkert oppholdssted enten til fots eller ved hjelp av eget kjøretøy.

Skal-krav – Betegnelse i håndbøker som ikke kan avvikes, hvis det ikke er et godkjent fravik fra Vegdirektoratet.

Sikkerhetsutrustning – Definert i håndbok N500, tabell 5.1. Strømforsyning, belysning, ventilasjon, nødstrømanlegg, ledelys for tunnel, nødutgangsskilt med retning og avstand, nødstasjon, ITV-overvåking osv.

Tunnel – I denne oppgaven hovedsakelig vegtunnel er en veg som går under bakken eller som en lenger strekning for å skape et naturlig landskapsbilde over tunnelen, eksempel miljøtunneler.

Tunnelprofil – Definert i Statens vegvesens håndbok om Vegtunneler. Tunnelprofil betegnes med bokstaven T og et tall som angir vegbredde + skulder.

Ventilasjon – Fordeling eller endring av luftkvalitet, som følge av tilførsel eller fjerning av partikler/gasser i luften som blir ventilert.

Ventilasjonsanlegg – Innretning som skal styre luftkvaliteten. For tunneler består ventilasjonsanlegg av ventilatorer som presser luft inn eller ut av tunnelen.

Årsdøgntrafikk – Antall kjøretøy for en strekning eller punkt som kjører i begge retninger gjennom et helt år, delt på antall dager i året. Tunge kjøretøy oppgis ofte som en % av årsdøgntrafikken.

Figur-, formel- og tabell-liste

Figur 1 Prosjektstyring - Prosess, faser og trinn. (Vegdirektoratet 2012b, 6)..... 4
Figur 2 Kap. 3.5 Retningslinjer for saksbehandling og ivaretakelse av brann og elsikkerhet i vegtunneler. (DSB 2011)..... 5
Figur 3 Eksempel røykventilasjon (Vegdirektoratet 2010, 114)..... 12
Figur 4 Eksempel røykventilasjon (Vegdirektoratet 2010, 117 12
Figur 5 Tunnelprofil T11 (Vegdirektoratet 1992)..... 17
Figur 6 Kart over Hitratunnelen 17
Figur 7 Tunnelprofil T8 (Vegdirektoratet 1992)..... 20
Figur 8 Kart over Frøyatunnelen 20
Figur 9 Observed smoke movement (Chow*, Wong og Chung 2009, 125) 25
Figur 10 Eksempel - inngangsdata tunnelgeometri 27
Figur 11 Eksempel - tunnelprofil med tilhørende verdier 27
Figur 12 Eksempel - kontroll av beregninger - lengde..... 29
Figur 13 Eksempel - temperatur og trekk i modell 31
Figur 14 Eksempel - fartsendring gjennom tunnel med helning og stigning. 32
Figur 15 Eksempel – trykkbalanse uten ventilasjon..... 32
Figur 16 Eksempel - inngangsdata fra arkfane «Brann_A» 1. 34
Figur 17 Eksempel - inngangsdata fra arkfane «Brann_A» 2. 34
Figur 18 Eksempel - trykkverdier ved dimensjonerende brann. 35
Figur 19 Eksempel - dimensjonerende vindhastighet for branner 36
Figur 20 Eksempel - varmetap og overflatetemperatur for ulike material. 37
Figur 21 Vertikalkurvatur - Hitratunnelen 39
Figur 22 Inngangsdata for ventilasjon - Hitratunnelen. 40
Figur 23 Fartsprofil for kjøretøy fra fastlandet til Hitra – Hitratunnelen. 40
Figur 24 Utforming av havarinisjer - Hitratunnelen 41
Figur 25 Brannventilasjon Fastlandet – Hitra – Hitraunnelen. 41
Figur 26 Brannventilasjon Hitra – Fastlandet – Hitraunnelen. 42
Figur 27 Plassering viftepar etter modell – Hitratunnelen. 42
Figur 28 Kødannelse og dimensjonerende kjøretøy - Hitratunnelen 42
Figur 29 Vertikalkurvatur - Frøyatunnelen 43
Figur 30 Inngangsdata for ventilasjon - Frøyatunnelen. 44
Figur 31 Fartsprofil for kjøretøy fra Dolmøya til Frøya – Frøyatunnelen. 44
Figur 32 Utforming av havarinisjer – Frøyatunnelen..... 44
Figur 33 Brannventilasjon Dolmøya – Frøya – Frøyatunnelen..... 45
Figur 34 Brannventilasjon Frøya – Dolmøya – Frøyatunnelen..... 45
Figur 35 Plassering viftepar etter modell – Frøyatunnelen. 46
Figur 36 Konsentrasjon av dimensjonerende luftkvalitet 47
Figur 37Dimensjonerende trekk og styrt ventilasjon for luftkvalitet 47
Figur 38 Eksempel fra modell - Positiv trykkbalanse ved brann 1900 m fra portal 48
Figur 39 Eksempel fra modell - Temperatur og trekk ved brann 1900 m fra portal 48
Figur 40 Eksempel fra modell - Negativ trykkbalanse ved brann 400 m fra portal..... 48
Figur 41 Resultat fra luftkvalitet - Hitratunnelen 49
Figur 42 Luftkvalitet ved 2,0 m/s trekk – Fastlandet – Hitra – Hitratunnelen 49
Figur 43 Luftkvalitet ved 2,0 m/s trekk – Hitra – Fastlandet – Hitratunnelen 49
Figur 44 Resultat - Brannventilasjon - Fra Hitra ved brann 1950 m fra portal – Hitratunnelen 50

Figur 45 Resultat - Temperatur og trekk - Fra Hitra ved brann 1950 m fra portal – Hitratunnelen 50
Figur 46 Resultat fra luftkvalitet - Frøyatunnelen 51
Figur 47 Luftkvalitet ved 2,0 m/s trekk – Dolmøya – Frøya – Frøyatunnelen 51
Figur 48 Luftkvalitet ved 2,0 m/s trekk – Frøya – Dolmøya – Frøyatunnelen 51
Figur 49 Resultat - Brannventilasjon - Fra Frøya ved brann 1050 m fra portal – Frøyatunnelen 52
Figur 50 Resultat - Temperatur og trekk - Fra Frøya ved brann 1050 m fra portal – Frøyatunnelen 52
Figur 51 Anbefaling av kapasitet for nye vifter - Hitratunnelen 59
Figur 52 Dimensjonerende kjøretøy (Vegdirektoratet 2013) 59

Formel 1 Trykkbidrag fra naturlig vind og oppdrift (Vegdirektoratet 2010, 109) 12
Formel 2 Dimensjonering av viftekapasitet (Vegdirektoratet 2010, 129) 12
Formel 3 NO_x-produksjon (Vegdirektoratet 2010, 102) 30
Formel 4 Siktreduserende sot- og støvpartikler, PM_{10} (Vegdirektoratet 2010,102) 30
Formel 5 Dimensjonerende trekk i tunnel (Vegdirektoratet 2010, 103) 30
Formel 6 Beregning av forskjellig trykktap (Vegdirektoratet 2010, 105) 31
Formel 7 Trykktap som følge av meteorologiske ventilasjonskrefter (Vegdirektoratet 2010, 105) 31
Formel 8 Stempel effekt fra kjøretøy – toveistrafikk (Vegdirektoratet 2010, 106) 32
Formel 9 Stempel effekt fra kjøretøy – enveistrafikk (Vegdirektoratet 2010, 106) 32
Formel 10 Dimensjonerende skyvkraft (Vegdirektoratet 2010, 106) 33

Tabell 1 Oversikt over hovedkategorier i tunnesikkerhetsforskriften 6
Tabell 2 Dimensjonerende konsentrasjon av NO_2, NO, CO og siktforurensning (Vegdirektoratet 2010, 90) 10
Tabell 3 Krav til konstruksjoners brannmotstand (Vegdirektoratet 2010, 59) 11
Tabell 4 Dimensjoneringskrav for brannventilasjon i tunneler med stigning $\leq$ 2% (Vegdirektoratet 2010, 91) 11
Tabell 5 Hendelser forbundet med tunnel i ROS-Hitra og –Frøya (Hitra kommune, 6-20) 15
Tabell 6 Oversikt over nisjer i Hitratunnelen (Statens vegvesen 1999) 18
Tabell 7 Utforming av nisjer Hitratunnelen. (Statens vegvesen 1999) 18
Tabell 8 Oversikt over nisjer i Frøyatunnelen (Statens vegvesen 1998) 21
Tabell 9 Utforming av nisjer Frøyatunnelen. (Statens vegvesen 1998) 21
Tabell 10 Korreksjonsfaktorer ved kjøring i stigning (Vegdirektoratet 2010, 101) 30
Tabell 11 Eksempel - oppbygging av havarinisjer 33
Tabell 12 Plassering viftepar med avstand til neste viftepar – Frøyatunnelen. 45
Tabell 13 Resultat – Brannventilasjon – Hitratunnelen 50
Tabell 14 Resultat – Brannventilasjon – Frøyatunnelen 52
Tabell 15 Anbefaling av plassering for nye viftepar - Hitratunnelen 58
Tabell 16 Anbefaling av plassering for nye trafoer - Hitratunnelen 58
Tabell 17 Eksempel på kostnader for oppgraderingsbehov – 2016 priser 60

Vedlegg

1. Oppgavetekst
2. Resultater fra modellering – Eksisterende situasjon
3. Resultater fra modellering – Ny situasjon
4. Inngangsdata og beregninger i modellen
5. Måling av ventilasjonshastighet i Frøyatunnelen
6. Årsdøgntrafikk med stedsnavn

Innledning

Per i dag er det litt over 1150 tunneler i Norge. Av disse er ca. 400 over 500 meter, hvorav den eldste trafikkerte tunnelen er fra 1959, Blaksettunnelen II, i Sogn og Fjordane. Siden den gang har fokus på sikkerhet, miljøkonsekvenser, levetidskostnader med mer ført til økt standard og endringer ved flere tunneler.

Den siste større endringen kom med «Forskrift om minimum sikkerhetskrav til visse tunneler på fylkesvegnettet og kommunalt vegnett i Oslo» (Tunnelsikkerhetsforskrift for fylkesveg m.m. 2014) som trådde i kraft 1.1.2015.

I løpet av 2019 skal alle tunneler over 500 meter på riks- og fylkesveger oppgraderes med tanke på tunnelsikkerhetsforskriften. Enkelte fylker vil ha lenger tid for å gjennomføre tiltakene grunnet store mengder av tunneler.

De første vegtunnelene ble bygd i siste halvdel av det 19-århundre. Når biltrafikken ble en større del av transportmiddelet ble fokuset på CO og tilførsel av frisk luft noe som fikk mer og mer fokus. Amerika og Sveits var tidlig ute med å planlegge for kunstig ventilasjon, så tidlig som midten av 50-tallet. (Frøholm 1970)

Statens vegvesen omtaler krav til ventilasjon for friskluft i håndbok Vegtunneler fra 1992 (Vegdirektoratet 1992), men bok om vegbyggingsteknikk (Tambs-Lyche 1972) tilsier at tunneler ble bygd med ventilasjon fra 1970-tallet. Kravet til brannventilasjon kom i håndbok Vegtunneler fra 2002 (Vegdirektoratet 2002).

Problemstilling

Gjennom tunnelsikkerhetsforskriften stilles ulike krav til ventilasjon. Hitra- og Frøyatunnelen i Sør-Trøndelag er fra hhv. 1994 og 2000. Kapasiteten til ventilasjonsanlegget ble dermed ikke omfattet av krav til brannventilasjon, og denne studien skal gi svar på om kravet er oppfylt eller om oppgradering må utføres.

Målet for studien er dermed å vurdere hvor langt dagens ventilasjonsanlegg tilfredsstiller kravene til Statens vegvesens håndbok N500 Vegtunneler og komme med en anbefaling til vegeier om videre oppgraderingsbehov for begge tunnelene.

For å gi en god anbefaling velger jeg å utfylle studien med det jeg mener er nødvendig, for beslutningstakere og interessenter, slik at resultatene kan vurderes for et overordnet perspektiv med tanke på tunnelsikkerhetsforskriften for fylkesveger m.m. Oppgaven skal svare på følgende spørsmål:

1. Hva er tunnelsikkerhetsforskriften?
2. Hvilke sikkerhetsbestemmelser finnes det og hvile aktører har du for vegtunneler i Norge?
3. Hva skal et ventilasjonsanlegg i vegtunneler håndtere og hvilke krav stilles i dag?
4. Tilfredsstiller ventilasjonsanlegget i Hitra- og Frøyatunnelen dagens krav? Og hva finnes av sikkerhetsutrustning utover ventilasjonsanlegg?
5. Dersom ventilasjonsanlegget ikke tilfredsstiller dagens krav, hvilke muligheter har vegeier for å utbedre ventilasjonsanlegget i tunnelene?

Metode

Studien besvarer spørsmålene ved hjelp av fagpersoner og litteratur. Fagpersonene som er kontaktet har en stor bredde i fagfeltet, og spesielt med tanke på brannsikkerhet. Spennet dreier seg fra forsker på internasjonalt nivå innen ventilasjon av tunneler, brannsjefer i kommuner og til byggeledere hos Statens vegvesen som byggherre for tunnelene, i tillegg til veiledere fra NTNU og Statens vegvesen.

Dokumentasjon av ventilasjon i tunneler finnes det mange rapporter på, spesielt med tanke på brannventilasjon er det gjennomført mange forsøk, blant annet har Statens vegvesen en testtunnel, Runehamartunnelen, som er benyttet i flere studier. Faglitteratur gjennom journaler, håndbøker, retningslinjer, bøker og presentasjoner er benyttet, i tillegg til supplering av informasjon på internett.

Gjennom veiledere og ressurspersoner i Statens vegvesen har jeg kommet i kontakt med personer som kan utdype spørsmål og problemstillinger. Gjennom brannvernleder i Statens vegvesen kom jeg i kontakt med varabrannsjef i Frøya kommune som igjen kontaktet brannsjef i Hitra kommune. Intervju ble gjennomført som en åpen diskusjon med brannsjefene som blir underlagt Hitra- og Frøyatunnelen. Gjennom første faglige veileder i Statens vegvesen kom jeg i kontakt med professor i SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut. Byggeledere i Statens vegvesen Sør-Trøndelag satt meg i kontakt med fagekspert, i Statens vegvesen, på beregning av ventilasjonsanlegg for vegtunneler, denne personen ble etter hvert lokal veileder.

Tilgang til nødvendig dokumentasjon ble innhentet gjennom Statens vegvesens interne kommunikasjonsportaler og kvalitetssystem. I tillegg ble dokumentasjon som ikke var elektronisk lagret hentet fra Statens vegvesens arkiver. Annen dokumentasjon ble søkt etter gjennom BIBsys og lastet ned fra internettsider fra statlige foretak som for eksempel direktoratet for sikkerhet og beredskap.

Til beregning av ventilasjonsanlegget benyttet jeg meg av en ferdigutviklet regnearkmodell som er utarbeidet av fagperson i Statens vegvesen. Ved hjelp av håndbok N500 og spørsmål til lokalveileder ble modellen analysert. Inngangsdata er hentet fra tegninger og sluttdokumentasjon av tunnelene, erfaringer fra lokalkjente, erfaringstall fra fagperson i Statens vegvesen og faglig vurdering av parametere som vil gi utslag på beregningene.

Referanseliste er på slutten av oppgaven.

Oppgavens oppbygging

De første 3 spørsmålene i studien besvares i første kapittel Tunneler

For å svare på spørsmål 4 måtte data om tunnelene innhentes og dette finnes som en oppsummering i kapittel Om Hitratunnelen og Om Frøyatunnelen, ønsker du fullstendig oversikt over eksisterende tunneler må dette hentes fra flere kilder enn denne studien.

For å vurdere om kravene var oppfylt måtte dette beregnes, og for å gjøre dette har jeg brukt ferdigutviklet beregningsverktøy. I kapittelet Modellering og beregning blir disse beregningene forklart mer i detalj og hvilke alternative metoder som kan benyttes. Gjennom kapittel Modellering av Hitratunnelen og Modellering av Frøyatunnelen blir inngangsdata forklart og deler av resultatet er gitt i kapittel Resultat etter modellberegning. Komplett resultat og verdier finnes i vedlegg.

Gjennom intervju og litteraturstudie er tematikken kartlagt for å gi en anbefaling til vegeier. Forsøk for måling av lufthastigheten i Frøyatunnelen har vært nyttig for å kartlegge problemstillinger som må vurderes nærmere. Det siste spørsmålet er besvart i siste kapittel Oppsummering og anbefaling, det er vanskelig å gi en fullgod anbefaling og resultatene her bør legges til høring hos aktører som vil bli påvirket av tunnelsikkerhetsforskriften. Sikkerhet er et tema som er vanskelig å sette to strekker under. Det er ofte en avveining mellom den totale risikoen som foreligger på det gitte tidspunkt, som er avgjørende for beslutningen.

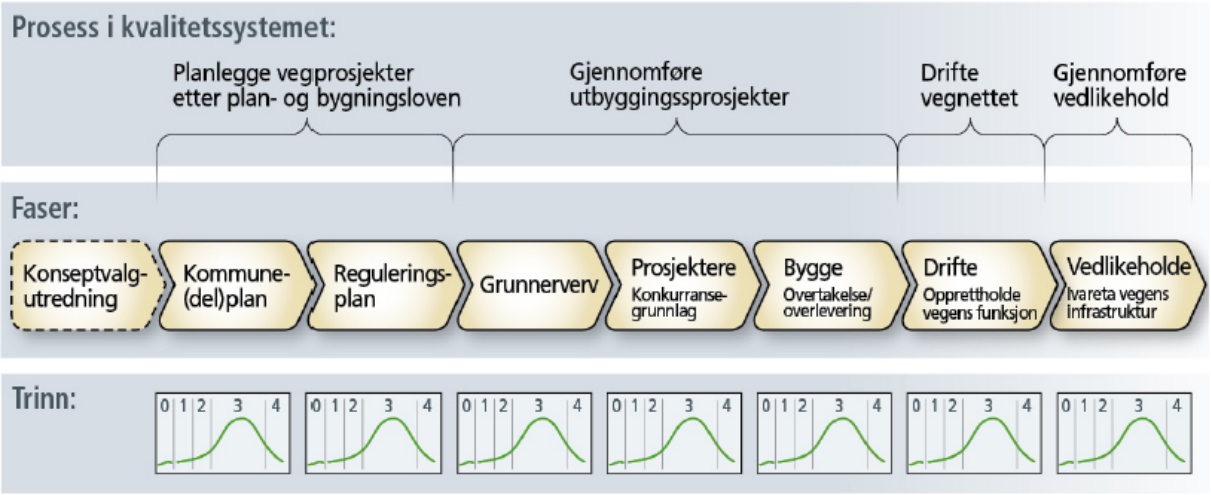
Tunneler

Samfunnsnytten og kompleksiteten

I dagens samfunn er det mange ideer, der ønsket er «et effektivt, tilgjengelig, sikkert og miljøvennlig transportsystem som dekker samfunnets behov for transport og fremmer regional utvikling». Dette er det overordnede målet Samferdselsdepartementet gir Statens vegvesen i tildelingsbrevet (Samferdselsdepartementet 2016). Interessekonflikter er en stor del av demokratiet som gjør at det å bygge en vegtunnel ikke nødvendigvis er det mest optimale.

I bok for vegbyggingsteknikk *Bruer, ferjeleier og tunnel* står det i innledningen for kapittelet om Tunnel «… Å legge veg i tunnel bør ikke være den første løsningen man tenker på. En slik løsning kommer inn i bildet bare når åpen linjeføring av trasémessige eller terrengmessige grunner byr på store problemer.» (Tambs-Lyche 1973, 79). Siden den gang har tunnelbygging blitt mer og mer vanlig, en av hovedårsakene til dette er redusert reisetid som gir stor samfunnsøkonomisk nytte etter dagens beregningsmodeller (Vegdirektoratet 2014, 77), i tillegg til store teknologiske utviklinger. Bedre kurvatur eller fjerning av ferjesamband fører til høyere gjennomsnittshastighet.

Før du kan kjøre gjennom en tunnel er det en lang prosess som er utført, som vist i figur 1.



Figur 1 Prosjektstyring - Prosess, faser og trinn. (Vegdirektoratet 2012b, 6)

Dette systemet skal ivareta at du som trafikant kan stole på beslutningene myndigheter og fagkyndige utfører, og dermed at du kan stole på at din daglige bruk av vegnettet blir utnyttet best mulig.

Tunneler er i dag trolig den mest tekniske delen av vegnettet, grunnet flere av dagens krav. Vegtunneler har 15 lover eller forskrifter som har eller kan få betydning for byggingen. I tillegg til geotekniske, estetiske og dimensjonerende hensyn er sikkerheten i tunneler et viktig aspekt av tunnelbygging. DSB har med Statens vegvesen utarbeidet retningslinjer for saksbehandling og ivaretakelse av brann- og elsikkerhet i vegtunneler, dette blir nærmere omtalt senere kapittelet.

Behovet av planer og involvering av aktører er vesentlig i all gjennomføring i dag, men er du kjent med plan- og bygningsloven (pbl.), vegloven, brann og eksplosjonsvernloven, el-tilsynsloven og internkontrollforskriften er du langt på veg.

	Tunneleier skal	Kommunen som branvernnmyndighet skal
Regionale planer og kommune(del)planer	Legge fram for kommunens brannvernmyndighet: - aktuelle traséalternativer, herunder aktuelle tunnelstrekninger - grov risikovurdering * - egne vurderinger av behovet for brannsikkerhetstiltak, med grunnlag i håndbok 021 Vegtunneler	Orientere tunneleier om ev. behov for brannsikringstiltak ut over det tunneleier har foreslått.
Reguleringsplan	Legge fram for kommunen og brannvesenet: - aktuelle reguleringsplanløsninger - risikoanalyser* - egne vurderinger av behovet for brannsikkerhetstiltak, med grunnlag i «vegtunnelnormalene» - en detaljert oversikt over forslag til fysiske løsninger, brannsikkerhetsutstyr i tunnelen og beredskapsmessige forhold	Orientere tunneleier om evt. behov for brannsikringstiltak ut over det som er foreslått av tunneleier. Sørge for at kommunen gir DSB varsel i tilfeller hvor det er vesentlig konflikt mellom tunneleier og kommunen som brannvernmyndighet om brannsikkerhetsforhold.

* Se Veileder for risikoanalyser av vegtunneler (TS 2007:11) Risikovurdering/risikoanalyse forutsettes å være en del av risiko- og sårbarhetsanalysen som skal utarbeides for planen, jf. plan- og bygningsloven § 4-3)

Figur 2 Kap. 3.5 Retningslinjer for saksbehandling og ivaretakelse av brann og elsikkerhet i vegtunneler. (DSB 2011)

Tunnelsikkerhetsforskriften

Historikk

Etter flere storbranner i tunneler i Europa i 1999 og 2001, hvor flere menneskeliv gikk tapt, har fokuset på sikkerhet i tunneler fått stadig økt fokus. I *White paper «European transport policy for 2010: time to decide»* (European Commission 2001) står det om forslag til minste standard for sikkerheten i tunneler langs Trans-European Road Network. En kommisjon i EU skulle se på gitte minimumskrav for sikkerheten. Hvert EU-land skulle stille med en eller flere representanter med myndighet til å se til at direktive lot seg gjennomføre. Målet med direktivet var å sikre alle tunneler lenger enn 500 meter, som trafikkeres, bygges eller planlegges, innenfor TERN[1] skal følge direktivets minimumskrav.

Direktiv 2004/54/EC (EU-parlament 2004) av det Europeiske parlamentet og råd av 29. april 2004 ble vedtatt 29. april 2004 og trådte i kraft for medlemslandene 30. april 2006. Direktivet ble senere besluttet i EØS-komiteen den 27. januar 2006 som en del av EØS-avtalen. Stortinget samtykket proposisjonen den 13. juni 2006 og tunnelsikkerhetsforskriften ble vedtatt og trådte i kraft 15. mai 2007. Denne forskriften var kun gjeldende for tunneler på riksveger, men den 10. desember 2014 ble dette en konsekvens for tunneler på fylkesvegnettet og kommunalt vegnett i Oslo, med ikrafttredelse den 1. januar 2015. Tunnelsikkerhetsforskriften er så å si identisk med direktivet.

Etter den tid har Statens vegvesen startet arbeidet med å kartlegge tilstanden og sikkerhetsutrustningen i dagens tunneler og sammenliknet dette med kravene i forskriften. Metodene for kartleggingen har hovedsakelig vært lik, men arbeidet er krevende for å vurdere om eksisterende infrastruktur tilfredsstiller forskriften eller ikke. Ventilasjonsanlegg er spesielt her, siden oppgaven til ventilering har utviklet seg med årene. Ventilasjonsanlegg skal sørge for kontroll med luftkvaliteten, men det er ikke gitt at ventilasjonsanlegget kan styres i tilfelle brann, grunnet kravene har forandret seg.

Frem til 2002 har håndbøker fokusert på luftkvaliteten i tunnelen ved dimensjonering av ventilasjonsanlegget. I de første årene var det den giftige gassen CO og sikten i tunnelen som var vesentlig, senere ble NO_2 en del av grenseverdiene og i normal for vegtunneler i 2002 ble kravet om brannventilasjon definert.

[1] Trans-European Road Network.

Forskriftens krav skal være oppfylt innen 1. januar 2020. Statens vegvesen jobber nå med planlegging av gjennomføringen, og dermed er det behov for å vurdere tilstanden på eksisterende tunneler.

Om tunnelsikkerhetsforskriften

Tunnelsikkerhetsforskriftens virkeområde er tunneler med lengde over 500 meter, med gjennomsnittlig ÅDT[2] på 300 kjøretøy eller mer. Ved særlige grunner kan tunneler med ÅDT under 300 òg bli omfattet av forskriften.

Forskriften tar for seg rollene innenfor forvaltningsmyndighet, tunnelforvalter og sikkerhetskontrollør. Videre er det oppgaver som ansvaret for å holde inspeksjoner og hyppighet av disse, hvilke sikkerhetstiltak som kreves og hvordan en risikoanalyse skal utføres. Hvordan oppfølgingen skal skje med nyskapende teknikk, eksisterende tunneler, rapportering og ikraftsettelse er på slutten av forskriften.

§ 8. Sikkerhetstiltak refererer til to vedlegg som gir nærmere føringer for hvilke tiltak som må gjøres. Vedlegg I går ut på konkrete sikkerhetstiltak mens vedlegg II går mer på prosesser for tunnelen sin bruk gjennom levetiden. Inndelingen av hovedkategorier er vist i tabell 1.

Vedlegg I	Vedlegg II
1. Grunnlaget for å vedta sikkerhetstiltak	1. Godkjenning av konstruksjon
2. Tiltak angående infrastruktur	2. Sikkerhetsdokumentasjon
3. Driftsmessige tiltak	3. Idriftsetting
4. Opplysningskampanjer	4. Endringer
	5. Jevnlige øvelser

Tabell 1 Oversikt over hovedkategorier i tunnesikkerhetsforskriften

Tiltak angående infrastruktur, punkt I-2, er den delen som er mest kostnadskrevende for eier av tunnelen, som blir forvaltningsmyndighet etter forskriften.

