



# Fagrappport ventilasjon

Detaljregulering E39 Lyngdal vest-Kvinesdal

---

Vurdering av ventilasjonsinstallasjoner i tunneler.

NV Dokumentnummer: NV42E39LK-TNL-RAP-0001

ENT Dokumentnummer: 10220781 – E39LK\_000\_VEN\_Fagrappport ventilasjon

Nye Veier AS | Kjøita 6

4630 Kristiansand

[nyeveier.no](http://nyeveier.no)

Prosjekt nr:	115510
Oppdragsnavn:	Lyngdal vest - Kvinesdal
Kunde	Nye Veier AS

#### Revisjonsoversikt

Revisjon	Dato	Årsak til utgivelse	Utarbeidet	Kontrollert	Godkjent
01	15.05.2023	Første gangs behandling	NOOLAV	NOTYMF	NONOTT

#### Endringsoversikt

Revisjon	Endringsbeskrivelse
01	Til første gangs behandling i Lyngdal og Kvinesdal kommune

## Innhold

1	Sammendrag.....	2
1.1	Veitunnel.....	2
2	Innledning .....	3
2.1	Bakgrunn .....	3
2.2	Om rapporten .....	4
2.3	Innledning ventilasjonsrapport .....	4
3	Grunnlagsdata for tunnelene E39LK .....	5
3.1	Vegtunnel Vatlandstunnelen:.....	5
3.2	Veitunnel Espedalstunnelen .....	6
3.3	Veitunnel Refstiheitunnelen.....	7
3.4	Veitunnel Øyetunnelen .....	8
4	Ventilasjonsprinsipp.....	9
4.1	Langsgående ventilasjon .....	9
4.1.1	Trafikkventilasjon ved langsgående ventilasjon generelt.....	9
4.1.2	Røykventilasjon ved langsgående ventilasjon generelt.....	9
4.2	Ventilasjonsprinsipp.....	10
4.3	Dimensjonerende brann og nødvendig ventilasjonshastighet – gjeldende regelverk .....	10
4.4	Valgt ventilasjonsstrategi.....	12
4.4.1	Langsgående ventilasjon for toløpstunnelen Vatlandstunnelen .....	12
4.4.2	Langsgående ventilasjon for toløpstunnelen Espedalstunnelen.....	13
4.4.3	Langsgående ventilasjon for toløpstunnelen Refstiheitunnelen .....	15
4.4.4	Langsgående ventilasjon for ettløpstunnelen Øyetunnelen.....	16
5	Rømningsluser: .....	17
6	Beregninger og beregningsresultat: .....	18
6.1	Innledning.....	18
6.2	Beregningsmodell brann- og trafikkventilasjon .....	19
6.3	Veitunneler - beregningsresultat.....	20
6.3.1	Installerte vifter i tunnelene:.....	20
6.3.2	Resultater .....	20
6.4	Konklusjon beregninger .....	22

# 1 Sammendrag

## 1.1 Veitunnel

Det er i denne rapporten vurdert trafikk- og brannventilasjon for Vatlandstunnelen, Espedalstunnelen, Refstiheitunnelen og Øyetunnelen.

Det er valgt å benytte langsgående ventilasjon for tunnelene. Dette begrunnes med tunnelenes lengde.

Trafikk må reguleres hvis tunnelene skal benyttes som ettløpstunneler da tunnelene ellers vil havne i tunnelklasse D noe som krever høyere ventilasjonshastighet.

Det er gjort foreløpige beregninger for de ulike tunnelene for å dimensjonere ventilasjonsanlegget og utarbeide et effektbudsjett for elektro. Dimensjonerende situasjon vil være ved brann når ett tunnelløp benyttes som toveistrafikk. Hvis tunnelløp likevel ikke skal benyttes som ettløpstunnel vil det være mulig å redusere det totale antall vifter.

For toløpstunnel Vatlandstunnelen må det installeres totalt 7 par jetvifter á 30 kW pluss ett reservepar i hvert løp. Hvis tunnelen ikke skal benyttes som ettløpstunnel kan antall vifter i stigende løp reduseres til 3 par pluss ett reservepar.

For toløpstunnel Espedalstunnelen må det installeres totalt 7 par jetvifter á 30 kW pluss ett reservepar i hvert løp. Hvis tunnelen ikke skal benyttes som ettløpstunnel kan antall vifter i stigende løp reduseres til 3 par pluss ett reservepar.