Konsekvenser for eksisterende tunneler

Det er hovedsakelig infrastruktur som er konsekvensene av tunnelsikkerhetsforskriften for tunneleier. Statens vegvesen, med delegert myndighet fra fylkeskommunen, har i samarbeid med brannmyndighetene og andre utrykningsenheter i dag et system for å ivareta eksisterende tunneler. Dette spenner seg fra inspeksjoner utført av fagenheter i Statens vegvesen, overvåkning i driftsfasen utført av entreprenører og Vegtrafikksentralen, i tillegg til øvelser mellom Statens vegvesen, politi, brannvesen og ambulansepersonell.

Ventilasjon er da et av sikkerhetstiltakene, og det kommer inn under punkt,

> *2.9.1 Konstruksjon, bygging og drift av ventilasjonssystemet skal ta hensyn til:*
>
> - *kontroll med forurensede stoffer som slippes ut fra veggående kjøretøyer, under normale trafikkforhold og trafikksterke perioder,*
> - *kontroll med forurensede stoffer som slippes ut av veggående kjøretøyer når trafikken stanses på grunn av en hendelse eller ulykke,*
> - *kontroll med varme og røyk i tilfelle brann.*

[2] Årsdøgntrafikk.

Det er spesielt siste punkt som medfører den største endringen, da tidligere krav om ventilasjon ikke tok høyde for brannventilasjon. Nærmere om ventilasjon omtales senere i kapittelet.

Roller og ansvar i forbindelse med vegtunneler

Tunnelsikkerhetsforskriften oppgir mange ulike roller som omtalt. I Norge er disse rollene litt blandet og det er ikke like enkelt å forstå om det er Statens vegvesen som er ansvarlig for situasjonen eller om det er brannvesenet eller Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB) som er ansvarlige. I 2011 utarbeidet DSB i samarbeid med Statens vegvesen retningslinjer for saksbehandling og ivaretakelse av brann- og elsikkerhet i vegtunneler (DSB 2011).

Statens vegvesen har flere roller i forbindelse med tunneler i Norge. Alle tunneler som eksisterer eller blir bygd på riks- og fylkesveger har Statens vegvesen gjennom felles vegadministrasjon ansvar for å forvalte og drifte tunnelene.

Fylkeskommunen er forvaltningsmyndighet for fylkesveger, det vil si at fylkeskommunen står som eier av vegnettet og gjennom budsjetter sørger fylkeskommunen for at ansvaret blir håndtert på en forsvarlig måte. Statens vegvesen har ansvaret av dette for riksveger gjennom tildelingsbrevet fra Samferdselsdepartementet.

Statens vegvesen får ansvaret delegert fra fylkeskommunen og skal rapportere til fylkeskommunen om status på kvalitet, HMS, framdrift og økonomi innenfor det handlingsrommet som blir gitt.

Gjennom felles vegadministrasjon, har staten og fylkeskommunen sørget for at Statens vegvesen skal håndtere ansvaret på en enhetlig måte uavhengig av vegeier. For eksempel så overvåker Vegtrafikksentralen (VTS) vegnettet i dag og sørger for informasjon til trafikantene gjennom trafikkmeldinger. For tunneler skal for eksempel det tekniske utstyret være tilkoblet en datamaskin som sender beskjed til eier av tunnelen om noe er feil. Dersom det oppstår en feil så har Statens vegvesen inngått kontrakter med entreprenører som dermed blir kalt ut på oppdrag for å rette feilen. Feil loggføres og oppdateres i forvaltningsprogrammet til Statens vegvesen. På denne måten har vegeier muligheter til å forebygge sikkerheten skulle det skje noe i tunnelene.

Statens vegvesen ved regionskontorene har rollen som tunnelforvalter for alle tunneler på riks- og fylkesveger. I tillegg til å følge opp ansvaret ute for hver tunnel, har Statens vegvesen på etatsnivå, det vil si Vegdirektoratet, myndighet fra Samferdselsdepartementet å utøve fagansvaret på vegsiden. Dette reguleres òg gjennom tildelingsbrevet. Dette innebærer for eksempel å ivareta at tunnelsikkerhetsforskriften blir fulgt opp i det den regulerer, gjennom rollen som tunnelforvaltningsmyndighet.

Kommunene er lokalforvaltningsansvarlig når det kommer til saker som omhandler brann- og eksplosjonsvernloven og plan- og bygningsloven. For plan- og bygningsloven er dette, blant annet, oppfølging av kommunedelplan eller reguleringsplan, all regulering av veg skal inneha en konsekvensutredning i tillegg til en risiko- og sårbarhetsanalyse for planene. Statens vegvesen kan utarbeide plangrunnlaget, men skal vedtas av kommunen. Siden reguleringsplan ikke kan gi bestemmelser til driftsfasen er det viktig at forhold blir tatt opp på et tidligst mulig tidspunkt for å unngå misforståelser med tanker på brannsikkerhetskrav for eksempel.

Kommunen eller brannvesenet skal identifisere og holde tilsyn med blant annet brannvernet i tunneler. Tunneler er ofte karakterisert som brannobjekt kategori A gitt av DBS, som er den høyeste kategorien for bygninger/objekter som kan føre til tap av mange menneskeliv. DSB har et sentralt forvaltningsansvar etter brann- og eksplosjonsvernloven i tillegg til lov og tilsyn med elektriske anlegg og utstyr.

El-loven skal sikre at elektriske anlegg og utstyr ikke utgjør en fare for liv og helse. For tunneler er det mye elektrisk utstyr i tunneler og for lengre tunneler er det ofte trafo-stasjoner inne i tunnelen som må sikres for å redusere faren for røykutvikling, brann eller eksplosjon. DSB forholder seg alltid til eier av det elektriske anlegget dersom det er krav om utbedring av feil eller mangler. For lavspent anlegg er det hovedsakelig det lokale nettselskap som er tilsynsmyndighet.

Når det planlegges og skal bygge for eksempel en tunnel, og Statens vegvesen er tiltakshaver følges samme regelverket som det er for andre bygg og anleggsvirksomheter. I reguleringsplanen skal det som sagt avklares branntekniske detaljer, denne detaljeringen kommer frem gjennom å bygge veganlegg etter kravene som står i Statens vegvesens håndbøker. Håndbok N500 presiserer kravene det er til bygging av vegtunneler, disse kravene skal sørge for at tunnelsikkerhetsforskriften er oppfylt. Håndboken dekker nødvendigvis ikke alle stedlige forhold og dette bør komme fram i en risikovurdering og samarbeidet med brannvesenet er viktig skal sikkerhetsgodkjenningen for tunnelen være oppfylt. Generelt er alt vegarbeid regulerer gjennom håndbøker, og Statens vegvesen har den totale samfunnsmessige sikkerheten av anlegget, dermed skal brannsikkerheten òg være dekket i byggeplanene.

Når en tunnel er ferdig og alle sikkerhetsdokumentasjon er fullført kan tunnelen åpnes for trafikk. For den daglige driften er det brannvesenet som har må innrette sin innsats etter dimensjoneringsforskriften, tunneleier må sørge for at brannvesenet får tilstrekkelig beredskapsøvelse i tunnelene. I tillegg skal brannvesenet føre tilsyn ved å gå gjennom sikkerhetsutrustningen og historikken til tunnelen, gjennom tunnelens brannbok. Tunneleier skal se til at inspeksjoner av tunneler gjøres regelmessig, tidsrommet mellom hver inspeksjon skal ikke oversige 6 år.

N500 Vegtunneler

«Normalen omfatter alle forhold ved gjennomføring av et vegtunnelprosjekt, fra tidlig planlegging til ferdig produkt, samt drift og vedlikehold.» (Vegdirektoratet 2010, 1). N500 er delt inn i 12 kapittel med 5 vedlegg.

Siden oppgaven tar for seg ventilasjon nevnes de viktigste kapitelene som omhandler dette. Vesentlige punkter for ventilasjonsanlegget er som følger:

- 3.9 Utslipp av gasser og partikler
- 5.2.2.1 Nødstrømanlegg
- 5.3.2.1 Forhåndsprogrammerte tiltak
- 5.4.2 Brannmotstand. Krav til konstruksjoner
- 7.5.2 Frostinntrengning
- 10.4 Ventilasjon
- Vedlegg C – Ventilasjon
- Vedlegg D – Beregningsmodell for brannventilasjon

Det er hovedsakelig kapittel 10.4 og vedleggene som må vurderes opp mot kravene i vedlegg II, punkt 2.9.1, under tunnelsikkerhetsforskriften.

Om ventilasjonsanlegg

> «Ventilasjonsanlegg skal sikre akseptabel luftkvalitet i tunnel og sjakt for trafikanter og personell som skal utføre drifts- og vedlikeholdsoppgaver ved å holde konsentrasjonen av CO, NO^2 samt siktreduserende forurensning under foreskrevne grenseverdier.
> Ventilasjonsanlegg skal ventilere tunnel ved brann i tunnelen ved å styre ventilasjonen i forutbestemt retning.» (Vegdirektoratet 2012a, 61)

For å sikre ventilasjon i tunneler er det ofte behov for mekanisk ventilasjon, derav naturlig ventilasjon ikke er mulig å kontrollere eller styre i ønsket retning. Den naturlige ventilasjonen kan derimot bidra til å redusere energiforbruket, og god planlegging og stedlige forhold kan være avgjørende for langtidskostnaden for tunnelen.

For å oppnå tilstrekkelig ventilasjon er det nødvendig med impulsventilatorer, som er den mest vanlige typen. Etter håndboken skal tunneler over 1000 meter ha mekanisk ventilasjonsanlegg når ÅDT er under 1000 kjøretøy per døgn. Dette er forskjellig fra forskriften, som sier 2000 kjøretøy per døgn.

Luftkvalitet

Forurensninger i tunneler blir påvirket av flere faktorer, som eksos fra kjøretøy, slitasje av vegdekke, bildekk, bremser og lokale utslipp i nærheten av tunnelen. Om vinter/vår er det erfaringer fra byggeledere, i Statens vegvesen, at strøsand/salt blir dratt inn i tunnelen.

Det er hovedsakelig NO_2 og CO konsentrasjonen som måles/registreres i forbindelse med luftkvalitet i tunneler, i tillegg registreres svevestøv med siktmålere eller observasjoner. Tunneler trenger regelmessig vask for å fjerne støv og sand som samles inne i tunnelen, som er hovedkilden til svevestøv. Vasking er i tillegg viktig for å redusere slitasje på det tekniske utstyret, fuktighet og høy konsentrasjon av forurensning skaper et korrosivt miljø. Dette støttes opp av rapport utarbeidet av Knudsen om korrosivbeskyttelse i tunneler (Knudsen 2015).

Målere av NO_2 og CO skal utløse alarmer dersom grenseverdier overstiges. Alarmene blir sendt til en overvåkningssentral, som gir beskjed til operatørene på Vegtrafikksentralen. Samtidig med alarmen bør/skal ventilasjonsanlegget starte automatisk, for å bedre luftkvaliteten.

Dimensjonerende konsentrasjoner av NO_2, NO, CO og siktforurensning er gitt i tabell 2.

	Dimensjonerende konsentrasjoner	Forutsetninger
NO_X	C_{NOx} = 15 ppm	Verdien er basert på en antatt NO_2-andel på 10 % av NOx. Ved større NO_2-andel må NOx-nivået senkes for å innfri kravet til NO_2-konsentrasjon.
NO_2	C_{NO2} = 1,5 ppm	Dersom NO_2-konsentrasjonen overstiger 0,75 ppm midt i tunnelen skal det utløses alarm på VTS, og ventilasjonsanlegget bør reguleres automatisk til maksimal kapasitet. Tunnelen skal stenges for trafikk hvis konsentrasjonen i midtpunktet ikke faller under 0,75 ppm i løpet av 15 minutter.
NO	C_{NO} = 13,5 ppm	Verdien er basert på en antatt NO_2-andel på 10 % av NOx
CO	C_{co} = 50 ppm	Dersom CO-konsentrasjonen overstiger 50 ppm skal tunnelen straks stenges for trafikk. Grunnen er at denne konsentrasjonen bare oppstår ved brann, stillestående kø eller ved alvorlig feil i ventilasjonsanlegget.
Sikt	C_{sikt} = 1,5 mg/m^3	Vekt av svevestøv (PM_{10}), det vil si partikler som er mindre enn 10/1000 mm.

Tabell 2 Dimensjonerende konsentrasjon av NO_2, NO, CO og siktforurensning (Vegdirektoratet 2010, 90)

NO_x og CO – skadeomfang

Nitrogendioksid eller nitrogenmonoksid, som kalles NO_x-gasser, påvirker luftkvaliteten for trafikanter/arbeidere og kan føre nedsatt lungefunksjon eller forverring av astma og bronkitt. Siden NO_2 hovedsakelig kommer etter forbrenning av drivstoff, og tunneler har redusert naturlig ventilasjon, er det dermed viktig å sørge for så lave verdier som mulig, slik at kortere opphold ikke fører til langvaring helseplager. NO_2 er òg et problem i større byer med mye trafikk.

Dersom en større andel av bilparken endres fra fossilt drivstoff til for eksempel elektrisitet vil utslippene dermed reduseres lokalt og gi bedre helsegevinst på sikt. (Luftkvalitet u.d.)

Karbonmonoksid, eller kullos, som er relativt godt kjent, er svært farlig ved inhalering. Gassen binder seg mye lettere til røde blodlegemer enn oksygen, som kan føre til manglende transport av oksygen rundt i kroppen, som igjen kan føre til hjertekrampe og økt risiko for hjerteinfarkt. (FHI 2013)

Det er derimot flere gasser som kan påvirke luftkvaliteten. I forbindelse med oppgradering av Ålesundstunnelene i slutten av 2006 stanset arbeidstilsynet Statens vegvesen for videre arbeid grunnet sikkerheten for arbeiderne. Et av momentene her var at det ikke var dokumentert hvilke andre gasser og støvpartikler som kan utvikle KOLS og andre luftveislidelser til arbeiderne. (Arbeidstilsynet 2007).

Brannventilasjon

I forbindelse med brann skiller håndboken på brannsikring av utstyr og brannventilasjon. Siden oppgaven tar for seg ventilasjon blir brannsikring kort omtalt.

Avhengig av hvilken tunnelklasse du har skilles det mellom brannmotstand til utstyr og dimensjonerende brann for ventilasjon. Brannmotstand i utstyr skiller på tunnelklassene etter tabell 3 og brannventilasjon skiller på tunnelklasse og lengde, hvor økt lengde gir høyere dimensjonerende branneffekt etter tabell 4.

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

Tabell 3 Krav til konstruksjoners brannmotstand (Vegdirektoratet 2010, 59)

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

Tabell 4 Dimensjoneringskrav for brannventilasjon i tunneler med stigning ≤ 2% (Vegdirektoratet 2010, 91)

Tunneler under 2 % stigning er det minimum lufthastighet som styrer dimensjoneringskrav.

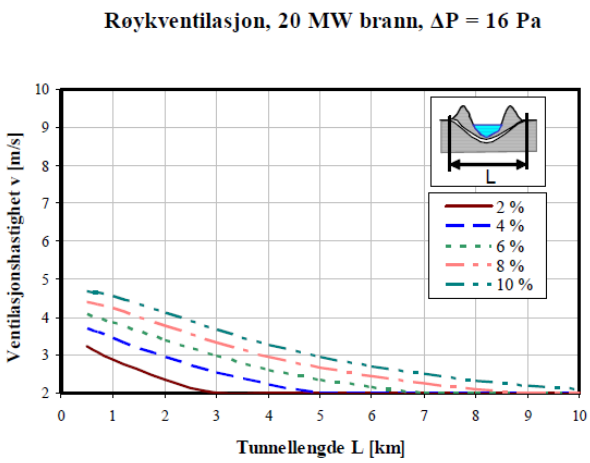
Tunneler over 2 % stigning skal ventilasjonsanlegget dimensjoneres etter beregningsmodell vedlegg D. Det bør vises til flere lokasjoner for dimensjonerende brann, hvor det synliggjør trykkfordeling og røyktemperatur når endelig dimensjonering er gjort.

«Ventilasjonsanlegget skal dimensjoneres for en brann som øker jevnt fra null til dimensjonerende effekt over 5, 10 eller 15 minutter» (Vegdirektoratet 2010, 91). Det står videre at ventilasjonsretningen må avklares med brannmyndigheter, og at ventilasjonen bør pekes oppover for å redusere konsekvensene ved oppdrift, i tillegg kan brannen vare lenger enn dimensjoneringsgrunnlaget på 60 minutter.

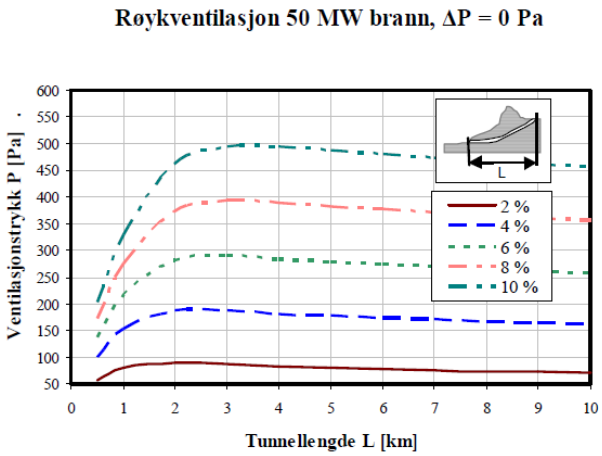
For mer komplekse tunneler bør ventilasjonsanlegget settes opp etter faste programmer for styring, dette kan være for å sørge for et overtrykk i rømningstunneler eller at røyk ikke blåser inn i motgående løp for toløpstunneler.

I vedlegg D *Beregningsmodeller for brannventilasjon* er det listet opp hvilket utgangspunkt som ligger til grunn for modelleringen. Modellen baserer seg på noen forutsetninger som blant annet konstant helning og tverrsnittareal. Effekten av lokal oppdrift og sjikting av røykgassene like ved brannstedet neglisjeres er blant totalt 6 punkter for moderat brann som ligger til grunn i modellberegningen. Naturlig trekk gjennom tunnelen kompenseres med et trykkbidrag som beregnes etter formel 1 side 12.

I vedlegget er det lagt ved figurer for å beregne nødvendig ventilasjonshastighet og drivtrykk. Brannene er i størrelsesorden 20, 50 og 100 MW, og figurene i håndboken skiller på to typer tunneler, en for konstant stigning og en med helning og så stigning (undersjøiske tunneler), høyre hjørne, som i figur 3 og 4.



Figur 3 Eksempel røykventilasjon (Vegdirektoratet 2010, 114)



Figur 4 Eksempel røykventilasjon (Vegdirektoratet 2010, 117

Figurene i håndboken, figur 3 og 4, deler så videre i lengden på tunnelen, med dimensjonerende hastighet eller drivtrykk, og du kan grafisk finne ut hvor stor kapasitet ventilasjonsanlegget krever etter hvilken gjennomsnittlig stigning det er.

Δp, trykkbidraget, beregnes etter formel 1, dersom denne er positiv vil den virke i samme retning som en eventuell brann og øke kravet til viftekapasiteten.

Ligning (6):

$$\Delta p = \frac{1}{2} \cdot \rho_{ute} \cdot u_{\infty}^{2} + (\rho_{ute} - \rho_{inne}) \cdot g \cdot \Delta H$$

Formel 1 Trykkbidrag fra naturlig vind og oppdrift (Vegdirektoratet 2010, 109)

Figur 3 og 4 skiller ikke på plassering av brann. Brannen er plassert ved bunn og går gjennom hele tunnelen. Dette går imot anbefalingene om flere lokasjoner for brannsted. For undersjøiske tunneler gjelder plassering halve lengden, figur 3 vurderer dermed ikke ventilasjonsretningen i negativ helning og ventilering må kjøres mot eventuelt nærmeste nødutgang.

Avlesing av figur 3 gir deg minimum ventilasjonshastighet og figur 4 ventilasjonstrykk, høyere verdier en minimum vil det over tid overvinne naturlig trekk og kontrollere røyken.

Beregning av nødvendig skyvkraft gjøres med formel 2. Skyvkraften må overvinne drivtrykket som er lest av i figurene 3 og 4, og nødvendige sikkerhetsfaktorer og tunnelens tverrsnittareal.

Ligning (7):

$$P_V = \frac{n_s}{n_v} \cdot \Delta p_s \cdot A \quad [\mathrm{N}]$$

Formel 2 Dimensjonering av viftekapasitet (Vegdirektoratet 2010, 129)

Evakuering i tilfelle brann medfører dermed at en av nødutgangene vil bli sperret som følge av røykutviklingen. Dimensjoneringen slik det er fremstilt i håndboken tilsier dermed at ventilasjonsanlegget skal blåse røyken ut nærmeste ventilasjonsretning, dette kan gå i motsatt retning enn det som brannmyndighetene trenger i forhold til beredskap. Prinsippet for evakuering i tunneler er i dag basert på selvredningsprinsippet, noe som kan være krevede for

berørte. I enkelte tilfeller vil den forhåndsdefinerte ventilasjonsretningen være uhensiktsmessig.

Selvredningsprinsippet

En viktig faktor i en beredskapssituasjon er forståelsen av selvredningsprinsippet. Dette baserer seg på at ved evakuering av tunneler skal den som oppholder seg i tunnelen ta seg ut, i hovedsak på egenhånd, til sikret område i eller utenfor tunnel. (Vegdirektoratet 2010, 48) Når tunneldirektivet ble vedtatt hadde Norge merknader som ble hensyntatt i den endelige utformingen. «Dette gjaldt kravet til nødutganger, hvorav dette kravet fikk unntak dersom trafikkvolumet er under 4 000, og ikke 2 000, kjøretøy per felt i tunneler under 10 km. Forutsetningen er at sikkerheten blir minst like godt ivaretatt med alternative sikkerhetstiltak.» (Samferdselsdepartementet 2004).

Etter brannene i Gudvangatunnelen i 2013 og 2015 er det skapt diskusjon vedrørende sikkerheten og selvredningsprinsippet. Evalueringen av hendelsen i 2013 viste at berørte søker inn i rom, som telefonkiosker, inspeksjonsluker og liknende, når frykten tar overhånd. Når tunnelen fylles av røyk er det krevende å orientere seg samtidig som frykt for kvelning øker og panikken blir et faktum. Kunnskap om evakuering er svært sentralt, og rett informasjon underveis kan være et spørsmål om liv eller død. (NRK 2015) Dette støttes opp av rapport om brannen i Oslofjordtunnelen i 2011, til Statens Havarikommisjon for Transport (Statens Havarikommisjon 2013).

Hvilken utrusning som er nødvendig, eller hvordan beredskapen skal gjennomføres, er helt avgjørende dersom selvredningsprinsippet skal fungere. Ved hjelp av bedre overvåking, og styring av røyk i den retningen som sikrer best evakuering, kan risikoen for tap av menneskeliv reduseres. En slik vurdering kan derimot øke innsatstiden til brannmannskap for å slukke en brann, grunnet røyk.

Beskrivelse av ventilasjonsanlegg og kravspesifikasjoner

Når ventilasjonsanlegget er dimensjonert, og dette skal settes i bestilling, bruker Statens vegvesen prosesskoden som er en standard beskrivelsestekst for deres vegkontrakter. (Vegdirektoratet 2015)

Ventilasjonsanlegg kommer inn under hovedprosess 3 «Tunneler» og videre inn under 36.3 «Ventilasjon». Prosess 36 omhandler «Belysning, ventilasjon og sikkerhetsutrustning», beskrivelsen her er gjeldende for underliggende prosesser. Under prosess 36 er det kommentert noen hovedmomenter som er viktig for materialkrav, deriblant brannmotstand som nevnt tidligere.

Inndeling av korrosjonsklasse skilles for tunnelklassene A og B, som har lavere krav til korrosjonsbeskyttelse enn tunnelklassene for C, D, E, F og tunneler med spesielt korrosivt miljø som f.eks. undersjøiske tunneler. Festematerieller skal være av samme materialer som utstyr eller syrefast. Ved risiko for galvanisk korrosjon skal festemateriellet være galvanisk adskilt.

Prosess 36.3 «Ventilasjon» presiserer videre krav til leveransen. Kravet til motor, viftehjul, luftrettere, støydempere og festemateriell skal oppfylle korrosjonsklasse tilsvarende tunnelklasse A og B og dimensjoneres for minimum 20 års levetid. Motoren skal kunne stå på i minst 4,5 år ved full belastning og være støvbeskyttet og tåle spyling fra alle kanter. Lagertype og smurning velges slik at viftehjul skal kunne roteres fritt etter motoren er avslått,

og tåle temperaturer ned til -20°C. Luftrettere skal produseres av minimum 5 mm plater, og sikres mot vibrasjon og utmating. Ventilatorene skal være utstyrt med vibrasjonsvakt. Vibrasjonsdempere skal være av gummi og ventilatorene sikres for fall. Lydtrykknivået skal ikke overstige 85 dB(A), målt 3 meter og 45 graders vinkel fra ventilator.

Beregnet skyvkraft og temperaturklasse skal angis i den spesielle beskrivelsen eller vedlegg slik at tilbydere kan levere produsentuavhengige produkt som tilfredsstiller gitte krav.

Dokumentering av krav er ikke noe som kommer frem generelt, annet enn at dette skal leveres før ventilatorene settes i produksjon. Normalt foreligger det en prosjektering av ventilasjonsanlegget i byggeplan som tilbyder ofte bruker ved etablering av ventilasjonsanlegget.

I veiledningen til prosesskoden er det kommentert at det må defineres hvem som står som maskinprodusent med totalansvar, og dermed utstede samsvarserklæring for hele anlegget samlet iht. Forskrift om maskiner (Forskrift om maskiner 2009). Dette er viktig dersom ikke byggherren selv skal stå som ansvarlig for anlegget, for eksempel grensene mellom strømtilførsel fra forsyning/nødnett til motor og kommunikasjon til PLS[3] som overvåker og styrer anlegget.

Et større fokus på livsløpskostnader tilsier at det er behov for eier av tunnelen å se på flere aspekt enn bare tilfredsstille minimumskrav, her nevnes spesielt energiforbruk og service av ventilasjonsanlegg.

Beredskap og risiko- og sårbarhetsanalyse

I forbindelse med beredskap for tunneler er brannvesenet i kommunen trolig den viktigste faktoren for å avverge skadepotensialet ved en hendelse, i tillegg til Statens vegvesen, politi og ambulanse.

Beredskap for Hitra- og Frøyatunnelen

For kommunene Hitra og Frøya er det interkommunalt samarbeid for brannberedskap, det er kommunen som er brannmyndighet og kommunestyret avgjør størrelsen som er nødvendig. Totalt er det minst 16 i beredskap på Frøya og minst 32 i beredskap på Hitra. Brannstasjonen for Frøya er på Sistranda, hvor brannbiler fra hhv. 1992 og 2015, og utstyr, er stasjonert. For Hitra står det på Fillan 1 brannbil og på Sandstad er det 1 brannbil. Begge brannlagene har røykdykkere.

Begge kommunene styrer beredskapsledelsen etter angitte planer. Disse kan finnes på kommunene sine hjemmesider. Målet for disse planene er å sikre koordinering, og lede de kommunale oppgavene/tiltak når en krise oppstår. Kriser må søkes løses på lavest mulig nivå. Planene er generelle og det blir dermed ikke like relevant å sammenlikne planene opp mot en konkret krise i tunnel. Planene gir derimot generelle føringer for kommunen som supplerer aktiviteten fra en hendelse til normalsituasjon, blant annet *varslingsplan*, *fullmakter*, *informasjonsplan*, *evakuerings-* og *forpleiningsplan*.

En viktig del i beredskapen er risiko- og sårbarhetsanalysen til kommunen. Nyeste versjon fra Hitra og Frøya er fra 2015, og som de fleste kommuner som innehar tunneler, spesielt

[3] PLS; forkortelse for programerbar logisk styring. Er en datamaskin som gir kommandoer til teknisk utstyr.

undersjøiske tunneler, er disse kommentert med en risikomatrise som er en del av ROS-anaysen til kommunene.

Risiko- og sårbarhetsanalyse – Hitra og Frøya kommune

Risiko- og sårbarhetsanalyse for Hitra (Hitra kommune 2015) og Frøya kommune (Frøya kommune 2015) er omtrent identiske. Gjennom en ROS-analyse skal kommunene få et mer bevist forhold til hendelser som kan påvirke kommunens samfunnssikkerhet og beredskap. Som det står i ROS-analysen, bygges denne på fire prinsipper;

> *«**Ansvarsprinsippet** innebærer at den etat som har ansvar for et fagområde i en normalsituasjon, også har ansvaret for å håndtere ekstraordinære hendelser på området.*
> ***Likhetsprinsippet** innebærer at den organisasjon man opererer med til daglig skal være mest mulig lik den organisasjonen man har under kriser.*
> ***Nærhetsprinsippet** innebærer at kriser organisatorisk skal håndteres på et lavest mulig nivå.*
> ***Samvirkeprinsippet** innebærer samarbeid og samvirke for å sikre helhetlig og samordnet krisehåndtering på sentralt, regionalt og lokalt nivå.» (Hitra kommune, 2)*

Slike analyser har hovedsakelig mye informasjon om hvordan analysene gjøres, og forklaringer til hovedarbeidet som er kartlegging av hendelser, årsaken og konsekvensen. Deretter settes det opp en sannsynlighet og konsekvensgrad som danner risikoen. Når oppstillingen er gjennomført tas det en vurdering av hvilke tiltak som kan redusere den totale risikoen, og hvem som har ansvaret for dette.

I matrisen til Hitra og Frøya er det delt inn i 3 hendelsekategorier som er *naturhendelser*, *stor ulykke* og *tilsiktede hendelser*. En mindre kategori er *udefinerte hendelser*.

Oppgaven tar for seg tunneler, andre hendelser som ikke angår tunneler er dermed ikke listet opp. Oversikt av hendelse med tilhørende risiko og risiko etter tiltak kan sees i tabell 5. Det påpekes at enkelte hendelser i matrisen fremhever tunneler som et risikoreduserende tiltak.

Hendelse	Risiko	Risiko etter tiltak
Naturhendelse		
- Bortfall av el. kraft	20	9
- Ras som stenger fylkesvei 714	20	8
Stor ulykke		
- Brann i tunnel. Herunder ulykke med godstrafikk	20	20
- Ulykke knyttet til persontransport. Buss o.l.	20	12
- Bortfall av el. Kraft	20	9
- Ras som stenger fylkesvei 714	15	8
- Stengt tunnel som følge av stor ulykke	12	9
- Hindret/ vanskeliggjort utrykning til øyrekka	12	12
Tilsiktede hendelser		
- Bortfall av el. Kraft	3	3
- Stengt tunell som følge av tilsiktet hendelse	5	3

Tabell 5 Hendelser forbundet med tunnel i ROS-Hitra og –Frøya (Hitra kommune, 6-20)

Brann i tunnel er noe kommunen retter stort fokus mot, og forebygging for å redusere risiko er noe tunneleier bør legge stor vekt på i arbeidet med kommunene.

Beredskapsplaner for Hitra- og Frøyatunnelen

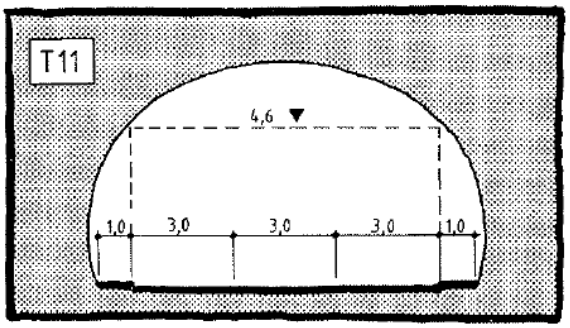
Beredskapsplaner for tunnelene er unntatt offentligheten og dermed kan ikke disse kommenteres. Generelt er planene basert på maler som omhandler ulike aspekter i tunnelene, og per dato er malen basert på 4 kapittel; *Generelt*, *opplysninger om tunnelen*, *risikoanalyse* og *innsats*, i tillegg til nødvendig vedlegg som *distribusjonsliste* og *innsatskort*.

Tilgangen til beredskapsplaner skal være enkelt tilgjengelig for aktører i beredskap. Statens vegvesen benytter et dataprogram som heter Plania til oppfølging av forvaltning, drift og vedlikehold av alle tunneler i Norge. Dette systemet skal, i tillegg til oppdaterte beredskapsplaner, holde oversikt over annen dokumentasjon av sikkerhetsutrustningen til tunnelen og av oppfølgingen av disse, brannbok som tidligere omtalt finnes i Plania. Det er derimot stor variasjon i arkivering av data, en stor del er ikke tilgjengelig digitalt, som alle fjernarkiveringsløsninger krever.

Beskrivelse av Hitratunnelen

Tekniske data

Tunnelen er fra 1994 og er definert som en H1 standardklasse med tunnelprofil T11 med dimensjonerende fart 80 km/t (Statens vegvesen 1995a).

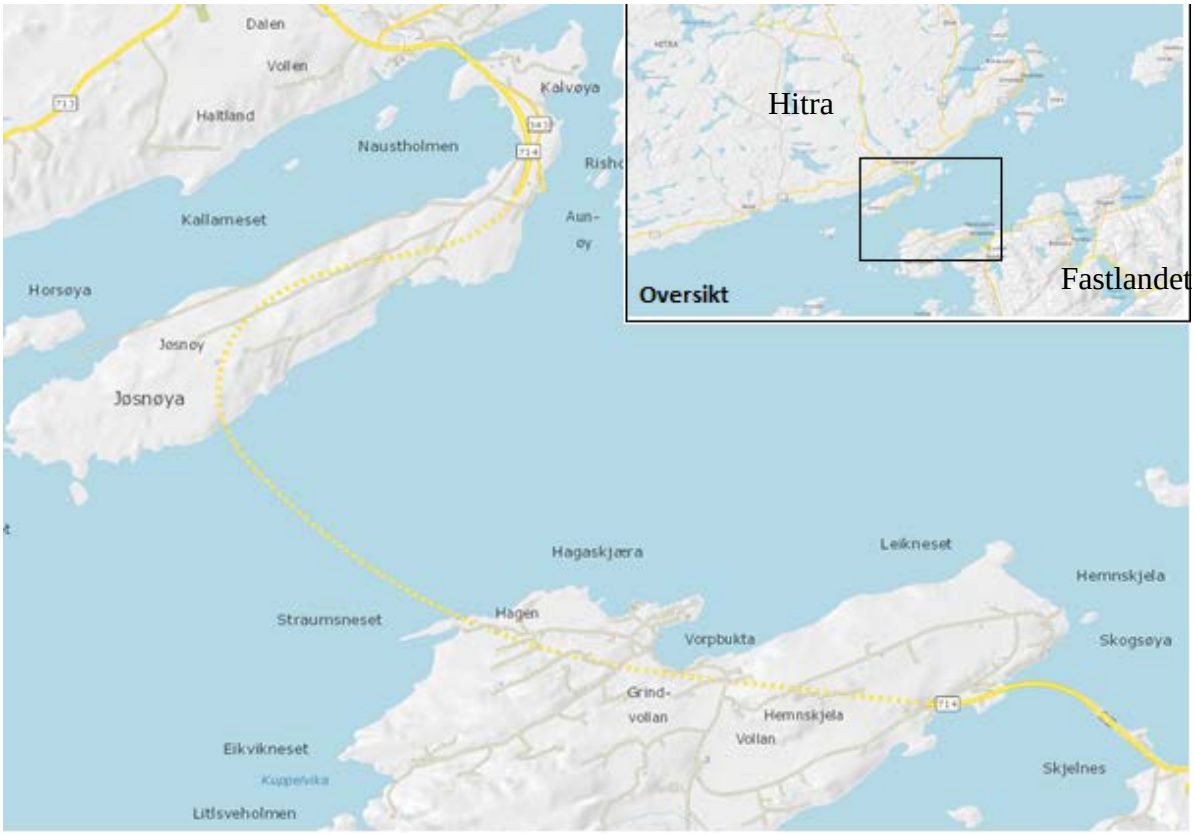


TUNNELPROFIL T11 brukes når det er behov for tre kjørefelt i de øvrige tunnelklassene. Profilet gir også rom for to kjørefelt og en gang- og sykkelbane. Se figur 31.18.

Figur 31.3
Tunnelprofil T11.

Figur 5 Tunnelprofil T11 (Vegdirektoratet 1992)

Tunnelen ble bygget av Statens vegvesen som byggherre, og utførende entrepriser ble delt opp i tunneldriving og elektro. Noe av arbeidet ble gjennomført i egenregi, i en tid hvor Statens vegvesen hadde produksjonsavdeling. Tunnelen starter på øya Hemnskjela (fastlandet) og over til øya Jøsnøya (Hitra). Tunnelen erstattet fergeforbindelsen Sunde – Hemnskjel – Sandstad. (Statens vegvesen 1995b)



Figur 6 Kart over Hitratunnelen

Totalt er lengden på 5670 meter med dypeste punkt 272,5 meter under havoverflaten, med en stigning på 10 % i begge retningene. Etter tegninger starter tunnelen med en høyder på 3,5 meter ved profil 2880 og ender i -272,50 meter ved profil 5640, ved profil 8405 har vegbanen en høyde på 4,0 meter. Minste horisontale radius er 400 meter med påfølgende horisontal radius på -460, hvor vendeklotoiden har A = 500 og 672 over en lengde på 1600 meter. (Statens vegvesen 1999)

400 meter på hver side av tunnelen og bunnen i en utstrekning på ~500 meter er veggene i tunnelen av betong. Taket er av uisolert platehvelv og for øvrig er tunnelens kledning fjell som er boltet. I bunnen er det pumpehull for å håndtering av tilsig av vann, to pumper skal sørge for å fjerning av vann etter hvert som magasinene nærmer seg fyllegrad.

Det er montert 368 lysarmaturer gjennom tunnelen med forsterket belysning i havarilommer og i tunnelåpningen. Belysning i havarilommer er tilkoblet nødstrøm.

Totalt er det 18 vifter som hver har en skyvkraft på mellom 1160 og 1080 N hhv. forover og bakover med en motoreffekt på 45 kW, viftene er plassert slik at forover peker oppover som gir forskjellig skyvkraft på viftene i en retning. Dette gir en lufthastighet på minimum 1,8 m/s, som er oppgitt som dimensjonerende lufthastighet. Registrering av CO gjøres av 5 følere og for NO_2 er det 3 følere, dette overvåkes og styrer viftene automatisk skulle grenseverdier overstige. 2 stykk siktmålere er tilkoblet på samme overvåkningen.

Vindmålere med delektering sørger for å styre viftene i den retningen som vinden går når ventilasjonssystemet styres automatisk.

Havarilommene er plasser som tabell 6 viser, med mål som vist i tabell 7.

Profil etter tegning	Nisje / utstyr	Profilnummer i dag
PR **3400**	Lang havarilomme (mot fastland)	PR 9840
PR **3960**	Havarilomme (mot fastland)	PR 10420
PR **4520**	Snunisje/tekniskbygg	PR 10995
PR **5080**	Havarilomme (mot fastland)	PR 11540
PR **5630**	Snunisje / pumpesump, fordrøyningsbasseng	PR 12100
PR **6185**	Havarilomme (mot Hitra)	PR 12640
PR **6760**	Snunisje/tekniskbygg	PR 13240
PR **7320**	Havarilomme (mot Hitra)	PR 13800
PR **7880**	Lang havarilomme / teknisk bygg	PR 14380

Tabell 6 Oversikt over nisjer i Hitratunnelen (Statens vegvesen 1999)

Havarilomme liten	Havarilomme stor	Havarilomme med plass for trafo 3 stk
L = 6,0+12,0+6,0m B= 3,0m	L = 6,0+32,0+6,0m B= 3,0m	L = 6,0+32,0+4,0+6,3m B= 3,0m

Tabell 7 Utforming av nisjer Hitratunnelen. (Statens vegvesen 1999)

Annet sikkerhetsutstyr er det for hver 125 meter brannslukkere i nødskap, som er koblet til alarmsystemet. Annethvert nødskap er det òg nødtelefon som gir direkte anrop til Vegtrafikksentralen. På nødskap er det avstand til nødutganger i hver retning og disse er innvendig belyst og tilkoblet nødstrøm.

Utenfor tunnelen er det rød vekselblink som varsler om stengt tunnel. I tillegg til bommer som har fastmontert varselblink, bommene på hver side dekker et kjørefelt.

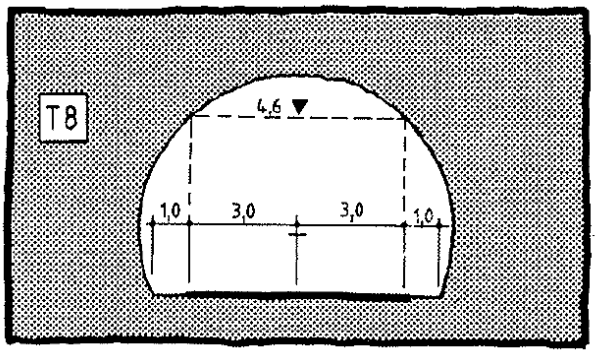
Tunnelen har nødstrøm som er dimensjonert etter krav som var på den tid, men disse er ikke tilkoblet viftene, blir det hevdet av byggeleder i Statens vegvesen. Et eget nødaggregat er tilgjengelig skulle ekstra kapasitet være nødvendig.

Gjennom tunnelen er det montert radiosamband for å koble seg på FM nettet. I 2015 ble det etablert nytt nødnett gjennom tunnelen og det er mobildekning gjennom tunnelen.

Beskrivelse av Frøyatunnelen

Tekniske data

Tunnelen er fra 2000 og er definert som en H1 standardklasse med tunnelprofil T8 med dimensjonerende fart 80 km/t (Statens vegvesen, 2001).



Figur 31.7
Tunnelprofil T8.

TUNNELPROFIL T8 brukes for tunneler med tovegstrafikk i tunnelklassene C, B og A. Profilet kan også brukes i tunnel-klasse D dersom det bygges to løp.

Figur 7 Tunnelprofil T8 (Vegdirektoratet 1992)

Tunnelen ble bygget av Statens vegvesen som byggherre. Forberedende arbeider ved tunnelportal og dekkelegging ble uført i egenregi. Tunneldriving ble utført av Selmer ASA og elektroentreprisen av Sønnico Installasjon AS. Tunnelen starter på Dolmøya og over til Frøya, ved Hammarvika. Tunnelen erstattet fergeforbindelsen Kjerringvåg - Flatval.

Figur 8 Kart over Frøyatunnelen

Totalt er lengden på 5340 meter med dypeste punkt 163,6 meter under havoverflaten. Helningen er på 10 % fra Hitra over en lengde på 1590 meter, deretter er helningen på 1,1 % og ender så i bunn av tunnelen på det laveste punktet etter nye 1460 meter. Tunnelen fortsetter med stigning på 5,4 % i litt over 1100 meter og avslutter med stigning på 10 % før du kommer ut etter de siste 2290 meterne. Kjørebanen har høyde som er hhv. profil 3000 = 1,5m, 3150 = -6,65m, 4590 = -147,9, 6050 = -163,6m, 7215 = -101,20m og 8340 = 6,57m.

Minste horisontale radius er 600 meter på Hitra siden, men ellers er tunnelen hovedsakelig rettstrekning. (Statens vegvesen 1998)

Hele tunnelen var bygd med WG-duk som vann og frostsikring, sprøytebetong og bolting som sikring. Senhøst 2015 til vinter 2016 ble deler av denne duken skiftet ut med PE-skum og betong grunnet forfall, kunne byggeleder i Statens vegvesen meddele. I bunnen er det fordrøyningsbasseng for å håndtering av tilsig av vann, magasinet skal håndtere 4 døgn normalt innlekkasje. To pumper styres av nivåfølere og er programmert til å starte når det er lite strømforbruk i tunnelen.

Det er montert ca. 300 lysarmaturer gjennom tunnelen med forsterket belysning i havarilommer og i tunnelåpningen. Belysning i havarilommer er tilkoblet nødstrøm.

Totalt er det 44 vifter som hver har en skyvkraft på mellom 375 og 346 N hhv. forover og bakover med en motoreffekt på 7,5 kW. Dette gir en lufthastighet på minimum 7 m/s, som er oppgitt som dimensjonerende lufthastighet. Registrering av CO og NO_2 gjøres av 5 følere, dette overvåkes og styrer viftene automatisk i 3 trinn skulle grenseverdier overstige fastsatte verdier. 2 stykk siktmålere er tilkoblet på samme overvåkningen.

Vindmålere gir signal til viftene som styres i den retningen som vinden går, når ventilasjonssystemet styres automatisk. Dersom det ikke er noe naturlig trekk vil viftene styre mot enden som har høyest konsentrasjon av CO/NO_2.

Havarilommene er plasser som tabell 8 viser, med mål som vist i tabell 9.

Profil etter tegning	Nisje / utstyr	Profilnummer i dag
PR **3550**	Havarilomme liten (mot Dolmøya)	PR 35530
PR **4180**	Snunisje/tekniskbygg	PR 36160
PR **4585**	Havarilomme liten (mot Frøya)	PR 36565
PR **5050**	Havarilomme stor (mot Frøya)	PR 37580
PR **5470**	Havarilomme liten (mot Dolmøya)	PR 37450
PR **6020**	Snunisje / pumpesump, fordrøyningsbasseng	PR 38000
PR **6600**	Havarilomme liten (mot Frøya)	PR 38580
PR **7150**	Snunisje/tekniskbygg	PR 39130
PR **7700**	Havarilomme liten (mot Frøya)	PR 39680

Tabell 8 Oversikt over nisjer i Frøyatunnelen (Statens vegvesen 1998)

Havarilomme liten	Havarilomme stor	Snunisje/tekniskbygg
L = 6,0+12,0+6,0m B= 3,0m	L = 6,0+32,0+6,0m B= 3,0m	Havarilomme som stor. Snunisje = 16 inn og 8 bredde Trafo 4 x 8 innerst.

Tabell 9 Utforming av nisjer Frøyatunnelen. (Statens vegvesen 1998)

Annet sikkerhetsutstyr er det for hver 125 meter brannslukkere i nødskap, som er koblet til alarmsystemet. Annethvert nødskap er det òg nødtelefon som gir direkte anrop til Vegtrafikksentralen. På nødskap er det avstand til nødutganger i hver retning og disse er innvendig belyst og tilkoblet nødstrøm.

Utenfor tunnelen er det rød vekselblink som varsler om stengt tunnel. I tillegg til bommer som har fastmontert varselblink, bommene på hver side dekker et kjørefelt.

Et eget nødaggregat er tilgjengelig skulle det bli problem med strømtilførselen, aggregatet vil gi strøm til pumper, lys, nødlys, nødtelefoner, radiosamband/redningssamband og to vifter i bunn. I hvert teknisk bygg er det etablert mindre nødstrømbatteri som leverer strøm ved kortere strømstans til nødlys, nødtelefoner, radiosamband/redningssamband i tillegg til styringsautomatikken, men begrenses inntil 60 minutter.

Gjennom tunnelen er det montert radiosamband for å koble seg på FM nettet. I 2015 ble det etablert nytt nødnett gjennom tunnelen og det er mobildekning gjennom tunnelen.

I hver ende av tunnelen er det brannkummer med ferskvann, i fordrøyningsbassenget er det pumpe som brannslanger kan kobles på.

Intervju med varabrannsjef i Hitra og Frøya kommune

Intervjuet ble gjennomført som diskusjonsform hvor brannsjefene fikk komme med sine innspill på utfordringer det er for brannmannskapet generelt og spesielt for tunneler. Stedet var Frøya rådhus, den 12. februar 2016.

Johan Pettersen og Per Arne Willmann er varabrannsjefer for henholdsvis Frøya og Hitra. Som varabrannsjefer, og ofte innsatsleder ved hendelser i tunnelene, vil deres erfaringer danne et viktig grunnlag for anbefaling og konklusjon i studien.

Utfordringene som brannsjefene står ovenfor er kompetansebygging og tilgang på kompetanse til brannkorpset. Denne utfordringen er generell for alle oppgaver som brannvesenet må håndtere. I tillegg kommer tilgang på nødvendig utstyr for å gjennomføre oppgavene. Innkjøp av nytt eller utskifting av gammelt utstyr er ønsker fra brannsjefene, men ofte kommer slike innkjøp som en følge av en hendelse og ikke før en hendelse.

Hitra og Frøya brannkorps har begge tilgang på røykdykkere, men kompetansebygging i forbindelse med tunnelbranner er et stort ønske. Forespørsler til Statens vegvesen for kurs/opplæring i Runehammartunnelen er sendt, men har ikke fått innkalling til opplæring. Brannvesenet har derimot gjennomført øvelser i tunnel, sist i Frøyatunnelen i 2014. En slik øvelse er derimot noe begrenset siden røykdannelse ved en reell brann er en vesentlig faktor for innsatsstyrken. Skulle det være redusert sikt vil det bli krevende å komme frem til brannpunktet før overtenning. Det kan være mennesker som prøver å redde seg ut av tunnelen eller at brannbilen kolliderer i tunnelveggen på grunn av manglende sikt. Infrarødt kamera i brannbil er utstyr brannsjefene ser som et viktig redskap i forbindelse med innsatsstyrke i tunneler, i tillegg til bankettbelysning/føringslys i tunnelen.

Responstiden for Frøyatunnelen er ca. 10 minutter fra Frøya og 45 minutter fra Hitra. Hitratunnelen er responstiden 10 minutter fra Hitra og 40 minutter fra Snillfjord.

I 2010 forekom det to branner i Hitratunnelen og en i Frøyatunnelen. Etter hendelsene ble det laget evalueringsrapporter, særlig to forhold trekkes frem her. For Hitratunnelen var det utfordring med å orientere seg i tunnelen når en støtte på røyksøylen, innsats kunne ikke gjøres fra Hitra. For Frøyatunnelen var problemet ikke så aktuelt grunnet plasseringen av brannen var gunstig. Kommunikasjonen mellom innsatspersonell var utfordrende i Frøyatunnelen grunnet støy fra viftene. Dette var noe brannsjefene bekreftet det som stod i rapporten gjennom intervjuet.

I tillegg til støy er behovet for vannforsyning noe brannsjefene etterlyser. Uttak for vann er nede i bunnen av tunnelene, tilkoblet pumpesump. Dersom det er behov for mye vann i forbindelse med et slukkearbeid vil dette være krevende uten flere uttak. I intervjuet kom det frem at siden vannet i tunnelen er fra havet vil det være en risiko ved bruk av vannet, dersom det elektriske anlegget er satt under spenning. En svært viktig forutsetning vil dermed være å ha god kjennskap til tunnelene sine installasjoner, og at disse er sikret.

I Hitra og Frøya tunnelene er det flere trafostasjoner inne i tunnelene. Brannsjefene kunne ikke bekrefte om disse installasjonene er godt nok sikret i forbindelse med innsats. Generelt er det, i forbindelse med brann nært høyspent, sikring av området som er instruksen for innsats, og ikke brannbekjempelse, grunnet faren for eksplosjon.

Forskning og forsøk - ventilasjon i tunneler

Forskning for brannventilasjon

Flere studier er gjennomført i forbindelse med ventilasjon av tunneler og spesielt med tanke på brannventilasjon. Etter samtale med professor Haukur Ingason ved SP Technical Research Institute of Sweden, fikk jeg flere journaler og artikler vedrørende brannventilasjon.

Journalen *Runehamar tunnel fire test* (Ingason, Li og Lönnermark 2014) er en oppdatering av tidligere tester, grunnet resultatene i forsøket ofte blir referert til i andre forskningsrapporter. Journalen gir en god forklaring av et fullskala brannforsøk, hvor det ble gjort målinger av varmeutvikling, lufttemperatur i tak gjennom tunnelen, brannspredning, røykutvikling med mer. Det ble gjennomført 5 tester, med ulike materialer og mengde som brensel. Forsøket blir ikke gjennomgått her, men oppsummerer resultater, som vil være av betydning for vurderingen av ventilasjonsanlegget i denne studien.

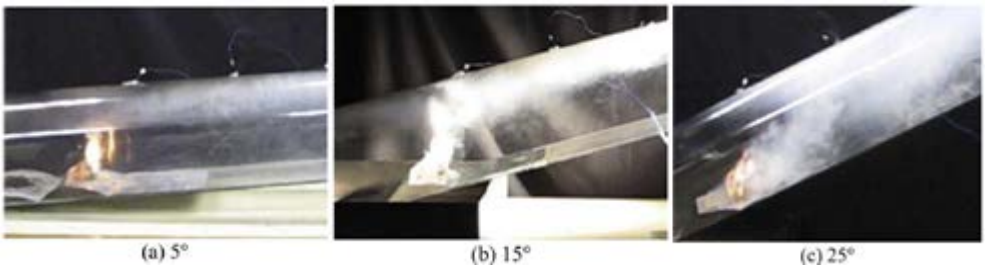
Hvilken karakteristikk en brann vil ha er svært avhengig av antent material, målinger gjort i forsøket viser store variasjoner i branneffekten, fra 66 til 202 MW i antent komposittmateriale og 6 MW for oljetønne. Dimensjoneringsgrunnlaget for brannventilasjon er bestemt i håndboken, men kan ved en reell hendelses være av stor betydning for om ventilasjonen vil fungere etter hensikt.

Varmeutviklingen over tid stemte relativt godt overens med kurver som brukes ved branndimensjonering, kravene for dimensjonerende branneffekt følger ulike eksponeringskurver. For håndbok N500 brukes standard brannkurve ISO 834 og Hydrokarbon kurve. Målingene for temperaturen rundt brannkilden er verdt å merke seg, ved høyeste registrerte brannutvikling var temperaturen over 200 grader i tak 40 meter fra brannstedet.