For toløpstunnel Refstiheitunnelen må det installeres totalt 7 par jetvifter pluss ett reservepar á 30 kW i hvert løp. Hvis tunnelen ikke skal benyttes som ettløpstunnel kan antall vifter i stigende løp reduseres til 3 par pluss ett reservepar.

For Ettløpstunnel Øyetunnelen benyttes langsgående ventilasjon. Det installeres totalt 9 par jetvifter pluss ett reservepar á 30 kW i hvert løp.

For Refstihei-, Espedal og Øyetunnelen vil angrepsretning for redningsmannskap være fra tunnelens laveste punkt. Hvis tunnelenes høyeste punkt skal kunne benyttes som angrepsretning vil antall vifter øke, noe som gi økte investeringskostnader. Derfor må angrepsretning avklares med lokal brannmyndighet i forbindelse med utarbeidelse av beredskapsplan.

For Vatlandstunnelen vil begge angrepsretninger være mulig.

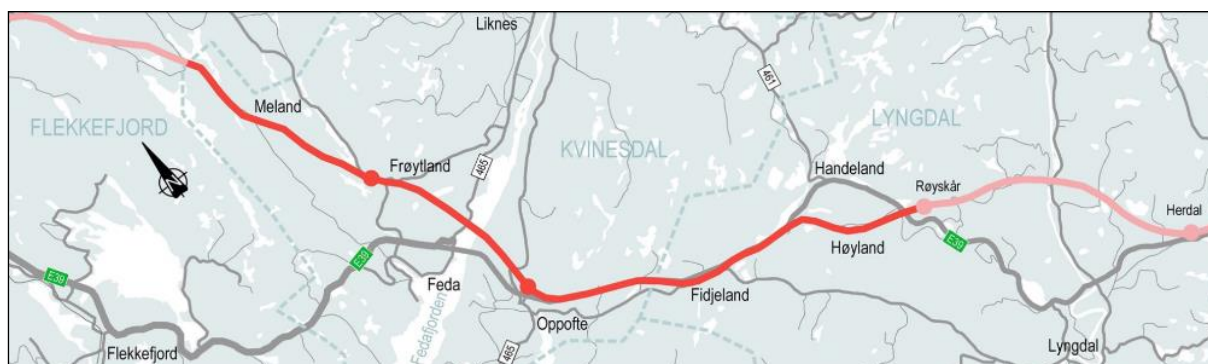
En vurdering i beredskapsplan vil være nødvendig for å konkludere endelig ventilasjonsstrategi og dermed viftebehov.

## 2 Innledning

### 2.1 Bakgrunn

Nye Veier har ansvaret for utbygging av E39 fra Kristiansand i Agder til Ålgård i Rogaland, en strekning på om lag 200 kilometer. Ny E39 planlegges som trafikksikker firefelts motorvei med fartsgrense 110 km/t. Motorveien vil, i tillegg til reduksjon i antall ulykker, gi vesentlig kortere reisetid for brukerne og knytte Agder og Rogaland tettere sammen som felles bo- og arbeidsmarked.

Utarbeiding av reguleringsplan med konsekvensutredning for parsellen Lyngdal vest-Kvinesdal er en del av dette arbeidet. Planlegging av ny vei og tunnel fra E39 til Øyesletta inngår i prosjektet. Det er Lyngdal og Kvinesdal kommuner som er planmyndighet.



Figur 1-1: Parsellen E39 Lyngdal vest-Kvinesdal

Det foreligger trasé for veiløsning i de gjeldende kommunedelplanene E39 Vigeland-Lyngdal vest og E39 Lyngdal vest-Ålgård, men strekningen gjennom Kvinesdal kommune er ikke vedtatt. Ny trasé fra Røyskår til kommunegrensen mot Flekkefjord er nå utredet av Nye Veier.

I arbeidet med reguleringsplan er det gjennomført linjesøk og tverrfaglige vurderinger av et bredt utvalg av løsninger for å finne den samlet sett beste traséen fra Røyskår i Lyngdal, gjennom Kvinesdal, til kommunegrensen mot Flekkefjord. Fra kommunegrensen og nordvestover foreligger det vedtatt kommunedelplan for ny E39. Østover fra Røyskår er prosjektet E39 Lyngdal øst-Lyngdal vest under bygging, med forventet ferdigstilling i 2025.