Røykdannelsen/massetettheten av luft i forbindelse med brann er sterkest i starten av brannen før fullstendig forbrenning. I antenningsfasen vil oppdriften av brannen være lavere, men øke etter hvert som temperaturen i luften stiger. Det er viktig å bemerke at sikten er begrenset av to faktorer, kunstig belysning og mengde sot produsert av materialer. Røykdannelsen kommenteres spesielt i denne oppgaven med tanke på selvredningsprinsippet, men det er som sagt vanskelig å gi eksakt siktutfordring. I forsøket var siktvurderingen i en avstand 458 meter fra brannkilden i en høyde 2,9 meter over bakken. Mengden sot og produksjon av CO var sterkest i starten av brannen. Sikt er vesentlig for å sikre gode fluktruter til nærmeste nødutgang.

En annen vesentlig del i journalen er varmegang i tunnelen, som det refereres til i andre studier. Temperaturen faller på to måter, en kraftig reduksjon nær brannen, for deretter å falle gradvis etter hvert som en distanserer seg fra brannen.

Flere beregningsmodeller (CFD-modeller) for ventilasjonsanlegg er laget, men kompleksiteten og brukervennligheten i slike modeller er krevende. For å verifisere at resultatet er korrekt kreves det dermed god innsikt i beregningene som ligger bak, i slike verktøy. I tillegg kan flere forhold påvirke strømninger av røyk og gass, som modeller ikke tar høyde for, som varierende vindretning. Forenklinger er en grei metode og sånn sett er det forståelig at håndboken prøver å begrense kompleksiteten av brannventilasjon. For eksempel var det i artikkelen *Longitudinal ventilation for smoke control in a tilted tunnel by scale modeling* (Chow*, Wong og Chung 2009) gjort forsøk med å studere røyken i stigning. Røyken vil ved ulike helninger virke ulikt som vist i figur 9.



Figur 9 Observed smoke movement (Chow, Wong og Chung 2009, 125)*

Måling av lufthastighet ved «brannventilasjon» - Frøyatunnelen

Den 10. og 28. november 2015 gjennomført jeg test av lufthastigheten ved brannventilasjon. Dette ble gjort med hjelp av anemometer. Målet var å få en tilstandsvurdering av eksisterende ventilasjonsanlegg og hvordan effekten er. Gjennomføring av forsøket og målingene kan sees i vedlegg. Resultatet av målingene var noe overraskende, derav hastigheten var svært forskjellig gjennom tunnelprofilet. Første test ble ikke tidsintervallet for målingene gjennom tunneltversnittet identiske, og gav et utydelig bilde av gjennomsnittlig vindhastighet i avlesningspunkt. Laveste og høyeste registrerte vindhastighet ved brannventilasjon var 0,5 m/s og 6,0 m/s ved test 1 og 1,2 m/s og 5,5 m/s ved test 2.

Målt hastighet ute ved veggen var høyere enn midt i tunnelen, i tillegg var det stor variasjon i luftstrømningen, tilsvarende som pulserende luftstrømmer.

Utgangspunktet for målingene var i tidlig fase hvor det skulle sjekkes om skyvkraften var redusert siden tunnelen var dimensjonert. Gjennom studien endret derimot oppgaveteksten seg fra levetidsbetraktning til modellering av brannventilasjon.

Gjennom forsøket fikk jeg en nyttig erfaring fra vindhastigheten ved normal drift, men og forståelsen av kompleksiteten til vind i tunnel. Siden vindhastigheten varierte så mye over snittet er det rimelig å anta at dette vil være tilfelle i en brannsituasjon òg. Test av brannventilasjon viste at hastigheten kan gi høyere vindhastighet enn det som er optimalt, for kontroll av røyk (Camby m.fl 2010). Dette må i så tilfelle sjekke nærmere

Modellering og beregning

Utgangspunktet for å dimensjonere et ventilasjonsanlegg er vedlegg C og D i håndbok N500 Vegtunneler, som tidligere omtalt. Vedlegg C, «Ventilasjon», tar for seg beregning av nødvendig friskluftbehov, kontroll av luftkvalitet og beregning av nødvendig skyvkraft ved langslufting. Dette vedlegget er relativt enkelt å følge, for å vurdere om ventilasjonsanlegget er dimensjonert. Beregningene tar utgangspunkt i produksjon av emisjon fra biltrafikken og enkle formler å beregne ulike trykktap fra den mekaniske ventilasjonen, metrologiske effekter og stempeleffekt fra kjøretøy. Vedlegg D, «Beregningsmodell for brannventilasjon», er derimot litt mer krevende å forstå. Figurene som legges til grunn skal gjøre beregningene enklere, men siden det står i kapittel 10.4 at brannstedet skal beregnes flere steder er dette ikke mulig.

Beregningene skal trolig gjøre dimensjoneringen mer enn god nok, med overdimensjonering som resultat. Overdimensjonering for ventilasjonsanlegg er derimot noe som er kostbart, samtidig som det utfordrer tunneleier til vanskelig valg. Er tunneler sikker og hva om brannen skjer her eller der?

Gjennom litteraturstudiet fikk jeg tilgang til et beregningsverktøy, som gir en bedre vurdering av et ventilasjonsanlegg. Dette verktøyet beregner brannventilasjonen mer i detalj og kravene som stilles i håndboken kan dermed oppfylles for modellering. Modellen er derimot mindre kompleks enn en CFD[4]-modellering som krever adskillig mer kunnskap i programbruk enn det denne studien er lagt opp til.

Om beregningsmodellen

Beregningsmodellen, som er utarbeidet av Gunnar Lotsberg i Statens vegvesen, gir deg mulighet til å vurdere ventilasjonen på et mer detaljert nivå enn hva håndboken legger opp til. Modellen deler opp tunnelen i flere segment og det er mulig å styre på flere faktorer i samme beregning. Den presenterer resultatene på oversiktlig måte for å vurdere om ventilasjonsanlegget tilfredsstiller kravene i håndboken. Modellen krever ikke spesielt utstyr utover standardisert programvare, men det kreves at brukeren setter seg inn i hvordan beregningene gjennomføres.

Alle nødvendige data skal kunne legges inn av det som går fremm av håndbok N500 kapittel 10.4 Ventilasjon. Enkelte grunnlagsdata som geometriutformingen må derimot hentes fra prosjekterende, og modellen brukes hovedsakelig for å legge inn ferdig prosjekterte data, for å gi svar på hvilken kapasitet ventilasjonsanlegget krever. Det er ikke kjent at prosjektering av ventilasjonsanlegg har ført til endringer av geometriutformingen, men for å få et godt kostnadsbilde av livsløpskostnader kan en slik beregning kunne gi gevinster av redusert energiforbruk, for eksempel emisjonsgasser blir ført ut naturlig eller bygge portalen i le, hvor innsatstiden er lengst.

I forbindelse med brannventilasjon vil en slik beregning være svært aktuelle for brannvesenet. Kunnskap om begrensninger til brannventilasjon ved en reell hendelse er viktig for innsatsen. Krav om alternativ sikkerhetsutrustning kan bli aktuelt i tilfelle dette reduserer totalrisikoen.

[4] CFD - Computational fluid dynamics. Analytisk simulering av gass- eller veskebevegelse.

Inngangsdata - Start

For beregning av ventilasjonen gjøres dette med stegvis elementlengder, som summeres. Dette gir vesentlig bedre detaljering enn å vurdere tunnelen som et element. Modellen legger opp til 2, 5, 10 og 20 meters lengder, men det anbefales at mellom 5 og 10 kilometer brukes elementlengde 10 m og lavere brukes elementlengde 5 m. Lengder over 10 km skal Vegdirektoratet godkjenne spesielt, og da bør mer avanserte modeller og spesiell utforming av ventilasjonsanlegget beregnes før godkjennelse, for eksempel Lærdalstunnelen. Dette støttes òg i N500 Vedlegg D hvor 10 km er maksimal verdi, som eksempelvis figur 3 side 12.

Under «Seksjonsnummer for geometri m.m.» listes opp tunnelens utforming av inngangsdata. Stigning beregnes spesielt, mens andre verdier blir hentet fra inngangsdata lenger nede i modellen, blå områder i figur 10. I håndboken er det som sagt en forutsetning at tunnelen har konstant helning og konstant tverrsnitt.

Tunnelnamn	Sted1		-	Sted2		Tunnellengde		5 335 m			Elementlengde			10 m	
Linjepålegg, profilnummer	3000	3150	4590	6050	6050	6050	6050	6050	6050	6050	6050	6050	7215	8335	8340
Profilhøgde	1,5	-6,65	-147,89	-163,61	-163,61	-163,61	-163,61	-163,61	-163,61	-163,61	-163,61	-163,61	-101,22	6,57	6,57

Seksjonsnummer for geometri m.m.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	Sted2
Linjepålegg, profil frå portal A	0	150	1590	3050	3050,01	3050,02	3050,03	3050,04	3050,05	3050,06	3050	3050	4215	5335	5340
Høgde i knekkpunkt	1,5	-6,65	-147,89	-163,61	-163,61	-163,61	-163,61	-163,61	-163,61	-163,61	-163,61	-163,61	-101,22	6,57	6,57
Stigning	-5,4 %	-9,8 %	-1,1 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	5,4 %	9,6 %	0,0 %	
Tunneltverrsnitt	T8	T8	T8	T8	T8	T8	T8	T8	T8	T8	T8	T8	T8	T8	
Lambda, gjennomsnittsverdi inkl. singulærtap	0,026	0,026	0,026	0,026	0,026	0,026	0,026	0,026	0,026	0,026	0,026	0,026	0,026	0,026	
Konvektivt varmeovergangstal	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	W/m2 * grad
Kledning: Vegg og tak	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,5 m vegg
0 = fjell/PE-skum, 1 = betongelement, 2= lettbetong	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Tak
PE-skum/8 cm sprøytebetong, % av restareal	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	
Fjellprofil i veggen	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
8 cm sprøytebetong i veggen	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Veggelement, betong	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Veggelement, lettbetong	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Fjellprofil i taket	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	
8 cm sprøytebetong i taket	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Takelement i betong	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Takelement i lettbetong	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	

Figur 10 Eksempel - inngangsdata tunnelgeometri

I gule felt velges det hvordan tunnelen sin kledning er bygd opp, med tanke på vegg og tak. Det kan velges mellom tre ulike varianter av kledning, fjell/PE-skum med sprøytebetong, betongelement eller lettbetong. Restareal angis for fordelingen av fjell og PE skum i tunnelen. I håndboken er dette forholdet neglisjert og det står; «Tunnelveggenes varmekapasitet antas uendelig mye høyere enn varmekapasiteten til røykgassene, dvs. varmeutveksling mellom gass og veggmateriale medfører temperaturendring kun i gassfasen.» (Vegdirektoratet 2010, 108)

Inngangsdata for tunnelen legges så inn. Tunnelprofil velges som henter verdier, som er definert i håndbok N500, andre steder i regnearket. Tunneler bygges etter ulike tverrsnitt, Statens vegvesen har definert profilene etter lengden av vegbane + skulder, som deretter har sine gitte tverrsnittareal, buelengde og hydrauliskdiameter, som er nødvendig for å beregne ulike trykktap. Verdiene for dette kan du finne i arkfanen for formler, og er vist i figur 11.

Profil	Tverr-snitt	Boge-lengde	Hydraulisk diameter	Veg + skulder	Havari-nisje
T5,5	28,77	14,9	4,92	5,5	**T8,5**
T7	37,23	16,01	6,08	5,5	**T10**
T7,5	**40,23**	**16,51**	6,43	**7,5**	**T10,5**
T8	43,78	18,11	6,58	8	**T11**

Figur 11 Eksempel - tunnelprofil med tilhørende verdier

Vindstyrken ved portalene legges inn i modellen for å vurdere trykkdifferansen mellom portalene. Trykkdifferansen beregnes ut ifra formel 7, side 31. Disse verdiene er vanskelig å anta før tunnelen er bygd, men vil være medvirkende for å redusere nødvendig lufthastighet

for emisjonsverdier. Beregningen legger opp til at du kan få et mer naturlig bilde av vindforholdene enn det som N500 legger opp til, men igjen vindkrefter er vanskelig å forutsi.

Dimensjonerende lufttrykk blir oppgitt i millibar (mb) utenfor tunnelen. Utetemperatur ved portalene og bergtemperatur oppgis i grader celsius. Disse verdiene brukes for å beregne lufttettheten og temperaturen gjennom tunnelen som igjen påvirker trykket.

Trykktapskoeffisienten varierer mellom 0,025 og 0,05, som er strømningstap på grunn av utformingen av tunnelen, som utstøpt eller råsprengt tunnel eller tekniske installasjoner inne i tunnelen.

Konvektiv varmeovergangstall er lik 20 kW/m^2 °K og «er en omtrentlig verdi som gir rimelige resultater i forhold til forsøksdata. Den anbefales brukt for alle tunneler. Verdien er avhengig av ruheten i overflatene og lavere verdi for dette tallet gir høyere oppdriftstrykk fra branner.» (Vegdirektoratet 2010, 110).

For å vurdere emisjonsverdier ($CO/NO_2/PM_{10}$ produksjon) legges det inn beregninger enten hentet fra håndboken, EURO 5/6 eller egne verdier. Produksjonen deles mellom lette og tunge kjøretøy. For emisjonsverdier kan lokale forhold være påvirkbare i forhold til forurensningsutslipp, som gammel bilpark eller spesielle knutepunkt som gjør at transporten har andre verdier enn standard. Dersom du ønsker å justere verdiene gjøres dette under arkfane – faktorer. Emisjonsverdier som håndboken legger opptil blir styrende for denne studien. Revisjon av håndboken er under arbeid, og der vil blant annet verdiene for utslipp fra kjøretøy bli oppdatert, kunne Lotsberg fortelle. Nyere målinger viser blant annet at andelen NO_2 fra tungekjøretøy er redusert, mens lettekjøretøy har denne andelen økt grunnet flere dieselbiler.

Kravene til grenseverdier for støv, NO og NO_2 justeres etter krav for dimensjonerende konsentrasjon, her kan du legge inn andre verdier, dersom kravene referert i kapittel Luftkvalitet, må oppdateres.

Valget mellom enveis- og toveistrafikk gjøres ved å trykke på cellen i modellen, dette vil styre beregningene for stempeleffekten og produksjon av emisjonsverdier i hver kjøreretning. Slik som det går frem av formel 8, side 32. Års døgntrafikk, andel i dimensjonerende time, forskjell på kjøretøy som kjører med eller mot kjøreretningen og andel lange kjøretøy legges inn i modellen. Verdiene får du ved å kontakte Statens vegvesen og disse blir enten generert av trafikkmodeller eller trafikktellinger. Statens vegvesen samler mye data for å beregne trafikken på vegnettet i Norge, estimat skal generelt gi gode føringer for inngangsdata.

Dimensjonerende trekk blir beregnet ut ifra hvilken verdi av NO_2, NO eller PM_{10} som krever størst luftbehov. Disse utregningene gjøres i arkfane «Retning_A» og «Retning_B». Dette vil danne et grunnlag for videre bestemmelser til ventilasjonsanlegget, men for å etablere en trekk gjennom tunnelen er det ikke mange vifter som skal til for å spille på lag med naturlig trekk, det viktige er at det ikke blir stille luft inne i tunnelen.

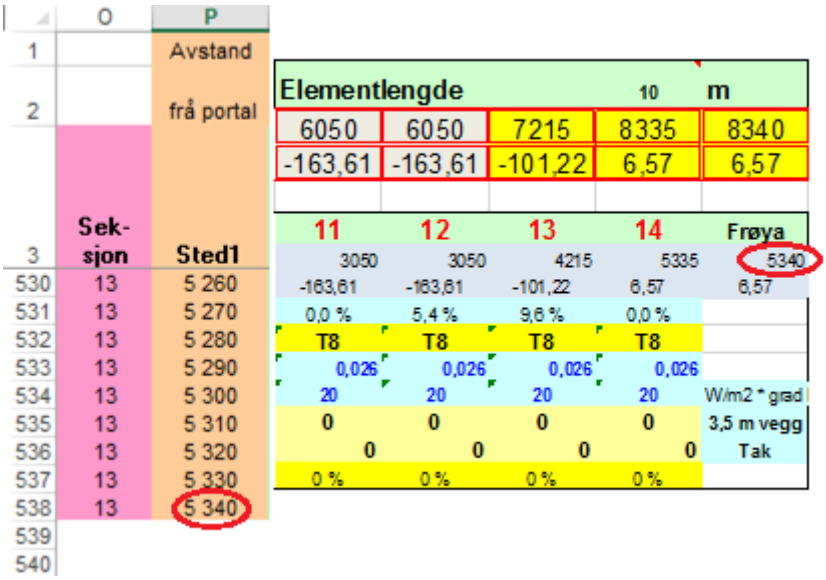
I tillegg er det i modellen lagt opp til å ta med generert energi fra kjøretøy ved å legge inn energiforbruk for lette og tunge kjøretøy, her oppgitt som kilogram drivstoff per mil. Mer gjenkjennelig forhold er kanskje liter per mil, 1 liter drivstoff tilsvarer mellom 0,75-0,85 kg. Energitilførsel ligger ikke inne i normalen, men vil påvirke normaltemperatur i noen grad grunnet termodynamikk.

Videre er det å se til at viftene er i funksjon for beregningene, men viftedata legges ikke inn på dette arket. Dette gjøres i arkfanen for «Brann_A».

Havarinisjer er siste del av dette regnearket og innputt av verdier her skal gi økt tverrsnitt som du ser i figur 11, side 27.

Beregninger – Retning A og Retning B

Lite inngangsdata legges inn her, men det er enkelte områder som må kontrolleres spesielt. Første er å sikre seg at hele tunnelens lengde er med. Kontroller at siste elementlengde har lik profil der tunnelen slutter, som vist i figur 12.



	O	P					
1		Avstand					
2		frå portal	Elementlengde			10	m
			6050	6050	7215	8335	8340
			-163,61	-163,61	-101,22	6,57	6,57
3	Sek-sjon	Sted1	11	12	13	14	Frøya
			3050	3050	4215	5335	5340
530	13	5 260	-163,61	-163,61	-101,22	6,57	6,57
531	13	5 270	0,0 %	5,4 %	9,6 %	0,0 %	
532	13	5 280	T8	T8	T8	T8	
533	13	5 290	0,026	0,026	0,026	0,026	
534	13	5 300	20	20	20	20	W/m2 * grad
535	13	5 310	0	0	0	0	3,5 m vegg
536	13	5 320	0	0	0	0	Tak
537	13	5 330	0 %	0 %	0 %	0 %	
538	13	5 340					
539							
540							

Figur 12 Eksempel - kontroll av beregninger - lengde

Beregningene skal automatisk finne ut om det er enveis- eller toveistrafikk, men bør kontrolleres spesielt.

Utenom dette er det å kontrollere regnearket at tunnelen er utformet slik det skal beregnes. Er stigning, temperatur og trykk gjennom tunnelen er naturlig. Virker summasjonen av trykktap for mekanisk ventilasjonskrefter, meteorologiske forhold og stempeleffekten fornuftig? Er havarinisjer plassert rett, mengde emisjon virker naturlig? For å vurdere dette kreves det erfaring, og det å modellere en eksisterende situasjon gir god erfaring kontra å starte på en ny tunnel.

Utformingen av havarinisjer kan tilpasses dersom utformingen er spesiell, et standard snitt er utgangspunktet fordelt over 50 meter.

Sammenlikning mellom N500 Vedlegg C.1 og modellen - Luftkvalitet

Emisjonsverdiene som du har valgt blir brukt for å beregne utslippet, som baserer seg på andelen av energiforbruket til lette og tunge kjøretøy. Ut ifra inngangsdata for ÅDT, fordeling mellom lette og tunge og hvor stor fordeling det er som kjører med eller mot kjøreretningen blir hvert element beregnet for antall med- og motgående kjøretøy. Stigningsforholdet som er beregnet etter geometriske data, vil danne grunnlag for energiforbruket. Er det en helning på mer enn 4 % for lette, og mer enn 2,5 % for tunge endrer korreksjonsfaktoren seg, iht. tabell 10.

Stigning (s)	< -4 %	-3 %	-2 %	0 %	2 %	4 %	6 %	8 %	10 %
$k_{s\,lette} = 25 \cdot s + 1$ (s > -3,5 %)	0,11	0,25	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
$k_{s\,tunge} = 36 \cdot s + 1$ (s > -2,5 %)	0,1	0,1	0,3	1,0	1,7	2,5	3,2	3,9	4,6

Tabell 10 Korreksjonsfaktorer ved kjøring i stigning (Vegdirektoratet 2010, 101)

Denne faktoren ganges så med NO_X-emisjon for lette og tunge kjøretøy, produksjonen av NO_X-konsentrasjonen beregnes så etter formel 3. Forskjellen er at det deles opp i elementlengder og ikke hele lengden som det kan tolkes av formelen.

NOx-produksjon

$$Q_{oNOx} = (q_{oNOx\,lette} \cdot M_{lette} \cdot k_{s\,lette} + q_{oNOx\,tunge} \cdot M_{tunge} \cdot k_{s\,tunge}) \cdot L / 1000$$

Formel 3 NO_x-produksjon (Vegdirektoratet 2010, 102)

Alle elementlengdene for utslipp av lette og tungekjøretøy summeres, etter dimensjonerende time. Tilsvarende operasjon gjøres for NO andel. Disse listes så opp og summeres for å finne total produsert NO og NO_X for hele tunnelen.

PM_{10} verdier blir på tilsvarende måte beregnet med emisjonsverdier for tunge kjøretøy multiplisert med andel lette. Dette ganges så med faktor som påvirkes av stigningsforholdet, k_{hh} i henhold til formel 4. Dersom stigningen er større enn -1% blir faktoren -100 × stigning^2 + 50 × -stigning + 1, dersom den er lavere er det en faktor 0,5, som det fremgår av tabell C.3, i N500 Vedlegg C.

Siktreduserende sot- og støvpartikler, PM_{10}

$$PM_{10} = p_{sikt} \cdot (M_{tunge} + 0{,}05 \cdot M_{lette}) \cdot k_s \cdot k_{hh} \cdot L$$

Formel 4 Siktreduserende sot- og støvpartikler, PM_{10} (Vegdirektoratet 2010,102)

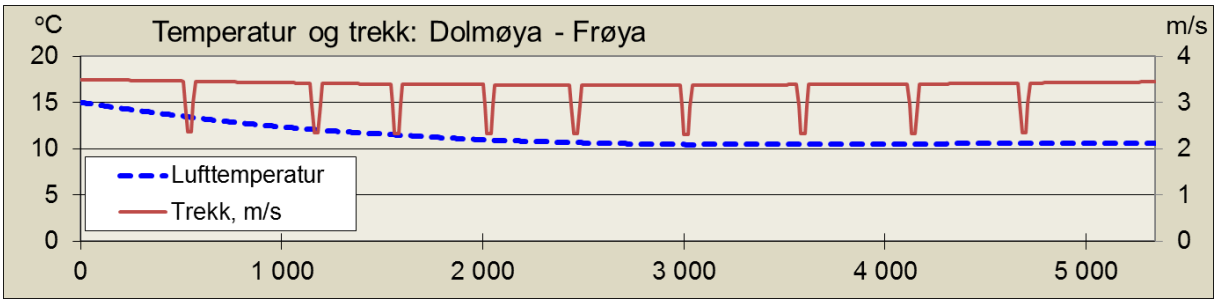
For produksjonen av CO-gass i normale situasjoner vil dette ikke bli dimensjonerende for ventilasjonsanlegget, så lenge NO_X og PM_{10} dimensjoneres etter grenseverdiene vil CO holdes på et akseptabelt nivå, når grenseverdier for CO overstiges er det hovedsakelig grunnet brann. Derfor er ikke beregning av CO gjort i modellen.

Dimensjonerende lufthastighet blir så beregnet etter summasjon av PM_{10}, NO_2 (=10% av NO_X) og NO. Den største konsentrasjonen av disse verdiene per time gjennom tunnelen blir så dimensjonerende for nødvendig friskluft. Som nevnt er deler av beregningene gjort spesifikt for NO_X-verdier, men beregningene er som formel 5.

$$u_t = Q_{o\,luft} \frac{p_o \cdot T}{p \cdot T_o \cdot A_N \cdot 3600} \quad [m/s]$$

Formel 5 Dimensjonerende trekk i tunnel (Vegdirektoratet 2010, 103)

Trekken gjennom hvert snitt beregnes for størst verdi av naturlig trekk eller mekanisk trekk. Dersom naturlig trekk er lavere enn ønsket hastighet endres dette i arkfane «Start». Trekken blir multiplisert med endringen av tverrsnitt og tettheten av luften. I figur 13 faller lufthastigheten på grunn av økt tverrsnitt ved havarinisjer.



Figur 13 Eksempel - temperatur og trekk i modell

Lufttettheten oppgis i kg/m^3 og beregnes spesielt for hver elementlengde. Lufttettheten består av faktorer som er lagt inn av inngangsdata og beregninger, som temperaturen i elementlengden.

Ligning (2):

$$\Delta p = \frac{\rho}{2}\ (i + \lambda \frac{L}{D} + 1)\ u^2\ [N/m^2]$$

Formel 6 Beregning av forskjellig trykktap (Vegdirektoratet 2010, 105)

Dynamisk trykk blir beregnet etter bernullislikning, i formel 6 er dette slått sammen, men det er da beregningene utenfor parentesen.

Resten av beregningene i formel 6 blir så det statiske trykket. I modellen regnes innløpstap som 0,5 og dette gjør så at det statiske trykket er 1,5 ganger det dynamisk trykk ved portalens innløp. For hvert element blir så det foregående lagt til multiplisert med elementlengden/ hydrauliskradius × koeffisient for strømningstap som utgjør det siste leddet i formel 6.

Modellen har da funnet hvilket trykk det er i hvert element. Trykket som blir generert på grunn av vindhastighet inn mot portalen blir lagt inn under statisk trykk, og ikke under det metrologiske trykktapet som i håndboken. Summen av det statiske trykket gjennom hele tunnelen gjøres.

Det metrologiske trykktapet, formel 7, er i modellen benemnet «Skorsteinseffekten», men som sagt så er vindhastigheten mot portalene holdt utenfor. Forskjellen er at istedenfor ΔT og T_t brukes lufttettheten per element.

Ligning (3):

$$\Delta p_m = \rho\ (g \frac{\Delta T}{T_t} \Delta H + \frac{w^2}{2}\ )\ [N/m^2]$$

Formel 7 Trykktap som følge av meteorologiske ventilasjonskrefter (Vegdirektoratet 2010, 105)

For å finne stempeleffekt fra kjøretøy gjøres dette etter formel 8 og 9, side 32. Modellen kan beregne enveis- eller toveistrafikk, dette gjøres ved å ekskludere deler av regnearket. En viktig forskjell på modellen og formlene er at enheten oppgis i Pascal istedenfor Newton, ved å dividere på tverrsnittet.

Ligning (4):

$$P_F = \frac{\rho}{2} \cdot \frac{i_F \cdot A_F}{\left(1 - \frac{A_F}{A_N}\right)^2} \left(N^+(v_t - u)^2 - N^-(v_t + u)^2\right)[N]$$

Formel 8 Stempel effekt fra kjøretøy – toveistrafikk (Vegdirektoratet 2010, 106)

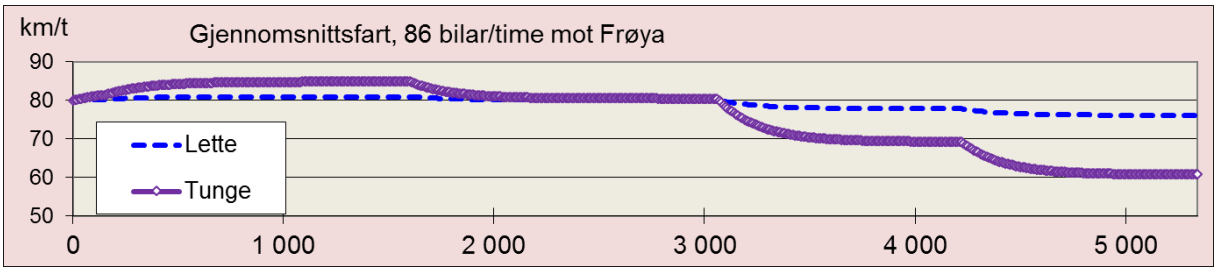
Ligning (5):

$$P_F = \frac{\rho}{2} \cdot \frac{i_F \cdot A_F}{\left(1 - \frac{A_F}{A_T}\right)^2} \left(N^+(v_t - u)^2\right)[N]$$

Formel 9 Stempel effekt fra kjøretøy – enveistrafikk (Vegdirektoratet 2010, 106)

Hastigheten for kjøretøy hentes fra inngangsdata og dimensjoneres med stigningsforhold. I håndboken er trafikkhastigheten statisk, men i modellen er det lagt opp til å kunne styre denne gjennom tunnelen. Faktorer her bør være tilsvarende som forventet situasjon, eksempel på kraftig stigning vil tunge kjøretøy ha lavere hastighet i motbakke og i nedoverbakke kan hastigheten være noe høyere. Dette kan justeres i modellen under fanen for faktorer, det er én faktor for stigning og én for helning. Dette danner et dimensjonerende fartsgrunnlag for hver elementlengde.

Hvor stor andel vil kjøre med endret hastighet på grunn av vertikalkurvatur, er en av parameterne som kan, og bør, justeres for riktig fartsgrunnlag. Hastigheten beregnes for lette og tunge kjøretøy og i figur 14 kan du sjekke om resultater stemmer med forventningene.

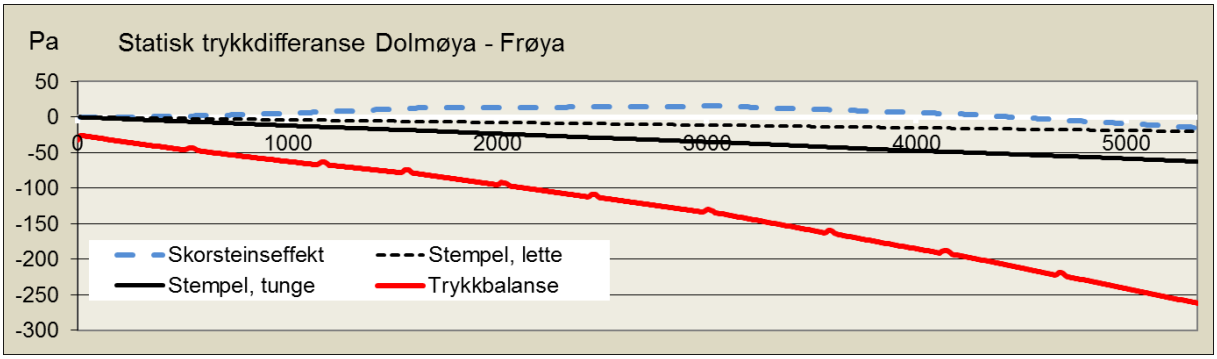


Figur 14 Eksempel - fartsendring gjennom tunnel med helning og stigning.

Videre vil tiden det tar å kjøre gjennom tunnelen beregnes, og dette danner så et grunnlag for blant annet hvor mange kjøretøy det er i tunnelen. N^+ for kjøreretning med luftstrømmen, og N^- mot kjøreretningen, ganges så med hastigheten til kjøretøyet minus trekken.

I arkfane faktorer er resten av verdiene i formel 8 og 9. Det presiseres at formfaktor i_F må justeres for det som blir mest aktuelt, denne verdien ligger mellom 1,0 og 1,7.

Trykkbalansen blir summert gjennom hvert element og presenteres grafisk, figur 15.



Figur 15 Eksempel – trykkbalanse uten ventilasjon.

Dette danner dimensjoneringsgrunnlaget for å etablere et ventilasjonsanlegg. I håndboken tas det utgangspunkt i nødvendig skyvkraft, se formel 10.

$$Dimensjonerende\ skyvkraft = \frac{Dim.\ nettoskyvkraft}{k_s} = \frac{P_F + \sum_1^n \Delta p_n \cdot A_n}{k_s} [N]$$

Formel 10 Dimensjonerende skyvkraft (Vegdirektoratet 2010, 106)

I modellen skal du legge inn ventilasjonsanlegget, men dette gjøres i inngangsdata for brann.

I tillegg til ventilasjonsanlegg er det andre endringer som er mulig, deriblant etablering av nisjer og energioverføring fra kjøretøyene i tunnelen, som omtalt.

Plassering av nisjer bør kontrolleres med inngangsdata, her kan du legge inn ulike tunnelprofil for å få en god modellering. Profilnummeret som du la inn i arkfane start skal hente verdi automatisk, men dette må kontrolleres. Modellen tar høyde for at lengden av havarinisjen er 50 meter, dersom utformingen er ulikt fra dette må dette justeres med å legge til eller fjerne verdier i kolonne. Fra tunnelprofilet henter modellen en gitt økning for tverrsnittet. Ved å justere dette kan nisjer defineres slik det måtte ønskes.

Normalt profil	Forslag Havari-nisje.
T11	
T11	T12,5
T11	T14
T11	T14
T11	T14
T11	T12,5

Tabell 11 Eksempel - oppbygging av havarinisjer

Siste del av beregningene tar for seg energitilførsel, hvor 3 energikilder er lagt inn. Dette er energi som følge av drivstofforbruk fra kjøretøy, kinetisk energi som følge av utført arbeid og energi fra varmeoverføring i tunnelveggen. Denne energioverføringen er en del av skorsteineffekten, men utgjør heller liten del av temperaturendringen.

Inngangsdata – Brann A og Brann B

For å beregne brannventilasjonen henter modellen inngangsdata fra geometridata.

Kravene til brannventilasjon er omtalt tidligere. I modellen legger du inn den den dimensjonerende brannen og tid fra brannstart, dette danner grunnlaget for varmeutviklingen. Responstiden til stenging er med på å beregne antall kjøretøy som kommer inn i tunnelen. Beregningene tar høyde for at kjøretøy som er foran brannstedet kjører ut av tunnelen. Sotfaktor er et forhold som skal gjenspeile ufullstendig forbrenning, denne verdien vil øke mengde brennbart stoff. Hvor brannen skal starte er mulig å variere i tunnelen, for enkelt å vurdere flere resultater.

Modellen gir deg muligheter til å legge inn verdier for to typer impulsvifter, symmetriske og a-symmetriske. Justering av diameter på viftehjulet, motoreffekt, hastigheten på luft ut av viften, teoretisk skyvkraft av luft, i tillegg til systemkoeffisient for dimensjonerende skyvkraft, er mulig her. Normal avstand mellom viftepar og hvor mange vifter per profil brukes i arket for å angi plassering og hvor stor effekt ventilasjonsanlegget gir, du kan ha inntil 3 vifter per profil, i figur 16 er eksempelvis 2 vifter.

Dimensjonerande brann	20	MW
Tid frå brannstart	60	minutt
Tid til stenging	5	minutt
Sotfaktor	10 %	
Avstand frå tunnelportal til brann	3500	m
Utetemperatur ved portal A	0	oC
Bergtemperatur i tunnelen	0	oC
Vind ved portal A	5	m/s
Vind ved portal B	0	m/s
Lufttrykk ved portal A	970	mb

Impulsvifter (S = sym., A = a-sym.)	S	A
Diameter på viftehjulet (mm)	1120	1120
Motoreffekt, kW (målt på aksling)	5	22
Fart på lufta ut av vifta (m/s)	13,2	31
Teoretisk skuvkraft ved 1,20 kg/m3 (N)	375	1000
Normal avstand mellom viftene (m)	130	130
Ant. viter i kvart profil (stk.)	2	2
Systemkoeffisient	70 %	70 %

Figur 16 Eksempel - inngangsdata fra arkfane «Brann_A» 1.

Relativ temperaturfordeling er mulig å justere i forhold til tak, vegg og kjørebane, dette vil påvirke oppdrift av røyk. I tillegg legges inn maksimal avstand for kø i tunnel mellom brannsted og tunnelportal.

Plassering av ventilasjonsanlegg gjøres ved å legge inn profilnummer, som omregnes til avstand fra portal. Du kan legge inn inntil 14 plasseringer i tunnelen med til sammen 6 påfølgende viftepar, etter normalavstand mellom viftene.

Oppbygging av ventilasjonsanlegget styres ved å legge inn symbol for symmetriske eller a-symmetriske vifter. Ved å sette verdi «OK» eller «Av», vil modellen regne ut trykket som blir generert av viftene som er i drift. I figur 17 er eksempelvis viftepar ved profil 1950 ute av drift, (1820 + 130).

Styring av vifter					
Avstand frå portal til 1. viftepar i gruppa	1040	1820	2600	3380	4160
Viftetype (S=symmetrisk, A=asymmetrisk)	S	A	A	S	S
Brannklasse	F200	F200	F200	F200	F200
Par 1	OK	OK	OK	OK	OK
Par 2	OK	Av	OK	OK	OK
Par 3					
Par 4					
Par 5					
Par 6					

Figur 17 Eksempel - inngangsdata fra arkfane «Brann_A» 2.

Hastigheten til luften i tunnelen tar utgangspunkt i hvilken brann som er dimensjonerende. Minste lufthastighet i modellen er ved 3,5 m/s. Håndboken sier minimum 2 m/s, og dette kan justeres ved å legge inn egen verdi. Denne hastigheten er viktig, målet er å få en jevn luftstrøm slik at røyken føres kontrollert i ønsket retning.

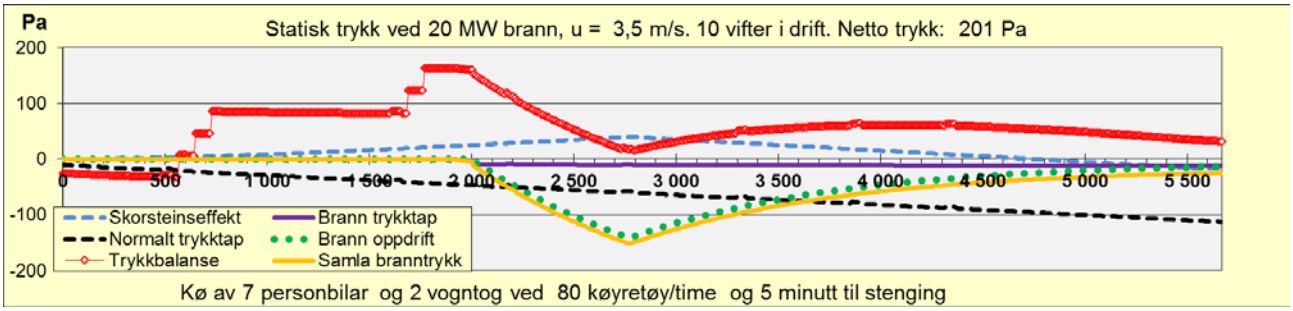
Modellen tar så inngangsdata og starter beregningen. I tillegg til spørsmålet om hvordan det statiske trykket fordeler seg gjennom tunnelen, får du opp data som temperaturstigning over brannområdet og hvor mange kjøretøy som vil befinne seg inne i tunnelen. Kjøretøy som befinner seg i tunnelen er derimot litt usikker faktor, siden det er eksempler hvor bilister har passert brannstedet, kunne Gunnar Lotsberg fortelle.

Beregninger – Data A og Data B

N500 Vedlegg D og modellen - Brannventilasjon

I håndboken er det hovedsakelig avlesing av figurer, uten spesiell forklaring, så sammenlikning er ikke mulig, forklaring av Vedlegg D er gjort tidligere.

Beregningene i modellen lager et bilde av flere trykkparametere gjennom tunnelen, der trykkbalansen er hovedfokuset. For å ha kontroll på brannen må trykkbalansen, rød linje, være over 0 Pa helt til høyre i figur 18. Dersom denne er under har du ikke nok kapasitet i viftene til å skape trykkbalanse med gitt ventilasjonshastighet.



Figur 18 Eksempel - trykkverdier ved dimensjonerende brann.

For å komme fram til dette resultatet ligger det en del beregninger bak. Som i beregninger for luftkvaliteten er dette gjort med tanke på hver elementlengde. Verdier som angår tunnelens utforming går igjen fra tidligere, som standardverdier etter tunnelprofilet.

Trykkbalansen er summasjonen av trykkbalansen uten vifter og med vifter. Oppdelingen er for å kunne slå av eller på viftene. Inngangsdata fra viftene legges så sammen med lufttettheten under taket ved brann, som vil ved brann være lavere enn gjennomsnittet og tverrsnittet av tunnelen. For trykkbalansen uten vifter er det flere faktorer som summeres sammen, dette gjelder blant annet skorsteinseffekten som vist i figur 18. I tillegg er oppdrift, sum statisk trykktap ved brann, jet-effekt fra brannen inkludert sotproduksjon og følger av brann i vogntog som blir forklart under.

Beregningene er delt opp i over 70 koloner og det minnes på at dette ikke er like komplisert som en CFD-modellering. Dette er trolig en av grunnene for at håndboken er litt mindre detaljert i beregningene, og henviser til figurer.

Beregningene starter med temperatur, som skal danne grunnlaget for lufttemperaturen og temperaturen i vegg/fjellet for hvert element. Temperaturen i vegg starter på 75 % utetemperatur og resten bergtemperatur, denne justeres så mot bergtemperatur med 1 ‰ per elementlengde. Lufttemperaturen utgjør temperaturen ved portal og blir justert med differansen mellom temperatur i luft og temperatur i vegg, dette gjør at luften nærmer seg bergtemperatur for hvert snitt.

Temperaturdifferansen mellom luft og vegg genererer en energiendring, som kalles normalt varmetap. Dette blir beregnet ved å ta varmeovergangstallet × overflaten til tunnelen × temperaturdifferansen, varmetapet oppgis i kW.

Normalt temperaturfall per elementlengde blir dermed varmetapet dividert med energibehovet for 1 grads endring i temperaturen i luft, dette er før brann.

Lufttrykket før en brann beregnes ved å ta utgangspunktet i temperatur som tidligere, for å finne normalsituasjonen. Dimensjonerende lufttrykk som oppgitt i inngangsdata er utgangspunktet. Siden trykket er oppgitt i millibar, omgjøres dette til Pa. For hvert element kalkuleres så det statiske trykket som følge av endring i høyden, som i beregningene for skyvkraft, som tidligere omtalt.

Dette trykket danner så to lufttetthetsverdier, en for referanse-luftsøylen og en for inn i tunnelen. Forskjellen på disse er temperaturen ute og temperaturen inne i tunnelen. Tettheten til luften øker litt med lavere temperatur.

Lufttettheten inne i tunnelen blir så brukt for å finne det dynamiske trykket, som er nødvendig for å få en jevn luftstrøm på dimensjonerende trekk. For dimensjonerende trekk brukes verdiene i figuren 19, eller overstyrende verdi. Lufthastigheten for hvert snitt endres, med tanke på tverrsnittet og lufttetthet.

		Effekt	20	50	100	200	MW
Ant. vogntog i brannen	0,2	stk	0,2	0,5	1	2	stk
	Trekk		3,5	3,5	4,5	5	m/s

Figur 19 Eksempel - dimensjonerende vindhastighet for branner

Statisk trykktap blir så kalkulert tilsvarende som for luftkvalitet. Summasjonen av det statiske trykktapet blir så tegnet som den sorte stiplet linjen i figur 18 side 35, normalt trykktap.

Skorsteinseffekten, som er den blå stiplet linjen i figur 18, er summasjon av trykkendringen som følge av lufttettheten gjennom tunnelen, tilsvarende som for luftkvalitet, her uten brann.

Modellen henter så avstanden mellom hver elementlengde og stedsangivelsen av brannen. For å finne ut trykktapet på grunn av brann og oppdriften skapt av brannen, må verdiene kalkuleres på nytt.

Først finner modellen temperaturstigningen i det elementet hvor brannen er. Dette beregnes av dimensjonerende branneffekt dividert med energien som krever for å varme opp luft med 1 grad, som igjen henger sammen med lufthastigheten. Temperaturstigningen fører til en differanse mellom lufttemperaturen og temperaturen i omgivelsene i brannstedet og dette forplanter seg videre i tunnelen.

Summasjonen av temperaturen i vegg, og generert varme gir så temperaturen i det elementet. Temperaturen i elementet blir så fordelt på tak, vegg og kjørebane, etter fordeling som oppgitt i relativ temperaturfordeling, som sagt tidligere.

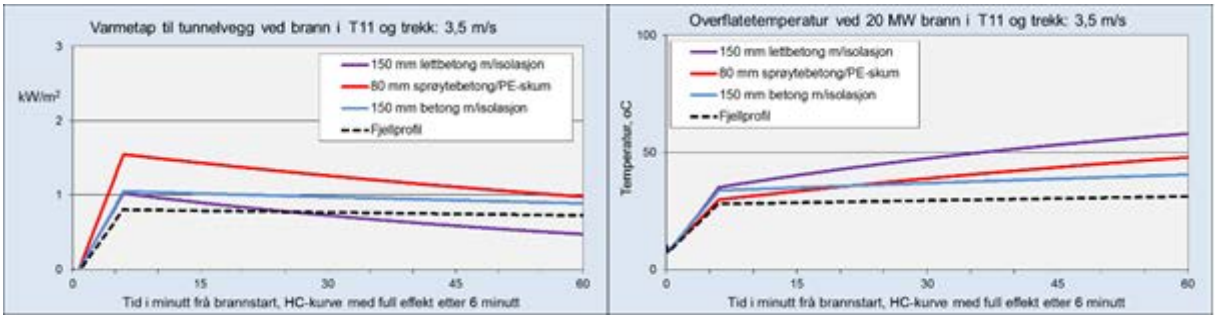
Temperaturfordelingen tar utgangspunkt i hvilken kledning som er i tunnelen, som fjell/PE-skum, betongelement eller lettbetong i figur 10, side 27. Disse materialene har ulik varmeutvikling over tid, og gir dermed forskjellig varmetap.

Tunnelens overflaten for tak, vegg og kjørebane gitt ved;

- Vegg 3,5 meter på hver side
- Tak buelengden minus vegg
- Kjørebane vegbane + skulder.

Hvor stor andel av, for eksempel, fjell er for hver elementlengde hentes fra geometridata. Beregningene for varmeutviklingen for hvert material er den mest komplekse delen. Enkelt forklart er det, fra brannen startet til den når sin fulle effekt, som vanligvis skjer i løpet av 5-10 minutter, påvirkes temperaturen til materialet frem til dimensjonerende tid (60 minutter).

Hvert material har sin varmeutvikling basert på en fastsatt tykkelse og varmeledningsevne. Dette gir et varmetap til omgivelsene, som videre gir en overflatetemperatur til materialet, som du kan se i figur 20.



Figur 20 Eksempel - varmetap og overflatetemperatur for ulike material.

Disse beregningene gir så en %-fordeling mellom lufttemperatur og materialet. Varmetapet for tak, vegg og kjørebane blir kalkulert og vi får et totalt varmetap gjennom tunnelen.

På grunn av varmetapet blir temperaturen, for hvert element, lavere etter hvert som du distanserer deg fra brannkilden. Dette fører til at lufttettheten endrer seg, dette beregnes for temperaturen gjennom hele elementet og for temperaturen ved tak. Siden varmen er høyere i tak blir også lufttettheten lavere her. Fordelingen er jevn, journalen *Runehamar tunnel fire test* (Ingason, Li og Lönnermark 2014) viser til at temperaturen faller på to måter som kan tyde på at modellen er noe for enkel her.

Trykkstigningen ved brann beregnes, som gjøres ved å multiplisere normal trykkstigning med forholdet av lufttettheten med og uten brann. Det fallende trykket skaper så en oppdrift, og denne summeres og danner den grønne prikke linjen i figur 18, side 35.

Trykktapet på grunn av brannen, den lilla heltrukne linjen i figur 18, er summasjon av, tidligere brann trykktap gjennom tunnelen, statisk trykktap ved brann inkludert kø, jet-effekt fra brann inkludert sotproduksjon og brann i vogntog, fratrukket normalt statisk trykk. Dette trykktapet vil sjelden dominere for samlet branntrykk, siden jet-effekt og brann i vogn skjer kun i det snittet hvor brannen oppstår. Samtidig vil det statiske trykket som følge av en liten brann ikke være vesentlig forskjell fra normalt statisk trykk.

Ved kraftigere brann vil trekken økes, og dette gir ett høyere utslag på det statiske trykket, siden trykket baserer seg på lufthastigheten opphøyd i andre, men oppdriften er likevel dominerende i de fleste tilfeller, gul heltrukket linje i figur 18.

Den siste faktoren for beregningene er da å summere sammen trykket generert av viftene gjennom tunnelen. Viftene blir lagt inn i profilnummeret og kraften til vifteparet er teoretisk skyvkraft multiplisert med systemkoeffisienten. Siden lufttettheten er mindre i taket ganges dette med lufttetthet og deles på 1,2 som er lufttettheten ved teoretisk skyvkraft. Lufthastighetene som går ut av viften er ved null trekk, vinden i tunnelen utgjør en tilleggsfaktor, så ved å trekke fra dette fra lufthastigheten ut av vinden justeres så effekten av viften noe. Kraften er i Newton, denne deles på tverrsnittet for å på enheten i Pa.

Trykkbalansen, den røde linjen på figur 18, er summasjonen av alle trykk-komponenter. Trykk på grunn av vind mellom portalene legges til først, dette er innløpstapet. Deretter summeres, skorsteineffekten og samlet branntrykk, inklusive normalt statistisk trykk. Trykket fra viftene legges kun til dersom resttrykket er negativt. Resttrykket er det totale trykket uten vifter gjennom tunnelen. Dersom trykket er over null ved utløp klarer tunnelen å holde dimensjonerende trekk gjennom tunnelen.

Valg av parametere

Brannventilasjon

Vindhastigheten er det som er avgjørende for om brannen kontrolleres, hvilken hastighet som bør styres etter er det gjort studier på. Artikkel Optimalization on Emergency Longitudinal Ventilation Design (Camby m.fl. 2010) tar opp dette, og håndboken sier at minst 2 m/s må tilfredstilles. Dersom hastigheten blir for stor vil røyken virvles i hele tunnelløpet og har du for liten hastighet vil røyken drive mot ønsket ventilasjonsretning. En kritisk hastighet blir når røyken holdes mest mulig konsentrert i taket grunnet høyere temperatur.

I modellen er denne verdien som sagt sett til 3,5 m/s som dimensjonerende, ved å justere denne mellom 3,5 og 2 vil være med å vurdere om viftene har tilstrekkelig kapasitet.

Plassering av brannsted bør vurderes for hele tunnelens lengde. Enkelte steder kan være mer kritisk enn andre, med tanke på innsatstid for brannvesenet eller hvor tunnelene har større sannsynlighet for ulykker.

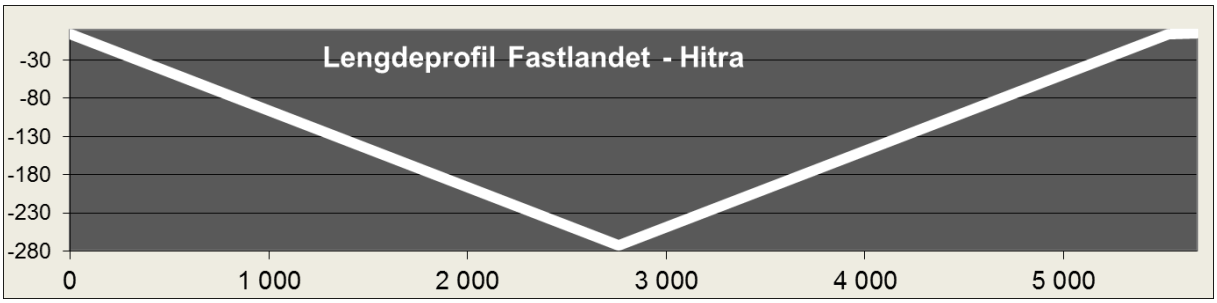
Modellering av Hitratunnelen

Inngangsdata

Arkfane - Start

Modelleringen av Hitratunnelen er tatt med utgangspunkt i tegninger fra utførelsen i 1994. Tegningshefter er lagret i papirutgave hos Statens vegvesen, digitale filer var ikke tilgjengelige. Endringer i tunnelløpet er derimot ikke utført av vesentlig grad siden tunnelen var ny.

Tegningsgrunnlaget gir at tunnelen har stigning på 10,0% for begge sider av knekkpunktet i vertikalkurvaturen.



Figur 21 Vertikalkurvatur - Hitratunnelen

Hovedsakelig er Hitratunnelen bart fjell. I endene av tunnelen og i bunn av tunnel er det uisolert betongelement langs vegene og beskyttet PE-skum med sprut betong i tak/hvelv. Utstrekningen av dette er på ca. 400 meter for hvert område.

Tunnelen er som referert i tekniske data, T11 standard fra 1994. Normalt brukes ikke dimensjonerende vindstyrke ved portaler å legges inn i prosjekteringsfase for nye tunneler, da dette er ukjente verdier frem til tunnelen er ferdig sprengt. For Hitratunnelen er det erfaringer som tilsier at vinden går gjennom tunnelen mot fastlandet, dimensjonerende vindstyrke legges til lett bris på 5 m/s fra Hitra. Dimensjonerende lufttrykket settes til 970 millibar. Dimensjonerende temperatur settes til 15°C ute og 10°C inne i tunnelen, grunnet kystlandskap. Trykktapskoeffisient/strømningstap settes til 0,026 og varmeovergangstall settes lik anbefalingene i håndboken til 20 W/m^2 °K. Grenseverdier for støv, NO og NO_2 settes lik verdier som det går frem av krav til luftkvaliteten, hhv. 1,5 mg/m^3, 15 ppm og 1,5 ppm.

Tunnelen er toveistrafikk med ÅDT 1460. Dimensjonerende time settes til 11 % og det settes like stor andel kjøretøy som kjører med og mot profilering. Andel lange kjøretøy hentes fra statistikk sammen med ÅDT, denne er for Hitratunnelen 20 %.