Til varsel om oppstart av planarbeid (15.09.2021) ble det gjennomført en grovsiling av et stort antall alternative veilinjer for ny E39. Anbefalte linjer fra grovsilingen dannet grunnlaget for videre detaljering og vurdering. Frem mot utlegging av planprogram til høring og offentlig ettersyn (28.02.2022) ble det gjennomført en finsiling av de gjenværende linjene fra grovsilingen. Anbefalt linje fra finsilingen, sammen med linjer og kryssløsninger som kommunene vedtok utredet i planprogrammet, har dannet

grunnlaget for videre optimalisering, detaljering, konsekvensutredning, valg av linje og utarbeidelse av reguleringsplandokumenter.



Figur 1-2: Tidslinje med utført arbeid mellom prosjektets sentrale milepeler

Det henvises til silingsrapporter, planprogram, konsekvensutredning, reguleringsplandokumenter og fagrappporter for ytterligere detaljert informasjon om prosjektet. Dokumentene kan finnes på nettsidene til Nye Veier, Lyngdal og Kvinesdal kommune.

## 2.2 Om rapporten

Hensikten med denne rapporten er å vurdere ventilasjonsinstallasjonene i tunnelene. Rapporten er et vedlegg til reguleringsplan for E39 Lyngdal vest-Kvinesdal.

## 2.3 Innledning ventilasjonsrapport

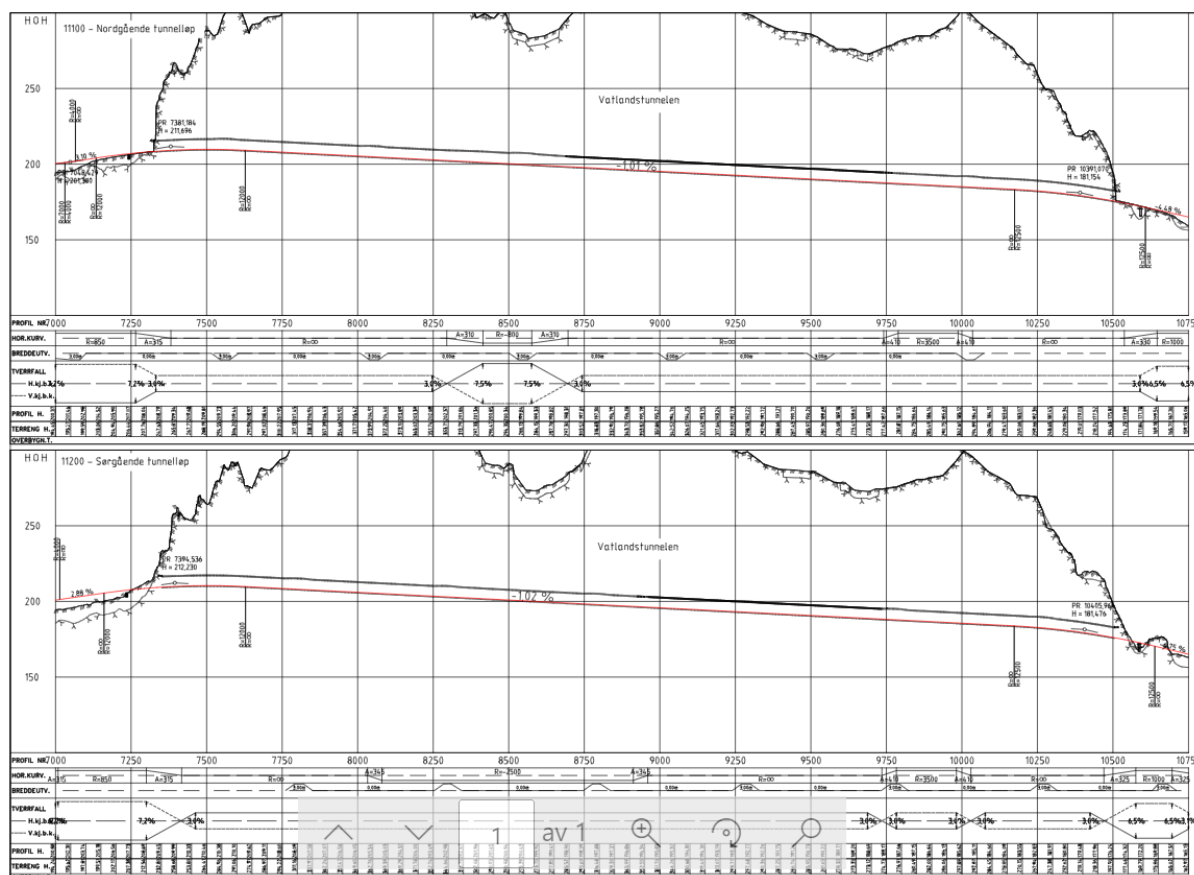
Målet med dette notatet er å få avklart ventilasjonsprinsippene for tunnelene i prosjektet E39 LK på strekningen Lyngdal vest – Kvinesdal. Toløpstunnelene er i utgangspunktet plassert i tunnelklasse E. Tunnelene skal også benyttes som ettløpstunnel i perioder. Vi vurderer også ventilasjonskapasitet for tunnelene som ettløpstunnel, men plasserer da tunnelene i tunnelklasse C. Ut fra ÅDT skal tunnelene plasseres i tunnelklasse D, men det ville medført at dimensjonerende brann i Vatlandstunnelen og Refstiheitunnelen må økes fra 50 MW til 100 MW, noe som ville økt omfanget av ventilasjonsinstallasjoner betydelig. Det må derfor regnes med regulering av trafikkmengde ved bruk av tunnellop som ettløpstunnel.

Øyetunnelen plasseres i tunnelklasse B med 50MW dimensjonerende brannbelastning.

### 3 Grunnlagsdata for tunnelene E39LK

Beregningene er gjort ved utetemperatur 0 grader og 20 grader med fjelltemperatur i tunnelen på 10 grader.

#### 3.1 Vegtunnel Vatlandstunnelen:



3.1 tunnel Vatlandstunnelen

Toløpstunnel: ca. 3 180 m lang.

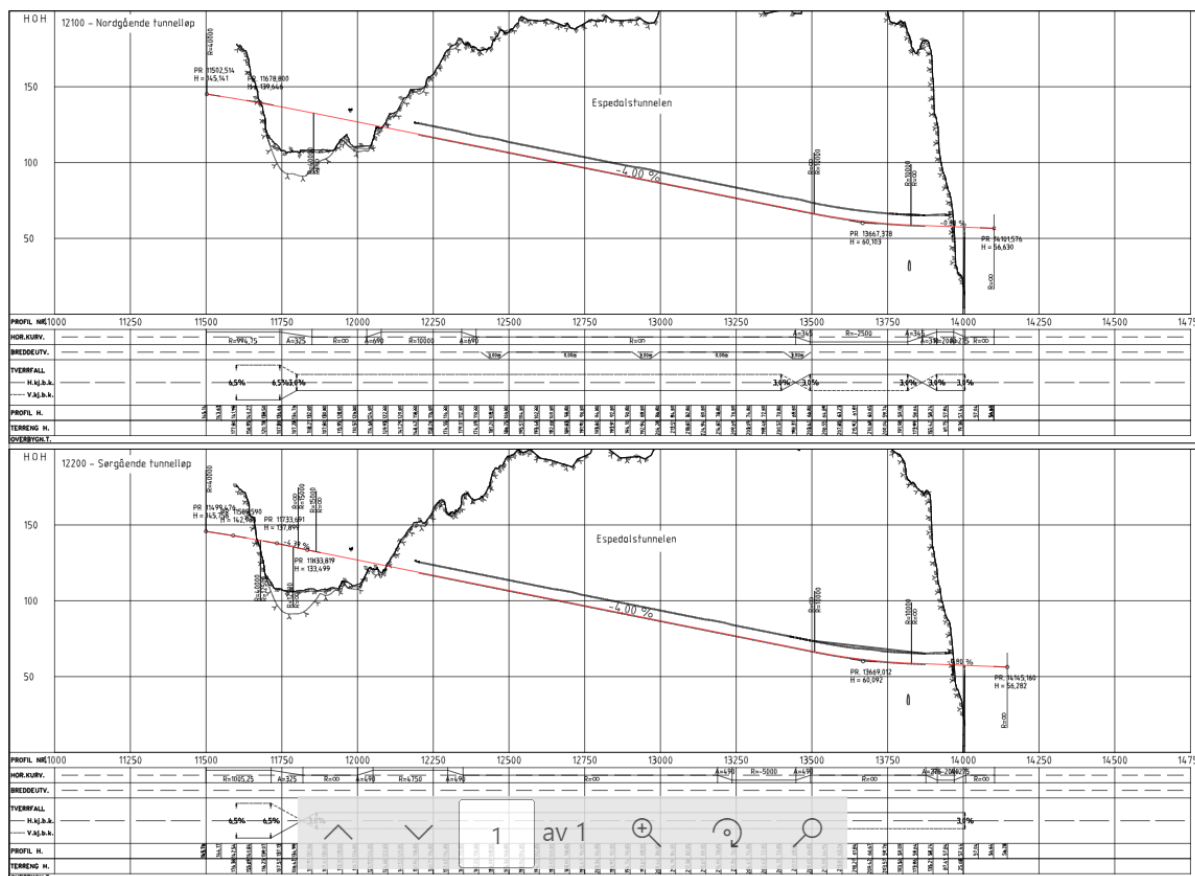
Tunnelprofil: T9,5

Stigningstall: ca. -1.0 %.

Dimensjonerende årstdøgntrafikk (ÅDT): ca. 11 000. Dimensjonerende årstdøgntrafikk i