Energiforbruket er sett til 0,5 kg/mil og 4,0 kg/mil, for hhv. lette og tunge kjøretøy. Luftkvaliteten ved portalene er sett til 0 % av grenseverdier, grunnet det ikke er forventet spesielle utslipp nært noen av tunnelportalene.

Dimensjonerende vindhastighet gjennom tunnelen er satt tilsvarende 2,0 m/s for luftkvalitet. For brannventilasjon er vindhastigheten testet med 3,5 m/s og 2,0 m/s.

Totalt er det 8 havarinisjer og disse er plassert iht. «som-bygget»-tegninger.

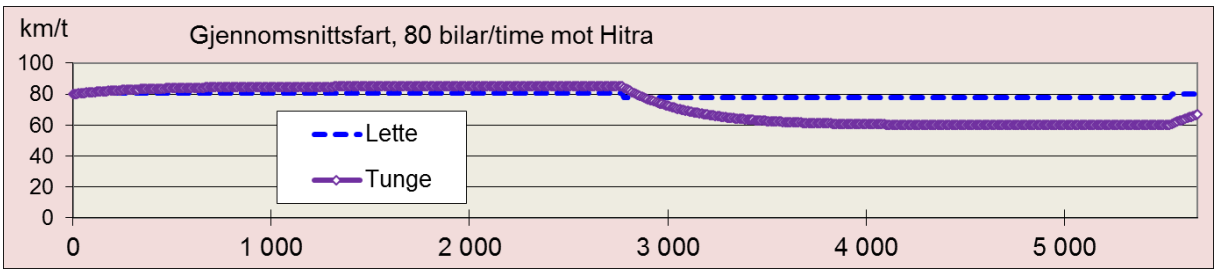
Inngangsdata										
Tunnelprofil	T11									
Dimensjonerande vindstyrke ved portalane (m/s)	0,0	5,0			Tovegstrafikk	ÅDT	1 460	køyretøy/døgn		
Dimensjonerande lufttrykk	960,0	mb			% av ÅDT i dimensjonerande time		11 %	161	kt/time	
Utetemperatur ved portalane	15	oC			% som køyrer med profileringa		50 %	80	kt/time	
Bergtemperatur	10	oC			% lange køyretøy (>7,5 m)		20 %	32	kt/time	
Trykktapskoeffisient:	0,026				Fartsgrense i tunnelen:		80	km/t		
Konvektivt varmeovergangstal	20	W/m^2 oK					Mot	Mot		
Emisjonsverdiar og grenseverdiar	Hb. 021 2010				Gjennomsnittsfart i tunnelen :		Hitra	Fastlandet		
Øvre grense støv	1,5	mg/m3				Lette	79,3	79,3	km/time	
Øvre grense NO	8	ppm				Tunge	73,5	73,9	km/time	
Øvre grense NO_2	1,5	ppm			Køyretid gjennom tunnelen:					
	Lette	Tunge				Lette	4,3	4,3	minutt	
Volum % NO_2 / NOx	10 %	10 %				Tunge	4,6	4,6	minutt	
Mot:	Hitra	Fastlandet				kg/mil				
Dimensjonerande trekk	1,26	1,26	m/s		Energibruk (diesel) lette	0,5	36	36	kg/time	
Manuell ventilasjonsstyring	2,00	2,00	m/s		tunge	4,0	73	73	kg/time	
Trekk i tunnelen	2,0	2,0	m/s		Tilført energi frå trafikken		1,3	1,3	MW	
Ventilasjonsnivå (% av maks. brannventilasjon)	44 %	Av			Diesel: 42,0	MJ/kg	0,2	0,2	kW/m	
Trykkbalanse	22	24	Pa							

Figur 22 Inngangsdata for ventilasjon - Hitratunnelen.

Arkfane – Faktorer

Verdier for stempeleffekt settes lik som i håndboken, men grunnet en stor andel store vogntog settes formfaktor til 1,7 som påvirker formel 8.

Faktorer som justeres hastigheten er justert spesielt slik at hastighetsprofil skal stemmer mer for dimensjonerende kjøretøy. Det kan tenkes at en andel av biltrafikken har høyere hastighet enn hva modellen legger opp til. Yrkessjåfører forventes holder fartsgrensen.



Figur 23 Fartsprofil for kjøretøy fra fastlandet til Hitra – Hitratunnelen.

Andre faktorer tar for seg varmegjennomgang i ulike materiell, her velges erfaringsverdier som brukes i andre modeller, og finnes i vedlegg.

Som kommentert er verdiene for emisjonsdata under revisjon, men håndbokens verdier brukes.

Arkfane – varme

Inngangsdata hentes hovedsakelig fra dimensjonerende brann og skal danne utviklingen av temperaturkurvene. Verdiene settes til full effekt etter 6 minutter og tidsintervall på 10 sekunder.

Siden Hitratunnelen er hovedsakelig fjell er det ikke gjort noe med inngangsverdiene i modellen. Dimensjonerende tykkelse for fjell er 250 mm, energiforbruk for å varme fjellet 1 grad er ca. 500 kJ/°K.

Arkfane – Retning A og B

For fartsgrunnlaget er andel lettekjøretøy som kjører etter fartsgrensen 90 % og etter stigningsforhold 10 %, andel tungekjøretøy er henholdsvis 97 % og 3 %. Verdiene her er for å danne en generell gjennomsnittshastighet for hver elementlengde, og utgangspunktet er at

farten ikke skal være nevneverdig høyere enn fartsgrensen, spesielt med tanke på at det finnes automatisk trafikkontroll (ATK) i tunnelen. Tungekjøretøy i motbakke har følgelig lavere hastighet.

Havarinisjer er bygd opp etter profilnummer og utformet som figur 24 viser.

T11	T12
T11	T14
T11	T14
T11	T14
T11	T12

Figur 24 Utforming av havarinisjer - Hitratunnelen

Arkfane – Brann A og B

Dimensjonerende brann for Hitratunnelen er 20 MW, grunnet den faller inn under tunnelklasse B med utvidet tverrsnitt.

20 MW tilsvarer brann i en varebil, siden tungekjøretøy er så stor andel av trafikken er det dermed også testet for 50 MW, som blir lagt ved i resultat.

Tid for brannen er sett til 60 minutter og tid fra brann til stenging er 5 minutter. Sotfaktor er sett til 10 %.

Avstandene til brann er testet gjennom hele tunnelens lengde.

Impulsviftene er symmetrisk, figur 25 og 26 lister opp inngangsverdier i kolonne S. Systemkoeffisienten for viftene er sett til 90 % grunnet det er usikkerhet i tilstanden og resultatet må sees i lys av dette.

Lufthastigheten er testet for 3,5 m/s etter modellen og overstyrt med 2,0 m/s etter krav i håndbok.

Relativtemperaturfordeling er sett for hhv. tak, vegg og kjørebane, 125 %, 90 % og 50 %.

Dimensjonerande brann	20	MW	**Impulsvifter (S = sym., A = a-sym.)**		**S**	**A**
Tid frå brannstart	60	minutt	Diameter på viftehjulet (mm)		1120	1300
Tid til stenging	5	minutt	Motoreffekt, kW (målt på aksling)		45	30
Sotfaktor	10 %		Fart på lufta ut av vifta (m/s)		30	31
Avstand frå tunnelportal til brann	1500	m	Teoretisk skuvkraft ved 1,20 kg/m3 (N)		1120	1000
Utetemperatur ved portal A	15	oC	Normal avstand mellom viftene (m)		60	100
Bergtemperatur i tunnelen	10	oC	Ant. vifter i kvart profil (stk.)		2	2
Vind ved portal A	0	m/s	Systemkoeffisient		90 %	70 %
Vind ved portal B	5	m/s	Brennbart stoff (tilsvarande mengde diesel)		0,5	kg/s
Lufttrykk ved portal A	960	mb	Trekk inn frå Fastlandet		3,5	m/s
Relativ temperaturfordelig, % av gjennomsnitt	Tak	125 %	Vegg 90 %	Køyrebane 50 %		

Figur 25 Brannventilasjon Fastlandet – Hitra – Hitraunnelen.

Dimensjonerande brann	20	MW	**Impulsvifter (S = sym., A = a-sym.)**	**S**	**A**
Tid frå brannstart	60	minutt	Diameter på viftehjulet (mm)	1120	1120
Tid til stenging	5	minutt	Motoreffekt, kW (målt på aksling)	45	22
Sotfaktor	10 %		Fart på lufta ut av vifta (m/s)	30	31
Avstand frå tunnelportal til brann	1500	m	Teoretisk skuvkraft ved 1,20 kg/m3 (N)	1120	1000
Utetemperatur ved portal A	15	oC	Normal avstand mellom viftene (m)	60	60
Bergtemperatur i tunnelen	10	oC	Ant. vifter i kvart profil (stk.)	2	2
Vind ved portal B	0	m/s	Systemkoeffisient	90 %	90 %
Vind ved portal A	5	m/s	Brennbart stoff (tilsvarande mengde diesel)	0,5	kg/s
Lufttrykk ved portal A	960	mb	Trekk inn frå Hitra	3,5	m/s
Relativ temperaturfordelig, % av gjennomsnitt	Tak	125 %	Vegg 90 %	Køyrebane	50 %

Figur 26 Brannventilasjon Hitra – Fastlandet – Hitraunnelen.

Viftene er plassert i par gjennom tunnelen som i figur 27, ingen påfølgende viftepar.

Styring av vifter									
Avstand frå portal til 1. viftepar i gruppa	1700	1800	1900	2920	3020	4000	4100	4200	4300
Viftetype (S=symmetrisk, A=asymmetrisk)	S	S	S	S	S	S	S	S	S
Brannklasse	F200	F200	F200	F200	F200	F200	F200	F200	F200
Par 1	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Par 2									
Par 3									

Figur 27 Plassering viftepar etter modell – Hitratunnelen.

Inne i tunnelen er det sett at det ikke skal forekomme kø i tunnelen om avstanden fra portal til brann er under 100 meter. Lengden av lettekjøretøy er sett til 4,8 meter og lange er sett til 22 meter, etter figur 52, side 59.

Ingen kø ved avstand frå portal til brann mindre enn				100	m
Brutto i kø	Lengde av kø	Element stk	Bilar pr. element	Kø startprofil	Kø sluttprofil
4,8	33,6		1,00	**1405**	**1475**	7
22	37		0,24			1,7
Sum	70	7,0215			

Figur 28 Kødannelse og dimensjonerende kjøretøy - Hitratunnelen

Arkfane – Data A og Data B

Ingen verdier legges her, men kontroll av logiske feil.

Analysering i modellen

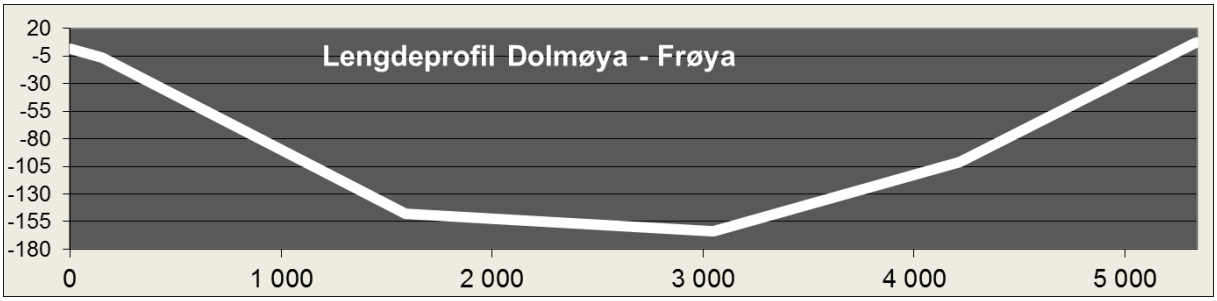
Ved å endre på avstand fra portal til brann, figur 25 og 26, gir modellen ulike resultater av trykkbalanse. Avstanden som gir positiv trykkbalanse er kritisk avstand og siden Hitratunnelen er undersjøisk vil resultatet være mellom portal og bunn av tunnel. Det er testet for ulik lufthastighet, 3,5 og 2,0 m/s, dette gir utslag på temperaturen i tunnelen.

Modellering av Frøyatunnelen

Inngangsdata

Arkfane - Start

Data fra tunnelen er lagt inn etter digitale som bygget-tegninger og er ikke kontrollert utover dette. Profilet starter på Dolmøya ved profil 3000 og ender på Frøya i profil 8335. Vertikalkurvatur er
-10%, ~0%, 5% og 10%.



Figur 29 Vertikalkurvatur - Frøyatunnelen

Tunnelen er i dag dekket av Giertsenduk, men denne vil antennes i en brann og røyk vil strømme langs fjellet.

Tunnelen er som referert i tekniske data T8 standard fra 2000. For dimensjonerende vindstyrke ved portaler for Frøyatunnelen er det erfaringer som tilsier at vinden går gjennom tunnelen mot Frøya, dimensjonerende vindstyrke legges til lett bris på 5 m/s fra Dolmøya. Dimensjonerende lufttrykket settes til 970 millibar. Som ved Hitratunnelen er Frøyatunnelen ute ved kysten og det er hovedsakelig stabile temperaturer, dimensjonerende temperatur settes til 15°C ute og 10°C inne i tunnelen. Trykktapskoeffisient og varmeovergangstall settes lik Hitratunnelen samme med grenseverdier for støv, NO og NO_2.

Tunnelen er toveistrafikk med ÅDT 1570. Dimensjonerende time settes til 11 % og det settes like stor andel kjøretøy som kjører med og mot profilering. Andel lange kjøretøy hentes fra statistikk sammen med ÅDT, denne er for Frøyatunnelen 20 %.

Energiforbruk lette og tunge er lik som Hitratunnelen, og det er heller ikke her forventet dannelse av lokal NO_2.

Dimensjonerende vindhastighet gjennom tunnelen er satt tilsvarende 2,0 m/s for luftkvalitet. For brannventilasjon er vindhastigheten testet med 3,5 m/s og 2,0 m/s.

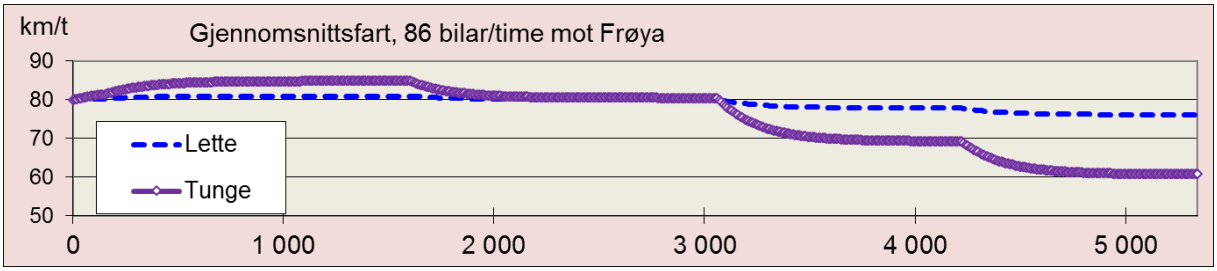
Totalt er det 9 havarinisjer og disse er plassert utifra som-bygget tegninger.

Inngangsdata									
Tunnelprofil	T8								
Dimensjonerande vindstyrke ved portalane (m/s)	5,0	0,0			Tovegstrafikk	ÅDT	1 570	køyretøy/døgn	
Dimensjonerande lufttrykk	960,0	mb			% av ÅDT i dimensjonerande time		11 %	173	kt/time
Utetemperatur ved portalane	15	oC			% som køyrer med profileringa		50 %	86	kt/time
Bergtemperatur	10	oC			% lange køyretøy (>7,5 m)		20 %	35	kt/time
Trykktapskoeffisient:	0,026				Fartsgrense i tunnelen:		80	km/t	
Konvektivt varmeovergangstal	20	W/m^2 oK					Mot	Mot	
Emisjonsverdiar og grenseverdiar	Hb. 021 2010				Gjennomsnittsfart i tunnelen :		Frøya	Dolmøya	
Øvre grense støv	1,5	mg/m3				Lette	79,2	79,2	km/time
Øvre grense NO	8	ppm				Tunge	75,9	76,0	km/time
Øvre grense NO_2	1,5	ppm			Køyretid gjennom tunnelen:				
	Lette	Tunge				Lette	4,0	4,0	minutt
Volum % NO_2 / NOx	10 %	10 %				Tunge	4,2	4,2	minutt
Mot:	Frøya	Dolmøya				kg/mil			
Dimensjonerande trekk	1,41	1,41	m/s		Energibruk (diesel) lette	0,5	37	37	kg/time
Manuell ventilasjonsstyring	2,00	2,00	m/s		tunge	4,0	74	74	kg/time
Trekk i tunnelen	2,00	2,00	m/s		Tilført energi frå trafikken		1,3	1,3	MW
Ventilasjonsnivå (% av maks. brannventilasjon)	41 %	Av			Diesel: 42,0	MJ/kg	0,2	0,2	kW/m
Trykkbalanse	4	6	Pa						

Figur 30 Inngangsdata for ventilasjon - Frøyatunnelen.

Arkfane – Faktorer

Verdiene er identiske som for Hitratunnelen.



Figur 31 Fartsprofil for kjøretøy fra Dolmøya til Frøya – Frøyatunnelen.

Arkfane – Varme

Verdiene er identiske som for Hitratunnelen.

Arkfane – Retning A og B

Som kommentert under Hitratunnelen legges det ikke inn vesentlig med inngangsdata her, men det er kontrollert at hele tunnelens profil er dekket av elementlengdene.

Havarinisjer er bygd opp etter profilnummer og utformet som figur 32 viser.

T8	T9
T8	T11
T8	T11
T8	T11
T8	T9

Figur 32 Utforming av havarinisjer – Frøyatunnelen

Arkfane – Brann A og B

Dimensjonerende brann for Frøya er satt til 20 MW, grunnet tunnelklasse B.

Som ved Hitratunnelen er tungekjøretøy en stor andel og dermed er det også testet for 50 MW, som blir lagt ved i resultat.

Avstandene til brann er testet gjennom hele tunnelens lengde.

Impulsviftene er symmetrisk og figur 33 og 34 lister opp inngangsverdier i kolonne S. Inngangsverdier er hentet fra produktark som ble levert ved utskifting av påkjørt vifte. Viftene skal være identiske. Systemkoeffisienten for viftene er sett til 70 % I produktdatabladet er derimot skyvkraften ~65 %, som tilsier at beregningene blir noe høyere enn hva produsenten lover, men dette kan være for at produsent skal sikre seg for feil.

Lufthastigheten er testet for 3,5 m/s etter modellen og overstyrt med 2,0 m/s etter krav i håndbok, som for Hitratunnelen.

Dimensjonerande brann	20	MW	**Impulsvifter (S = sym., A = a-sym.)**		**S**	**A**
Tid frå brannstart	60	minutt	Diameter på viftehjulet (mm)		960	1120
Tid til stenging	5	minutt	Motoreffekt, kW (målt på aksling)		7,5	22
Sotfaktor	10 %		Fart på lufta ut av vifta (m/s)		23,9	31
Avstand frå tunnelportal til brann	2000	m	Teoretisk skuvkraft ved 1,20 kg/m3 (N)		496	1000
Utetemperatur ved portal A	15	oC	Normal avstand mellom viftene (m)		130	130
Bergtemperatur i tunnelen	10	oC	Ant. vifter i kvart profil (stk.)		2	2
Vind ved portal A	5	m/s	Systemkoeffisient		70 %	70 %
Vind ved portal B	0	m/s	Brennbart stoff (tilsvarande mengde diesel)		0,5	kg/s
Lufttrykk ved portal A	960	mb	Trekk inn frå Dolmøya		3,5	m/s
Relativ temperaturfordelig, % av gjennomsnitt	Tak	125 %	Vegg 90 %	Køyrebane 50 %		

Figur 33 Brannventilasjon Dolmøya – Frøya – Frøyatunnelen.

Dimensjonerande brann	20	MW	**Impulsvifter (S = sym., A = a-sym.)**		**S**	**A**
Tid frå brannstart	60	minutt	Diameter på viftehjulet (mm)		960	1120
Tid til stenging	5	minutt	Motoreffekt, kW (målt på aksling)		7,5	22
Sotfaktor	10 %		Fart på lufta ut av vifta (m/s)		24,9	31
Avstand frå tunnelportal til brann	2000	m	Teoretisk skuvkraft ved 1,20 kg/m3 (N)		538	1000
Utetemperatur ved portal A	15	oC	Normal avstand mellom viftene (m)		130	60
Bergtemperatur i tunnelen	10	oC	Ant. vifter i kvart profil (stk.)		2	2
Vind ved portal B	5	m/s	Systemkoeffisient		70 %	90 %
Vind ved portal A	0	m/s	Brennbart stoff (tilsvarande mengde diesel)		0,5	kg/s
Lufttrykk ved portal A	960	mb	Trekk inn frå Frøya		3,5	m/s
Relativ temperaturfordelig, % av gjennomsnitt	Tak	125 %	Vegg 90 %	Køyrebane 50 %		

Figur 34 Brannventilasjon Frøya – Dolmøya – Frøyatunnelen.

Viftene er plassert i par gjennom tunnelen som tabell 12 og figur 35 viser.

Profilnr	1040	1170	1300	1430	1560	1820	1950	2080	2210	2340	2600
Avstand til neste	130	130	130	130	260	130	130	130	130	260	130
Profilnr	2730	2860	2990	3120	3380	3510	3640	3770	3900	4160	4290
Avstand til neste	130	130	130	260	130	130	130	130	260	130	

Tabell 12 Plassering viftepar med avstand til neste viftepar – Frøyatunnelen.

Styring av vifter					
Avstand frå portal til 1. viftepar i gruppa	1040	1820	2600	3380	4160
Viftetype (S=symmetrisk, A=asymmetrisk)	S	S	S	S	S
Brannklasse	F200	F200	F200	F200	F200
Par 1	OK	OK	OK	OK	OK
Par 2	OK	OK	OK	OK	OK
Par 3	OK	OK	OK	OK	
Par 4	OK	OK	OK	OK	
Par 5	OK	OK	OK	OK	
Par 6					

Figur 35 Plassering viftepar etter modell – Frøyatunnelen.

Inne i tunnelen er det sett at det ikke skal forekomme kø i tunnelen om avstanden fra portal til brann er under 100 meter. Lengden av lettekjøretøy er sett til 4,8 meter og lange er sett til 22 meter, som i Hitratunnelen.

Arkfane – Data A og Data B

Som for Hitratunnelen.

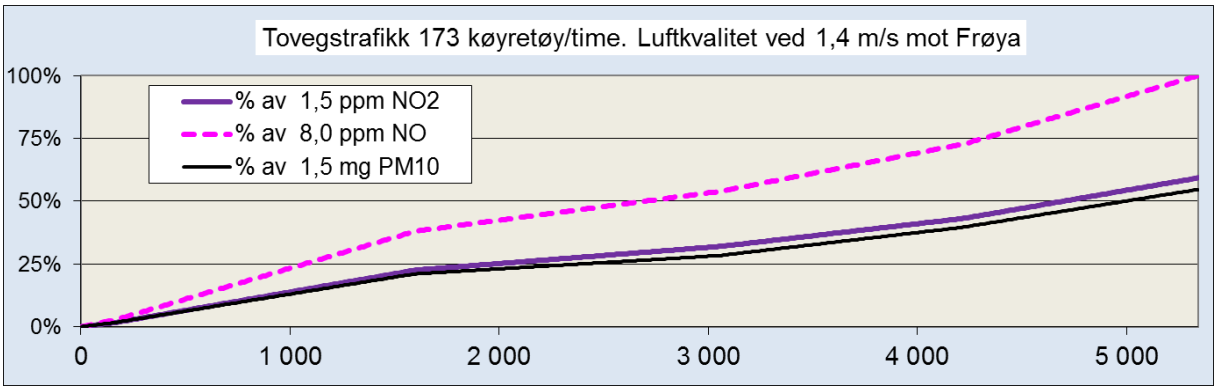
Analysering i modellen

Gjøres som i Hitratunnelen. Kritisk avstand er der trykkbalansen er positiv. Temperatur kontrolleres ved dimensjonerende lufthastighet.

Resultat etter modellberegning

Vurdering av resultat for luftkvalitet

Modellen beregner dimensjonerende lufthastighet hvor konsentrasjonen av gass akkurat tilfredsstiller krav, figur 36. Y-aksen er % av dimensjonerende konsentrasjon, figur 36 viser 100% av NO ved 8,0 ppm NO i enden av tunnelen.



Figur 36 Konsentrasjon av dimensjonerende luftkvalitet

Ved å legge inn en høyere lufthastighet, figur 37, blir konsentrasjonen lavere grunnet mer tilgang på friskluft. For å oppnå denne ventilasjonshastigheten vil modellen beregne hvor mange vifter som må stå på for å oppnå trykkbalanse, dette angis i % av totalt antall vifter i tunnelen.

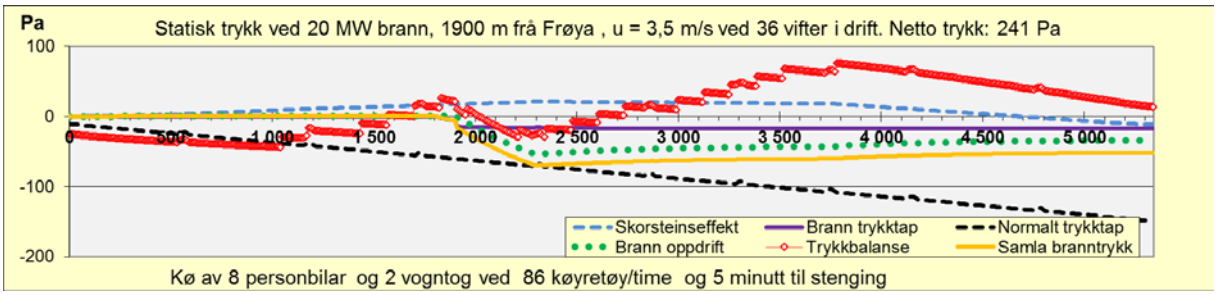
	Mot: Frøya	Dolmøya	
Dimensjonerande trekk	1,41	1,41	m/s
Manuell ventilasjonsstyring	**2,00**	**2,00**	m/s
Trekk i tunnelen	**2,00**	**2,00**	**m/s**
Ventilasjonsnivå (% av maks. brannventilasjon)	**45 %**	**Av**	

Figur 37Dimensjonerende trekk og styrt ventilasjon for luftkvalitet

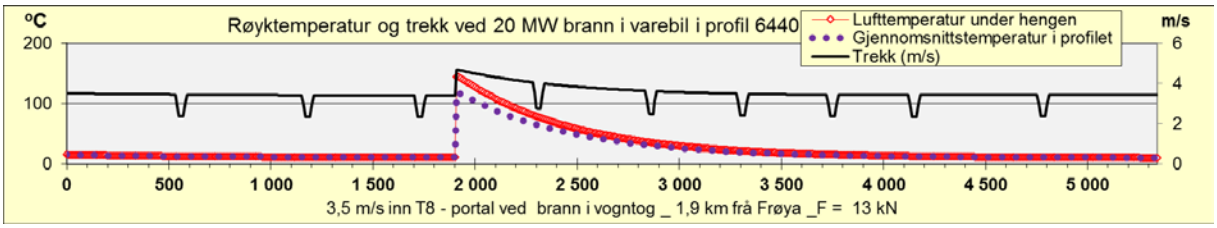
Vurdering av resultat for brannventilasjon

For at ventilasjonsanlegget skal kontrollere røyk ved brann, må ventilasjonsanlegget opprettholde dimensjonerende trekk gjennom hele tunnelen. Det er testet for lufthastighet med 2,0 og 3,5 m/s for 20 MW. I tillegg er 50 MW testet, men dette er ikke dimensjonerende krav.