en retning settes til 70 % av ÅDT, tilsvarende 7 700 biler pr døgn. Dimensjonerende timestrafikk settes til 16 % av ÅDT, tilsvarende 1 230 biler pr time. Andel tungtrafikk settes til 29 %.

Det skal etableres nødutganger i form av gangbare tverrforbindelser mellom tunnellopene (C/C 250 m).

## 3.2 Veitunnel Espedalstunnelen



### 3.2 tunnel Espedalstunnelen

Toløpstunnel. 1 810 m lang.

Tunnelprofil: T9,5

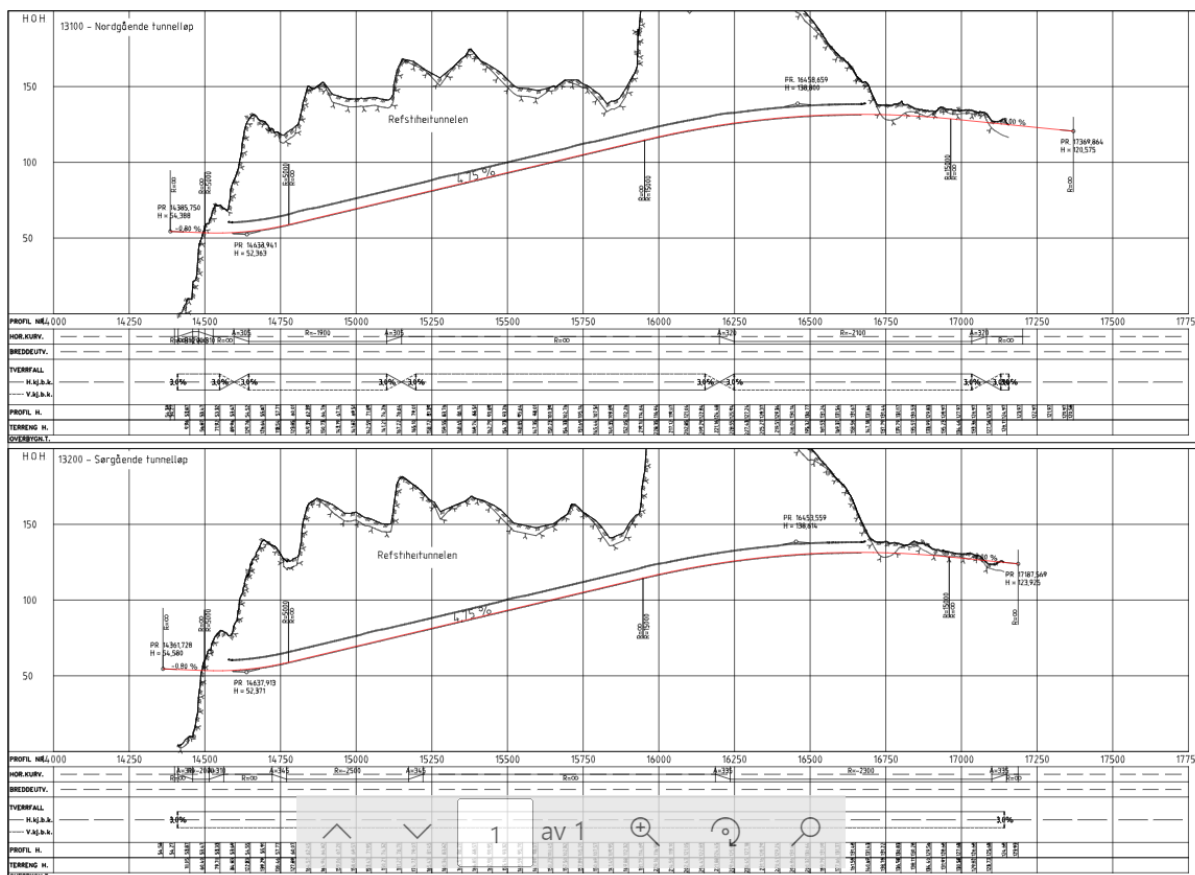
Tunnelprofil: gjennomsnittlig stigningstall ca. -4,0 %.

Dimensjonerende årsdøgntrafikk (ÅDT): ca. 11 000. Dimensjonerende årsdøgntrafikk i en retning settes til 70 % av ÅDT, tilsvarende 7 700 biler pr døgn. Dimensjonerende timestrafikk settes til 16 % av ÅDT, tilsvarende 1 230 biler pr time. Andel tungtrafikk settes til 29 %.

Det skal etableres nødutganger i form av gangbare tverrforbindelser mellom tunnellopene (C/C 250 m).



### 3.3 Veitunnel Refstiheitunnelen



#### 3.3 tunnel Refstiheitunnelen

Toløpstunnel. 2 080 m lang.

Tunnelprofil: T9,5

Tunnelprofil: Jevn stigning fra pel 14 590 (h=55) til pel 16 670 (h=140) med stigningstall ca. 4,75 %.

Dimensjonerende årsdøgntrafikk (ÅDT): ca. 11 000. Dimensjonerende årsdøgntrafikk i en retning settes til 70 % av ÅDT, tilsvarende 7 700 biler pr døgn. Dimensjonerende timestrafikk settes til 16 % av ÅDT, tilsvarende 1 230 biler pr time. Andel tungtrafikk settes til 29 %.

Det skal etableres nødutganger i form av gangbare tverrforbindelser mellom tunneløpene (C/C 250).



## 4 Ventilasjonsprinsipp

### 4.1 Langsgående ventilasjon

#### 4.1.1 Trafikkventilasjon ved langsgående ventilasjon generelt

Målet med trafikkventilasjon er å holde en tilstrekkelig god luftkvalitet i tunnelen. Problemstillingen med langsgående ventilasjon er at konsentrasjonen av forurensning øker gjennom hele tunnelen siden luften ikke byttes ut underveis.

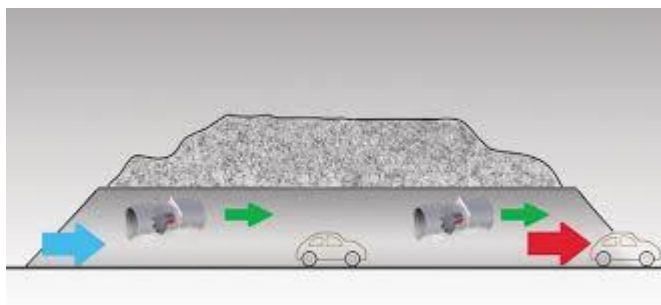
I beregningene for trafikkventilasjon er forurensningsmengde satt ifølge tabell i veistandard N500 utgitt 2022.

#### 4.1.2 Røykventilasjon ved langsgående ventilasjon generelt

Målet med røykventilasjon i tunneler er å styre fart og retning for å holde tunnelen tilstrekkelig røykfri så lenge rømning og selvredning varer, samt gi best mulig arbeidsforhold for redningsmannskaper.

Ved bruk av langsgående ventilasjon betyr det at røyken i sin helhet skyves vekk ved hjelp av ventilasjon.

Det benyttes impulsvisfetter montert i hengt til å skape en luftstrøm som går fra portal til portal igjennom hele tunnelen. Ventilasjonsanlegget dimensjoneres for å kunne oppnå en lufthastighet i tunnelen som er høyere enn kritisk hastighet, som er hastigheten hvor røyk ikke lenger går mot ventilasjonsretningen («backlayering»).