Dersom trykkbalansen, den røde linjen i figur 38, for eksempel, er positiv i enden av tunnelen kan ventilasjonshastigheten opprettholdes, dersom den er negativ vil det ikke være nok kapasitet i ventilasjonsanlegget. I tillegg er temperaturen og lufthastigheten vist i resultater, dette gjøres ved å lese av figur 39, som genereres samtidig, tabell 38 og 39 henger sammen.

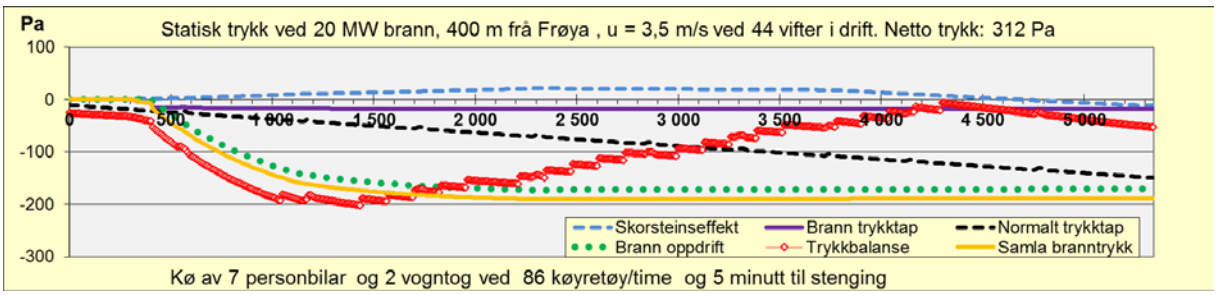


Figur 38 Eksempel fra modell - Positiv trykkbalanse ved brann 1900 m fra portal



Figur 39 Eksempel fra modell - Temperatur og trekk ved brann 1900 m fra portal

Figur 40 viser et resultat hvor trykkbalansen er negativ, som gir at ventilasjonsanlegget ikke gir nok trykk for å oppnå den angitte lufthastigheten, ved en brann i 400 m fra portal.



Figur 40 Eksempel fra modell - Negativ trykkbalanse ved brann 400 m fra portal

Tabell 13 og 14, side 50 og 52, viser resultatene fra modelleringen for hhv. Hitra- og Frøyatunnelen. Ved å teste ulike avstander er trykkbalansen hvor verdien er høyere enn 0 Pa funnet, etter oppgitt branneffekt og dimensjonerende lufthastighet.

Kolonne 4 «brannventilasjon tilfredsstiller ikke krav» angir strekning hvor det ikke er trykkbalanse i ventilasjonsanlegget og det er ikke kontroll på røyken fra brannen. Temperatur vil avgjøre om teknisk utstyr kan risikere funksjonssvikt, grunnet for lav brannmotstand.

Hitratunnelen

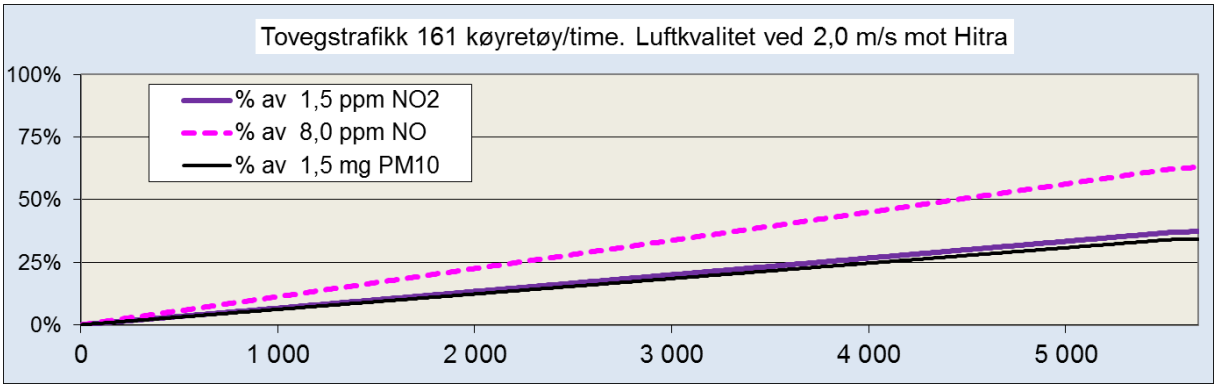
Luftkvalitet

Figur 36 viser nødvendig dimensjonerende trekk, gjennom tunnelen. Lufthastigheten må være 1,26 m/s for å skifte ut luften, basert på forurensning fra kjøretøy.

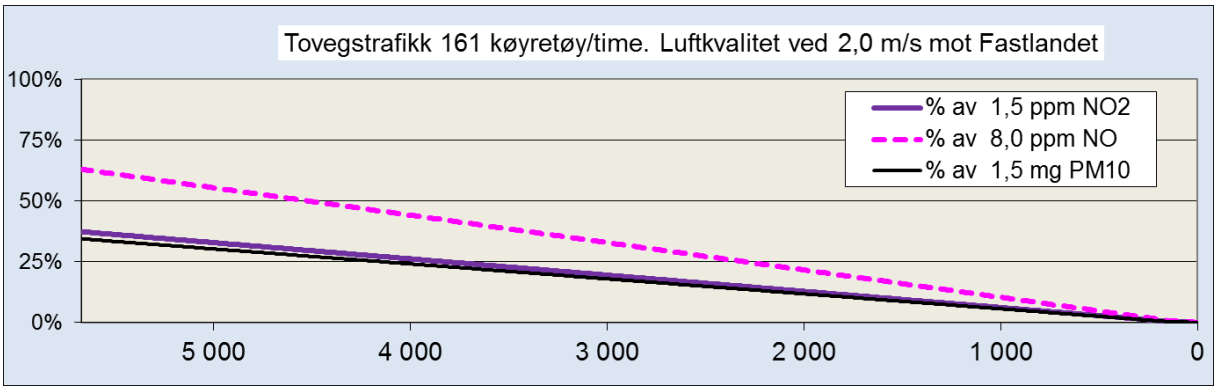
	Mot: Hitra	Fastlandet	
Dimensjonerande trekk	1,26	1,26	m/s
Manuell ventilasjonsstyring	**2,00**	**2,00**	m/s
Trekk i tunnelen	**2,0**	**2,0**	**m/s**
Ventilasjonsnivå (% av maks. brannventilasjon)	**44 %**	**Av**	

Figur 41 Resultat fra luftkvalitet - Hitratunnelen

Ved å sette ventilasjonshastigheten gjennom tunnelen til 2,0 m/s, vil 8 av viftene være i bruk for å opprettholde trykkbalansen, grenseverdiene for luftkvaliteten er vist i figur 37 og 38. Figur 37 og 38 gir ~60 % av NO som grenseverdi, som tilsvarer ~5 ppm NO.



Figur 42 Luftkvalitet ved 2,0 m/s trekk – Fastlandet – Hitra – Hitratunnelen



Figur 43 Luftkvalitet ved 2,0 m/s trekk – Hitra – Fastlandet – Hitratunnelen

Kravet til luftkvalitet er tilfredsstilt noe som var forventet. Ved hjelp av måling av gassene inne i tunnelen, vil dermed viftene kunne styres når fastsatte grenseverdier overstiges. For eksempel ved registrering av 3,0 ppm NO i bunn av tunnelen, vil viftene starte automatisk.

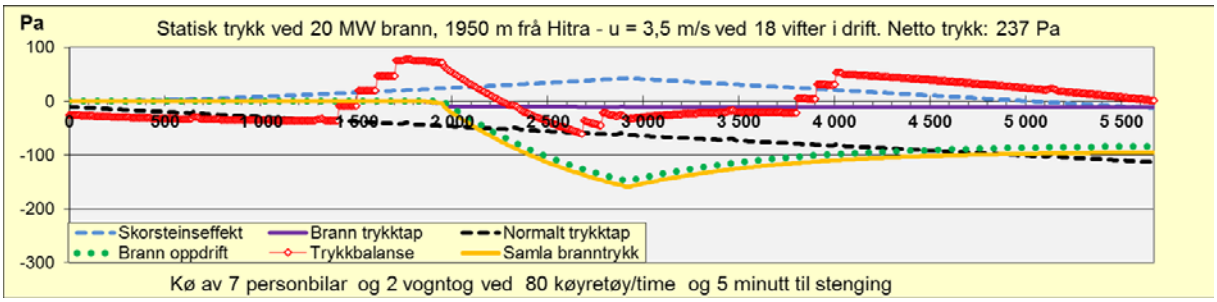
Ved å teste hvilken ÅDT som krever dimensjonerende vindhastighet på 2,0 m/s, for å holde grenseverdiene under kravet, viste resultatet en ÅDT på over 4 000.

Brannventilasjon

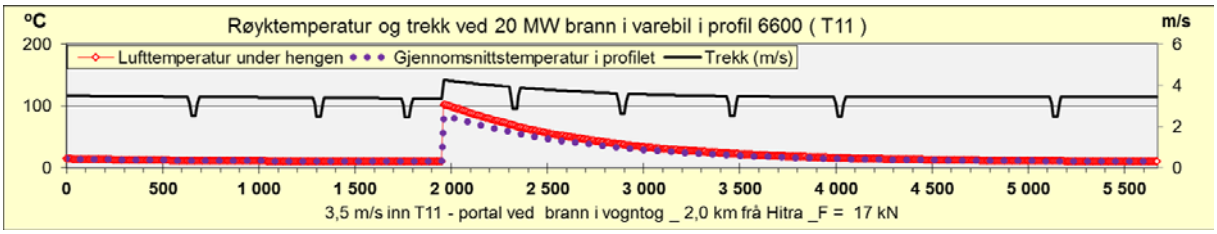
Tunnel		Brann-effekt	Luft-hastighet	Brannventilasjon tilfredsstiller ikke krav	Brannventilasjon tilfredsstiller krav	Temperatur i tak ved brannsted
Hitratunnelen	Fra fastland	20 MW	3,5 m/s	Fra 0 m til 1800 m	Fra 1800 m til 5670 m	100° C
	Fra fastland	20 MW	2,0 m/s	Fra 0 til 1050 m	Fra 1050 m til 5670 m	175° C
	Fra fastland	50 MW	3,5 m/s	Fra 0 til 2020 m	Fra 2090 m til 5670 m	250° C
	Fra fastland	50 MW	2,0 m/s	Fra 0 til 2090 m	Fra 2020 m til 5670 m	400° C
	Fra Hitra	20 MW	3,5 m/s	Fra 0 til 1950 m	Fra 1950 m til 5670 m	100° C
	Fra Hitra	20 MW	2,0 m/s	Fra 0 til 1610 m	Fra 1610 m til 5670 m	175° C
	Fra Hitra	50 MW	3,5 m/s	Fra 0 til 2200 m	Fra 2280 m til 5670 m	250° C
	Fra Hitra	50 MW	2,0 m/s	Fra 0 til 2280 m	Fra 2280 m til 5670 m	400° C

Tabell 13 Resultat – Brannventilasjon – Hitratunnelen

Komplett resultat i vedlegg, figur 44 og 45 forklarer resultat til tabell 13.



Figur 44 Resultat - Brannventilasjon - Fra Hitra ved brann 1950 m fra portal – Hitratunnelen



Figur 45 Resultat - Temperatur og trekk - Fra Hitra ved brann 1950 m fra portal – Hitratunnelen

Vi kan se trykkbalansen er positiv, rød linje figur 44, litt over 0 Pa, til høyre i enden av tunnelen. Trykket faller grunnet oppdrift fra brann, grønn linje, ned til bunn av tunnel hvor oppdriften snu og generere et positivt bidrag til trykkbalansen siden den varme luften vil stige med tunnelens geometri. Sprangene på rød linje er vifter.

Frøyatunnelen

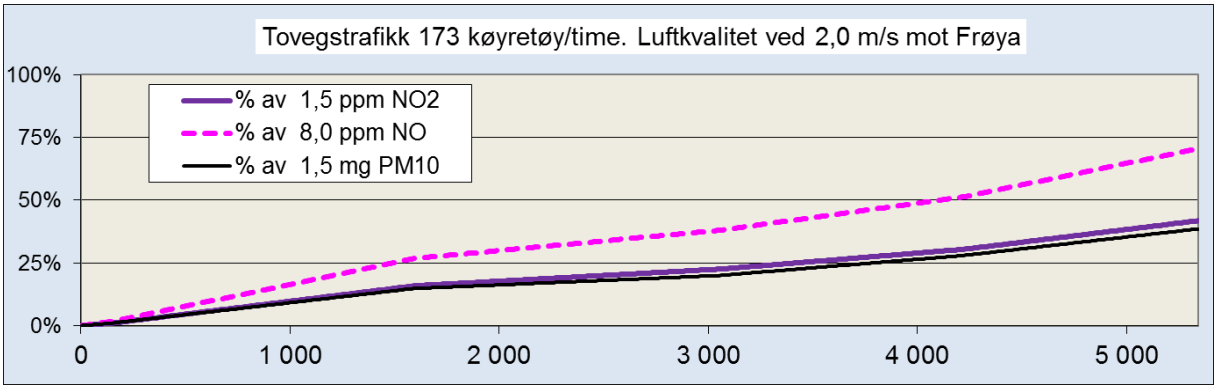
Luftkvalitet

Figur 55 viser nødvendig dimensjonerende trekk, gjennom tunnelen. Lufthastigheten må være 1,41 m/s for å skifte ut luften, basert på forurensning fra kjøretøy.

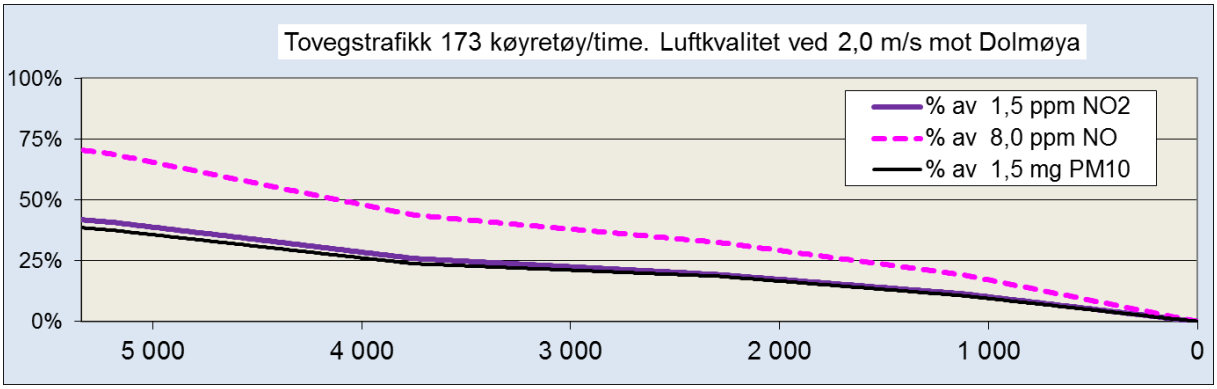
	Mot: Frøya	Dolmøya	
Dimensjonerande trekk	1,41	1,41	m/s
Manuell ventilasjonsstyring	**2,00**	**2,00**	m/s
Trekk i tunnelen	**2,00**	**2,00**	**m/s**
Ventilasjonsnivå (% av maks. brannventilasjon)	**45 %**	**Av**	

Figur 46 Resultat fra luftkvalitet - Frøyatunnelen

Ved å sette ventilasjonshastigheten gjennom tunnelen til 2,0 m/s, vil 20 av viftene være i bruk for å opprettholde trykkbalansen, grenseverdiene for luftkvaliteten er vist i figur 56 og 57.



Figur 47 Luftkvalitet ved 2,0 m/s trekk – Dolmøya – Frøya – Frøyatunnelen



Figur 48 Luftkvalitet ved 2,0 m/s trekk – Frøya – Dolmøya – Frøyatunnelen

Kravet til luftkvalitet kan dermed sies tilfredsstilt noe som var forventet. Ved hjelp av måling av gassene inne i tunnelen, vil dermed viftene kunne styres når fastsatte grenseverdier overstiges.

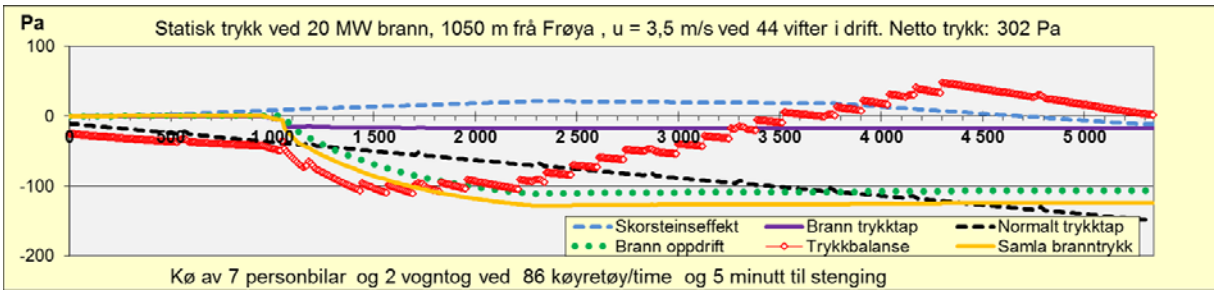
Tilsvarende som ved Hitratunnelen må ÅDT over 4 000 skal grenseverdiene oversiges ved en vindhastighet på 2 m/s.

Brannventilasjon

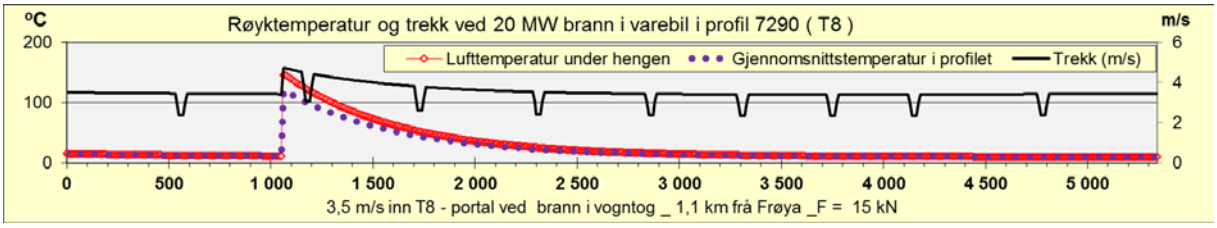
Tunnel		Brann-effekt	Luft-hastighet	Brannventilasjon tilfredsstiller ikke krav	Brannventilasjon tilfredsstiller krav	Temperatur i tak ved brannsted
Frøyatunnelen	Fra Dolmøya	20 MW	3,5 m/s	Fra 0 til 1360 m	Fra 1360 m til 5335 m	130° C
	Fra Dolmøya	20 MW	2,0 m/s	Fra 0 til 0 m	Fra 0 m til 5335 m	250° C
	Fra Dolmøya	50 MW	3,5 m/s	Fra 0 til 1570 m	Fra 1350 m til 5335 m	350° C
	Fra Dolmøya	50 MW	2,0 m/s	Fra 0 til 1350 m	Fra 1350 m til 5335 m	600° C
	Fra Frøya	20 MW	3,5 m/s	Fra 0 til 1050 m	Fra 1050 m til 5335 m	130° C
	Fra Frøya	20 MW	2,0 m/s	Fra 0 til 0 m	Fra 0 m til 5335 m	250° C
	Fra Frøya	50 MW	3,5 m/s	Fra 0 til 1940 m	Fra 1940 m til 5335 m	350° C
	Fra Frøya	50 MW	2,0 m/s	Fra 0 til 1050 m	Fra 1050 m til 5335 m	600° C

Tabell 14 Resultat – Brannventilasjon – Frøyatunnelen

Komplett resultat i vedlegg, figur 49 og 50 forklarer resultat til tabell 13.



Figur 49 Resultat - Brannventilasjon - Fra Frøya ved brann 1050 m fra portal – Frøyatunnelen



Figur 50 Resultat - Temperatur og trekk - Fra Frøya ved brann 1050 m fra portal – Frøyatunnelen

Vi kan se trykkbalansen er positiv, rød linje, litt over 0 Pa, i enden av tunnelen. Trykket faller grunnet oppdrift fra brann, grønn linje, ned til bunn av tunnel hvor oppdriften snu og generere et svakt positivt bidrag til trykkbalansen, siden avstanden fra brannen er stor er temperaturen differansen lavere, og dermed lufttettheten høyere, som gir mindre bidrag til oppdrift. Sprangene på rød linje er vifter.

Diskusjon

Ved hjelp av modellen er ventilasjonsanlegget for Hitra- og Frøyatunnelen analysert.

For å vurdere om luften inne i tunnelen tilfredsstiller grenseverdier for NO_x gasser og sikt er modellen et fint verktøy. Her beregnes friskluftbehovet og hvilken lufthastighet som må til for å opprettholde kravet. Dette beregnes òg fint ved hjelp av formler i håndbok N500 Vedlegg-C.

Resultatene viser at lufthastighet må være mellom 1,2-1,5 m/s for at luften skal skiftes ut fortere enn hva som blir produsert av gasser og støv. Etter samtale med byggeleder i Statens vegvesen er det sjelden målere registrerer for høye grenseverdier, derfor antas resultatet som sannsynlig.

Modellen gjør at du kan teste ulike grenseverdier hurtig, som kommentert tidligere vil trolig produksjon av emisjon fra kjøretøyparken bli oppdatert i neste revisjon av N500 Vegtunneler. En slik endring vil likevel ikke påvirke dimensjoneringen av ventilasjonsanlegget siden vindhastigheten kan økes uten større problem. En større faktor er om ÅDT øker, men også her vil verdiene tilsi at dette ikke er et problem. Økt ÅDT utgjør andre vesentlige sikkerhetsfaktorer enn luftkvalitet.

Vurdering av brannventilasjon håndterer modellen bedre enn det som går frem i håndbok N500 Vegtunneler Vedlegg-D, ved at brannen kan plasseres gjennom hele tunnelens lengde. Modellen er derimot ikke like avansert som de mest moderne beregningsverktøyer som finnes på markedet i dag, men den gir en god analytisk vurdering av brannventilasjon.

Resultatet viser forskjellige dimensjonerende hastigheter på luften ved brann hvor det er benyttet 2,0 og 3,5 m/s for dimensjonerende branneffekt på 20 MW. I tillegg er det tatt med branneffekt på 50 MW, dette er ikke dimensjonerende, men siden tunnelene har en høy andel tungekjøretøy er dette tatt med grunnet det er en reell fare for at et vogntog kan være involvert i en ulykke. Temperatur og lufthastighet er lagt ved for alle resultatene.

Hitratunnelen

Resultatene viser at ventilasjonsanlegget i Hitratunnelen ikke gir kontroll av røyken gjennom hele tunnelen, forutsatt at innsats må skje fra ene siden. Som vi kan se av tabell 13 side 50, vil for eksempel en innsats fra Hitra ikke være mulig, dersom dimensjonerende brann skjer mellom tunnelportalen og 1950 meter inn i tunnelen ved en vindhastighet på 3,5 m/s. Temperaturen vil være 100° C, dette er temperaturer som teknisk utstyr skal takle.

Ved en vindhastighet på 2,0 m/s vil temperaturen være 175° C, det er ikke oppgitt temperaturmotstand i dokumentasjonen, men inntil 200° C kan antas. Ved denne vindhastigheten vil ventilasjonsanlegget ha en kapasitet som tilsier at brannen kan skje etter 1600 meter, og innsats kan utføres fra Hitra.

Resultatet støttes opp av hendelsene i 2010, hvor brannvesenet ble møtt av en røykpropp når innsatsen skulle gjøres. Problem med orientering og evakuering satt brannvesenet i en utsatt situasjon, samtidig var det fare for at brannvesenet satt personer i evakuering i fare ved påkjørsel, grunnet sikten ble sterkt redusert. Beredskap fra Hitra konkluderes å være redusert, på grunn av ventilasjonsanlegget.

Alternativt kan innsatsen gjøres fra Krokstadøra, innsatstiden vil da være over 40 minutter.

Det er en risiko for at det tekniske utstyret kan være defekt innen den tid, siden ventilasjonsanlegget ikke er tilkoblet nødstrøm. Dersom strømtilførselen faller ut vil naturlig vind og oppdrift være eneste komponenter for vindhastighet. Nødstrøm som håndterer noe av utstyret er dimensjonert for 60 minutter, og risikoen for utfall av for eksempel belysning vil gjøre situasjonen mer utfordrende.

I forskriften står det at sikkerhetsutstyr som er uunnværlig for evakuering skal ha nødstrøm, i håndboken står det at ventilasjonsanlegg kan være en del av sikkerhetsutrustingen avhengig av brannvesenets behov.

Skulle det være trekk gjennom tunnelen mot fastlandet vil første del av røyken trekke i den retningen, så lenge oppdriften av brannen er lav. Blir oppdriften styrende snur røyken. Dette vil gi en endring av situasjonen, noe som er svært uheldig som dokumentert etter hendelsen i for eksempel Gudvangatunnelen. Personer som ikke oppfatter situasjonen kan tro de er i sikker sone og dermed reagerer for sakte for å komme seg i sikkerhet.

God informasjon og overvåkning vil hjelpe innsatsleder til å gjøre rettvurdering. En brann med høyere branneffekt kan forekomme og strategien for innsats må vurderes basert på ulike scenario.

Dersom det skjer en brann med 50 MW vil temperaturen være 250 og 400° C, og teknisk utstyr vil trolig være ute av drift i løpet av kort tid. Et alternativ er å sørge for høyere lufthastighet, men dette er avhengig av om strømtilførselen er intakt. Tilførselen av mer luft som passerer brannen vil derimot føre til lenger brann grunnet økt tilførsel av O_2.

En brann i denne størrelsesorden er ikke noe som tunnelen skal dimensjoneres etter, så her er det kunnskap om brannen, og vurdering av innsats gjennom overvåkning og informasjon, som vil være avgjørende.

Frøyatunnelen

Resultatene i tabell 14 side 52, viser at tunnelen ikke er dimensjonert med en vindhastighet på 3,5 m/s. Derimot, er vindhastigheten 2,0 m/s vil tunnelen ha tilstrekkelig kapasitet til å håndtere en dimensjonerende brann på 20 MW. Temperaturen vil derimot være 250° C, noe som kan føre til at strømtilførselen antas å ikke være sikker. To vifter er tilkoblet nødstrøm, og i en situasjon hvor strømtilførselen faller ut vil ventilasjonsanlegget ikke være tilfredsstillende.

Dersom vi ser av tabell 14 vil ventilasjonsanlegget ved 3,5 m/s håndtere deler av tunnelen slik som resultatet i Hitratunnelen viser. Alternativt vil da en innsats komme fra Fillan og innsatstiden er der over 45 minutter, med tilsvarende utfordringer som Hitratunnelen for nødstrøm.

Hendelsen i 2010, i Frøyatunnelen, viste at plassering av brannen førte til en god innsats siden forholdene var optimale. Brannen var i stigning mot Hitra og røyken ble styrt så brannvesenet hadde vind i ryggen. I tillegg var trolig ventilasjonshastigheten høyere enn det som antas å gi kontroll på røyken, siden resultatene etter testing av brannventilasjon slo ut en ventilasjonshastighet som varierte mellom 0,5 og 6,0 m/s. Dette bekreftet fagansvarlig for teknisk utstyr i tunnelen; Ventilasjonsanlegget styrer ikke etter en ønsket vindhastighet ved brann. En høyere vindhastighet vil som sagt redusere temperaturen og faren for økt varme.

Kontroll av røyk er derimot ikke optimal ved høy vindhastighet som artikkelen til Camby med flere (Camby m.fl 2010) slår fast. Evakuering mellom brann og tunnelportal på Hitra var

trolig svært vanskelig ved at hele tunnelprofilet var fylt av røyk, og ikke kontrollert i øverste del av tunnelen.

Som ved Hitratunnelen er det testet brann ved 50 MW, temperaturen her vil ligge på 350 og 600° C. Temperaturen er høyere grunnet tverrsnittet er mindre enn i Hitratunnelen og luftvolumet som går gjennom brannstedet er følgelig mindre. Teknisk utstyr vil dermed være svært utsatt, og nødstrøm må forventes å være eneste utstyr som er tilgjengelig. God oversikt over situasjonen vil være avgjørende i en slik situasjon.

For temperaturberegningene i modellen er disse noe enklere enn det som kommer frem av journalen *Runehamar tunnel fire test* (Ingason, Li og Lönnermark 2014). Temperaturen synker på to måter, en kraftig reduksjon nært brannen og deretter å falle mer jevnt. Temperaturen over brannen vil nok være reell, om brannen er 20-40 meter fra nærmeste installasjon vil trolig temperaturen være kraftig redusert.

Oppsummering og anbefaling

Luftkvalitet

Beregning viser at dagens ventilasjonsanlegg i Hitra- og Frøyatunnelen tilfredsstiller kravene for luftkvalitet som tunnelsikkerhetsforskriften stiller. Ventilasjonsanlegget har tilstrekkelig kapasitet til å opprettholde en ventilasjonshastighet over 2,0 m/s uten at alle viftene må brukes for å oppnå dette resultatet. Omtrent halvparten av viftene vil være i bruk ved dimensjonerende forhold, som er lagt i denne studien.

Tunnelene var bygd på en tid hvor kravet til luftkvalitet var en del av standardene til Statens vegvesen og dermed er dette resultatet som ventet.

Brannventilasjon

Tunnelene er i gruppen undersjøiske, og har en stigningsgrad på 10 % gjennom store deler av lengden. Tunnelsikkerhetsforskriften gir begrensninger i stigningen for tunneler, og en av grunnene for dette er fare for branntilløp. I rapport for undersøkelse av branner står det, «Undersjøiske vegtunneler har gjerne en høy stigningsgrad, som kan øke risikoen for brann og tilløp i tunge kjøretøy, enten fordi bremser og eventuelt motorbrems kan gå varme på vei nedover i tunnelen, eller ved at motoren (for eksempel turboen) havarerer på grunn av hard belastning på vei oppover i tunnelen.». (Nævestad og Meyer 2012, 13).

I forskriften står det ikke spesifisert hva som er nødvendig kontroll med varme og røyk i tunnelsikkerhetsforskriften. Dette må vurderes av brannvesenet for hva som skal tilfredsstilles. For eksempel kan innsatstiden reduserer med å etablere utrykningsstedet nærmere tunnelportalen på hver side, men dette vil beslaglegge store ressurser til kommunens brannvesen.

Dimensjonerende brann er 20 MW, som karakteriserer til brann i varebil. Grunnet høy andel tungekjøretøy vil det være nærliggende å forberede beredskapsplaner med tanke på et scenario hvor en 50 MW brann skjer. Brannen i Gudvangatunnelen i 2013 var det beregnet branneffekten til vogntoget på 25 MW, dette var ulastet vogntog (Statens havarikommisjon 2015, 29). Som det går frem av rapporten kunne brannen ha en effekt på 35-45 MW, dersom mengden forbrent diesel var høyere. Resultatene fra beregningen vil hjelpe tunneleier og brannvesen i forbindelse med bedre tilpasset beredskapsplaner.

Uavhengig av ventilasjonsanlegg er det behov for å etablere overvåkning og sikre god informasjon til trafikanter og beredskapspersonell. Ventilasjon i seg selv redder ikke liv som er utgangspunktet for direktivet/forskriften, fastsatt av EU og Stortinget. Ventilasjon kan derimot sørge for kontroll av situasjonen og dermed redusere faren for personskade. Brannventilasjon bistår brannvesen i en vanskelig redningssituasjon og kan redusere skadepotensiale ved en brann.

Brannventilasjon – Hitra

Som det går frem av resultatet, viser beregningene at ventilasjonsanlegget ikke tilfredsstiller kravene til kontroll av varme og røyk i forbindelse med brann.

Dermed er det nærliggende at tunnelen har en innsatstid på over 40 minutter viss en brann skulle skje i under ugunstige betingelser, som igjen kan føre til svikt i det tekniske utstyret på grunn av skade etter høy varme.

Hitratunnelen har to nødutganger - én vil være hindret av brann og den andre kan fylles av røyk for berørte. Behovet for å skape et forståelig evakueringsmønster er dermed vesentlig skal redningen skje uten fare for flere skadde enn nødvendig. I tillegg er ventilasjonsanlegget ikke tilkoblet nødstrøm og vil dermed ikke være operativt ved strømbrudd.

Det er ikke tilstrekkelig å bare skifte ut ventilasjonsanlegget skal selvredningsprinsippet fungere. Etter de resultater som er kommet fram i denne studien anbefales det at ventilasjonsanlegget blant annet teknisk utstyr oppgraderes, slik at innsats kan gjøres mest mulig effektiv. Hovedfokuset er å få personer ut av tunnelen, når dette er sikkert bør innsatsen styres så tunnelen ikke tar for store skader. God kommunikasjon mellom hendelsen inne i tunnelen, Vegtrafikksentralen og brannvesen vil være avgjørende for å sikre selvredning og innsats i tunnelen.

Det er i dag ingen omkjøringsruter for tunnelen, og langvarig stenging av tunnelen vil føre til større omstillinger for øysamfunnet. Dette er noe kommunene Hitra og Frøya har stort fokus på, og ROS-analysen til Hitra kommune har karakterisert brann i tunnel som en vesentlig hendelse i seg selv, men også påfølgende hendelser ved langvarig stenging.

Brannventilasjon – Frøya

Resultatet viser at ventilasjonsanlegget tilfredsstiller dimensjonerende brann ved vindhastighet på 2 m/s, men at varmen kan føre til at det tekniske anlegget svikter. Dersom strømtilførselen brytes vil ventilasjonsanlegget bare ha tilgjengelig 2 vifter og dermed ikke tilfredsstille kravene.

Sikring av utstyret så det takler brann i verdier over 300° C i tak vil bedre situasjonen.

Gjennom forsøk i Frøyatunnelen viste det seg at ventilasjonshastigheten er høyere enn det som vil være aktuelt for å sørge for kontroll ved brann. Dette bør justeres for at ventilasjonsanlegget ikke skal gjøre situasjonen verre for evakuering. Ved å overvåke tunnelen med bilder og følere vil ventilasjonsanlegget styres mer optimalt.

Forståelse av hendelsesbildet i Frøyatunnelen vil føre til bedre respons av innsatsleder, og opplæring av brannmannskap vil hjelpe deres innsats for å berge liv og utstyr.

Dersom trekken gjennom tunnelen er krevende for styring av røyken mot Dolmøya må dette kommuniseres tidlig til innsatsleder. Snu vindretninger tar tid, og innsats kan være mest hensiktsmessig fra Fillan. Dette kan også være tilfelle for Hitratunnelen. Maksimal vindhastighet vil da redusere varme, som reduserer faren for skade på utstyr.

Overvåkning og informasjon til trafikanter må på plass dersom innsatsen til brannvesenet skal fungere. Evakuering er som i Hitratunnelen hovedfokus, og skal dette fungere må alt av sikkerhetsutrustning være funksjonelt ved brann. Belysning og ventilasjon vil sørge for bedre sikt.

Siden tunnelen har profil T8 bør god varsling inne i tunnelen etableres for å signalisere hvor det har oppstått en hendelse. Enkelte kjøretøy vil ha store problem å snu dersom det ikke finnes snunisje. Evakuering i røyk vil kreve god sikring mot utforkjøring, og ledelys eller bankettbelysning vil gjøre evakuering enklere.

Som for Hitratunnelen er det ingen omkjøringsmulighet for Frøyatunnelen. Skulle en hendelse skje er det viktig at innsatsen kan skje så effektivt som mulig for å redusere skadeomfanget. Stor skade kan føre til langvarig stenging, som igjen er en kritisk situasjon i seg selv.

Anbefaling - Hitratunnelen

Først og fremst vil behovet for overvåkning være nødvendig, deretter er det å påse at sikkerhetsutrustningen er tilstrekkelig sikret mot brann, og det siste vil være å sørge for god sikt og luft. For god sikt er det viktig at belysning og ventilasjon utfyller hverandre.

30-50 % av tunnelen vil ha en innsatstid på over 40 minutter, dermed bør ventilasjonsanlegget oppgraderes.

Oppgradering kan bestå av å supplere ventilasjonsanlegget med ekstra vifter, men på grunn av alder til anlegget frarådes dette. I tillegg må anlegget kunne håndtere strømstans for å redusere varmeutvikling, en slik tilkobling vil føre til endring på ventilasjonsanlegget. Forskrift om maskiner stiller krav til totalansvar for slike anlegg. Tunneleier kan selvsagt påta seg dette ansvaret, men vil ha utfordringer med å tilfredsstille kravene i vedlegg VII: Teknisk dokumentasjon for maskiner. I tillegg må anlegget kunne kommunisere likt med tanke på alarmer og feilmeldinger. Siden det er flere faktorer som er uklare for gjennomføring kan kostnadene for supplering være like dyrt som å skifte ut eksisterende vifter.

Det anbefales derfor et nytt ventilasjonsanlegg med påfølgende kravspesifikasjon. Etablering av 12 viftepar plassert slik som tabell 14 viser vil gi et resultat for Hitratunnelen som medfører at kravene til brannventilasjon blir oppfylt. Det må likevel påpekes begrensningene i forhold til dimensjonerende branneffekt, og at tunneleier og brannvesen har god forståelse for hva som kan og ikke kan gjøres i tilfelle en ulykke.

Profil nr.	**570**	**650**	**1690**	**1770**	**2250**	**2330**
Avstand til neste viftepar		80	960	80	480	80
Profil nr.	**3940**	**4020**	**4400**	**4480**	**5050**	**5130**
Avstand til neste viftepar	1610	80	380	80	570	80

Tabell 15 Anbefaling av plassering for nye viftepar - Hitratunnelen

For å etablere viftene må kapasiteten til det elektriske anlegget oppgraderes. Oppgraderingen vil falle sammen med annet utstyr som omfatter sikkerhetsutrustningen. Totalt blir det 4 nye trafoer og oppgradering av eksisterende 3 trafoer. Etablering av trafostasjon krever tunneldriving. Høyspentkabel antas tilstrekkelig kapasitet og medfører bare skjøting. Kommunikasjonskabel må etableres. I tekniskbygg må det etableres nødstrøm for drift av anlegget i 60 minutter ved strømstans, dersom dette skal være en del av sikkerhetsutrustningen. Flere tilførselspunkt vil sikre flere av installasjonene.

Nisjetype	Profil nr. for tekniskrom	Lengste avstand mellom viftepar og trafo
Teknisk bygg ute	2800	
Lang havarilomme – ny trafo	3400	160 m
Snunisje – eks. trafo	4520	195 m
Havarilomme – ny trafo	5080	180 m
Snunisje bunn – eks. trafo	5630	
Snunisje – eks. trafo	6760	190 m
Havarilomme – ny trafo	7320	290 m
Lang havarilomme – ny trafo	7880	220 m
Teknisk bygg ute	8600	

Tabell 16 Anbefaling av plassering for nye trafoer - Hitratunnelen

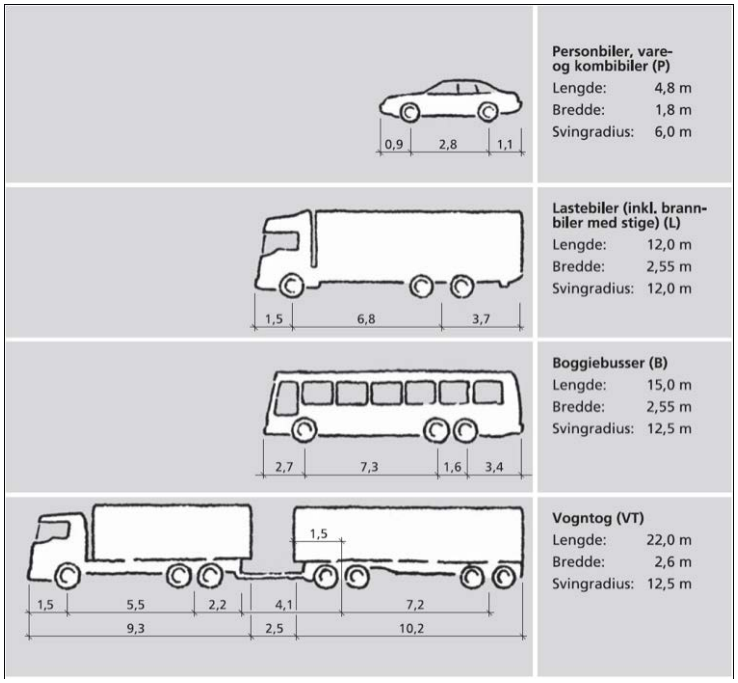
Viftene må ha kapasitet tilsvarende som figur 74, dersom beregningene skal brukes.

Impulsvifter (S = sym., A = a-sym.)	S
Diameter på viftehjulet (mm)	1250
Motoreffekt, kW (målt på aksling)	45
Fart på lufta ut av vifta (m/s)	33,8
Teoretisk skuvkraft ved 1,20 kg/m3 (N)	1600
Normal avstand mellom viftene (m)	80
Ant. vifter i kvart profil (stk.)	2
Systemkoeffisient	70 %

Figur 51 Anbefaling av kapasitet for nye vifter - Hitratunnelen

Overvåkning av tunnelen og godt samarbeid mellom operatører, brannvesen og politiet er vesentlig for å sikre evakuering. I tillegg må informasjonskampanjer og riktig informasjon til trafikanter på vegnettet sørge for bedre kunnskap til berørte, som visningsskilt/lys for evakuering og nødmeldinger inne i tunnelen.

Hitratunnelen har tunnelprofil T11. Dette gjør at dersom det skulle være behov for å evakuere på grunn av brann, vil det være bedre muligheter å snu og kjøre ut av tunnelen. Svingradius for biler kommer frem av figur under. I havarinisjer er bredden på vegen 14 meter og snumulighetene skal være tilstrekkelig i forhold til alle dimensjonerende kjøretøy, ifølge figur 75.



Figur 52 Dimensjonerende kjøretøy (Vegdirektoratet 2013)

Anbefaling for Frøyatunnelen

Ventilasjonsanlegget oppgraderes ikke, men i forbindelse med annet arbeid bør oppgradering av strømkabler og kommunikasjonskabler for å sikre brannmotstand gjøres spesielt.

Siden tunnelen er T8 vil det være krevende å snu kjøretøy inne i tunnelen. Informasjon inne i tunnelen, som skilt med gulblink og stengt veg ved snunisjer, vil redusere involverte og bør oppgraderes til dagens krav. Riktig innsats sikres ved overvåkning av tunnelen, og dette bør etableres.

Oppdatering av strategi for brannventilasjon bør gjøres når tunnelen skal oppgraderes. Strategien må forankres mellom brannvesenet, tunneleier og tunnelforvalter, blant annet for styring av ventilasjonsanlegg ved røykutvikling.

Belysningsanlegg/nødlys bør bygges slik at det er robust i tilfelle brann. Lys langs tunnelvegg som sikrer linjeføring vil være vesentlig for evakuering og innsats av utrykningspersonell.

Det anbefales at ventilasjonsanlegget testes ved røyk for å være sikker på resultatene. Dette kan være en nyttig erfaring for brannvesenet dersom mye av det tekniske utstyret skal skiftes ut. Dette kan være i form av en oljetønne, siden dette produserer mye røyk i forhold til generert varme.

Det anbefales òg at rekkverk monteres for bedre føringskant for kjøretøy ved redusert sikt. På denne bør belysning monteres. Montering av belysning på rekkverk vil sikre belysningen for skitt fra kjørebanen og røyk i øvre del av tunnel. Rekkverk vil også bedre trafikksikkerheten for generell utforkjøring, og redusere risikoen for en hendelse. Tunnelen har ikke sikring mot fjellveggen, som igjen ikke er spesielt påkjøringsvennlig.

Kostnadskonsekvenser for Hitra- og Frøyatunnelen

Gode estimat av kostnader er vanskelig å gi på delelement og oppgraderingsprosjekter. Med tanke på tunnelsikkerhetsforskriften bør kostnadsestimat utføres etter håndbok R764 Anslagsmetoden (Vegdirektoratet 2014). I diskusjon med byggeledere i Statens vegvesen vises erfaringstall fra delelement, for å få en bedre forståelse av hva anbefalingen koster i 2016 kroner.

Viktige momenter i en slik kostnadsanalyse vil være om eksisterende utstyr kan gjenbrukes som følge av oppgraderingen eller må skiftes. For ventilasjonsanlegg i Hitratunnelen vil etablering av 24 vifter føre til større effekt som tilsier behov for flere trafostasjoner. Etablering av nye trafostasjoner vil også redusere kostnaden for annet strømførende utstyr som må til for å få tunnelen sikkerhetsgodkjent etter ny forskrift, derav strømkabler til nødstrøm, belysning, nødskap, o.l.

Eksempel på kostnader:

Element	Kostnadsestimat (mill.)
Overvåkning/AID – Hitratunnelen	7-9
Ventilasjonsanlegg Hitratunnelen	4,5-6
Tekniskbygg – i eksisterende nisjer Hitratunnelen	8-10
Overvåkning/AID – Frøyatunnelen	7-9
Belysning – Frøyatunnelen	2-3
Betongrekkverk – Frøyatunnelen	10-12
Sum estimat	**40-50**

Tabell 17 Eksempel på kostnader for oppgraderingsbehov – 2016 priser

Det er viktig å presisere at kostnadene mangler flere elementer som vil være nødvendig for et oppgraderingsprosjekt. Kostnadene er en del av behovet for å tilfredsstille tunnelsikkerhetsforskriften.

Litteraturliste

Arbeidstilsynet. 2007. «Arbeidet må fortsatt stanses mens trafikken pågår» Hentet 8. mai 2016. http://www.arbeidstilsynet.no/nyhet.html?tid=91434

Camby M. K. Se, Richard K. K. Yuen, Sherman C. P. Cheung and Jiyuan Tu. 2010. *Optimization on Emergency Longitudinal Ventilation Design*. Location: Hong Kong- Macau (China)

Chow* W.K, Wong K.Y, Chung W.Y. 2009. *Longitudinal ventilation for smoke control in a tilted tunnel by scale modeling.* Research Centre for Fire Engineering, Department of Building Services Engineering, Area of Strength: Fire Safety Engineering, The Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong, China. Accepted 15 October 2009

DSB (Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap). 2011. *Retningslinjer for saksbehandling og ivaretakelse av brann- og elsikkerhet i vegtunneler.* Publikasjon. ISBN - 978-82-7768-249-5

European Commission. **2001**. *WHITE PAPER: European transport policy for 2010: time to decide.* 370. Brussel. Hentet 8. mai 2016. http://ec.europa.eu/transport/themes/strategies/doc/2001_white_paper/lb_com_2001_0370_en.pdf

EU-parlament. 2004. *DIRECTIVE 2004/54/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL*. Hentet 10. mai. 2016. http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32004L0054&from=en

FHI – Nasjonalt folkehelseinstitutt. 2013. Rapport 2013:9. *Luftkvalitetskriterier: Virkninger av luftforurensning på helse.* Oslo: Nasjonalt folkehelseinstitutt.

Forskrift om maskiner. 2009. Forskrift om maskiner. Hentet 8. mai 2016. https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2009-05-20-544

Ingason Haukur, Li* Ying Zhen og Lönnermark Anders. 2014. *Runehamar tunnel fire tests.* SP Technical Research Institute of Sweden, Sweden. Accepted 23 November 2014.

Frøholm, Gabriel. 1970. *Med veg skal landet byggjast : med bru og tunnel skal vegen kortast og tryggjast*. Oslo : Frøholm-forl., 1970.

Frøya kommune. 2015. *Risiko- og sårbarhetsanalyse (ROS) for Frøya kommune.* Hentet 8. mai 2016. http://www.froya.kommune.no/beredskap/Documents/Helhetlig_ROS_analyse.pdf

Hitra kommune. 2015. *Risiko- og sårbarhetsanalyse (ROS) for Hitra kommune.* Hentet 8. mai 2016. http://hitra.kommune.no/wp-content/uploads/sites/28/2015/10/ROS-analyse-12.11.2015-Hitra-kommune.pdf

Knudsen, Ole Øystein. 2015. *Korrosjonsbeskyttelse i tunneler*. Rapport: SINTEF A27022.

Luftkvalitet, u.d. Luftkvalitet.info «Luftforurensning» Hentet 8. mai.2016. http://luftkvalitet.info/Theme.aspx?ThemeID=6fc2e3cd-424f-4c03-ad0c-2b9c15369cd9

NRK. 2015. *«-Folk ringe sine nærmeste og tok farvel, og noen måtte forlate barna sine i røyken.»*. Hentet 8. mai 2016. http://www.nrk.no/hordaland/_-folk-ringte-sine-naermeste-og-tok-farvel_-og-noen-matte-forlate-barna-sine-i-royken-1.12539063

Nævestad, Tor-Olav og Meyer, Sunniva Frislid. 2012 - *Kartlegging av kjøretøybranner i norske vegtunneler 2008-2011*. TØI rapport 1205/2012 – ISBN 978-82-480-1338-9.

Samferdselsdepartementet. 2004. *Tunnelsikkerhetsdirektivet.* Hentet 8. mai 2016. https://www.regjeringen.no/no/sub/eos-notatbasen/notatene/2008/okt/tunnelsikkerhetsdirektivet/id2431251/

Samferdselsdepartementet. **2016**. *Statsbudsjettet 2016 - Tildelingsbrev til Statens vegvesen.* Hentet 8. mai. 2016. https://www.regjeringen.no/contentassets/83ba0d352f484043bfaaa950624adb5c/vegvesen2016.pdf

Statens Havarikommisjon. 2013. *RAPPORT OM BRANN I VOGNTOG PÅ RV 23, OSLOFJORDTUNNELEN, 23. JUNI 2011*. Rapport 2013/05. Hentet 8. mai 2016. http://www.aibn.no/Veitrafikk/Rapporter/2013-05

Statens Havarikommisjon. 2015. *RAPPORT OM BRANN I VOGNTOG PÅ E16 I GUDVANGATUNNELEN I AURLAND 5. AUGUST 2013.* Rapport 2015/02. Hentet 8. mai 2016. http://www.aibn.no/Veitrafikk/Avgitte-rapporter/2015-02

Statens vegvesen. 1995a. *Sluttrapport RV714 Fastlandet – Hitra, juni 1995*. Hitra, Sør-Trøndelag. Arkiv Statens vegvesen, Statens hus, Trondheim.

Statens vegvesen. 1995b. *Teknisk sluttrapport: Dokumentasjon av kvalitet for tunneler.* Prosjektkontoret Hitra. Arkiv Statens vegvesen, Statens hus, Trondheim.

Statens vegvesen. 1998. *Tegningshefte Rv 714 hp 10 Hitra – Frøya: Frøyatunnelen.* Prosjektkontoret Hitra. Arkiv Statens vegvesen, Statens hus, Trondheim.

Statens vegvesen. 1999. *Tegningshefte Rv 714 Fastlandet – Hitra: Hitratunnelen*. Prosjektkontoret Hitra. Arkiv Statens vegvesen, Statens hus, Trondheim.

Statens vegvesen. 2010. *Fastlandsforbindelsen Hitra Frøya: Sluttrapport*. Prosjektkontoret Hitra. Arkiv Statens vegvesen, Statens hus, Trondheim.

Tambs-Lyche, Per. 1972. *Bruer, ferjeleier, tunneler.* Oslo: Universitetsforlaget, 1972

Tunnelsikkerhetsforskriften. 2007. Forskrift om minimum sikkerhetskrav til visse vegtunneler. Hentet 8. mai 2016. https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2007-05-15-517

Tunnelsikkerhetsforskrift for fylkesveg m.m. 2014. Forskrift om minimum sikkerhetskrav til visse tunneler på fylkesvegnettet og kommunalt vegnett i Oslo. Hentet 8. mai 2016. https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2014-12-10-1566

Vegdirektoratet. 1992. *Vegtunneler. Håndbok 021, august 1992*. Vegnormal. ISBN – 82-7207-316-1

Vegdirektoratet. 2002. *Vegtunneler. Håndbok 021, juni 2002*. Vegnormal. ISBN – 82-7207-524-5

Vegdirektoratet. 2007. *Sikkerhetsforvaltning av vegtunneler, del 1. Håndbok R511, juni 2014*. Retningslinje.

Vegdirektoratet. 2010. *Vegtunneler. Håndbok N500, juni 2014*. Vegnormal. ISBN – 82-7207-021-9.

Vegdirektoratet. 2012a. *Standard for drift og vedlikehold av riksveger. Håndbok R610, august 2012*. Retningslinje. ISBN – 978-82-7207-655-8.

Vegdirektoratet. 2012b. *Styring av vegprosjekter. Håndbok R760, november 2012*. Retningslinje. ISBN – 978-82-7207-616-9.

Vegdirektoratet. 2014. *Konsekvensanalyser*. Håndbok V712, november 2014. Veiledning. ISBN – 978-82-7207-686-2.

Vegdirektoratet. 2015. *Standard beskrivelsestekster for vegkontrakter, hovedprosess 1–7. Håndbok R791, november 2015.* Retningslinje. ISBN – 978-82-7207-689-3.

Store norske leksikon, u.d. «Forskrift». Hentet 8. mai 2016. https://snl.no/forskrift