4.1 Langsgående ventilasjon

Ventilasjonsprinsippet egner seg godt for toløpstunneler, hvor det antas at biler som har passert brannstedet kjører ut som normalt mens biler som er på vei mot brannstedet har friskluft i ryggen.

Ventilasjonsstrategien for toløpstunneler blir derfor å regulere ventilasjonshastigheten i kjøreretning til en hastighet som tillater rømning og tilkomst for hjelpemannskap.

Tilkomst for hjelpemannskap blir da med friskluft i ryggen, det vil si tunneløpets kjøreretning.

For ettløpstunneler er ventilasjonsprinsippet mer problematisk, da vi har trafikk i begge retninger og mye av trafikken kan være på vei mot brannstedet med ventilasjonsretningen mot kjøreretningen. Vi risikerer derfor kø i begge retninger ved brann og det er da større sannsynlighet for å havne i røyk. Normal strategi er å holde en lav ventilasjonshastighet i starten slik at biler kan snu og kjøre ut før de blir fanget i røyk, alternativt at bilen forlates og rømning foregår til fots.

I toveistunneler med langsgående ventilasjon vil man få soner med overtrykk og undertrykk i forhold til naboløpet som vil variere med ventilasjonsretning. Dette påvirkes av hvilke vifter som går i rømningsfasen. Dette må det tas hensyn til ved vurdering av om det er behov for ventilasjon i rømningsluser.

## 4.2 Ventilasjonsprinsipp

Vårt forslag til ventilasjonsprinsipp er følgende:

Langsgående ventilasjon velges for samtlige tunneler.

Med tverrslagsventilasjon vil det være behov for tverrslagsvifter med tilhørende ventilasjonssjakter, noe som gir økte investeringskostnader og vedlikeholdsutgifter. Det vil være behov for et lavere antall impulsvifter med tverrslagsventilasjon enn uten tverrslag. Dette skyldes at tunnelstrekkeene som skal ventileres er kortere og konsentrasjonen av forurensning dermed blir lavere før utlufting via tverrslagene. Forskjellen er likevel liten og i størrelsesorden 10%. Ventilasjonsløsningen vil gi fast ventilasjonsretning i tunnelene og dermed en forenklet brannstrategi.

På grunn av tunnelenes relativt korte lengde ser vi ikke behov for tverrslagsventilasjon i dette prosjektet.

Ved brann i en av tunnelene reguleres ventilasjonsretningen for alle andre tunneler som ligger i nærheten slik at det ventileres i retning mot tunnel som er i brann slik at vi er sikre på at disse tunnelene ikke trekker inn røyk.

## 4.3 Dimensjonerende brann og nødvendig ventilasjonshastighet – gjeldende regelverk

Dimensjonerende brann for toløpstunnelene er satt i henhold til krav i N500 med 50 MW brann for tunnelklasse E og 50 MW brann for tunnelklasse C når tunnelen benyttes som ettløpstunnel. Når ett løp benyttes for toveistrafikk er det da krav om at

trafikkmengde reguleres til ÅDT < 8000 for å unngå at tunnelen klassifiseres som tunnelklasse D og dermed må dimensjoneres for 100 MW brann.

For Øyetunnelen som er en ettløpstunnel er dimensjonerende brann 50 MW for tunnelklasse B.

For tunneler med stigningsgrad opp til 2% kan dimensjonerende ventilasjonshastighet hentes ut fra N500 tabell 10.4.4.1. For Vatlandstunnelen er tabellverdi på 3,0 m/s benyttet. For tunneler med høyere stigningsgrad må dimensjonerende ventilasjonshastighet beregnes. Denne er i dette tilfelle beregnet for Refstiheitunnelen, Espedalstunnelen og Øyetunnelen ut fra retningslinjer i NFPA (2016).

Tunnelene ventileres i kjøreretning ved brann jfr N500 10.4.4-2 *«Vegtunneler med enveistrafikk og eventuelt tilhørende ramper ventileres i samme retning som trafikken både i en driftssituasjon og ved brann. I tunneler som har to løp og enveistrafikk styres ventilasjonsanlegget ved brann slik at røyken ikke trekkes inn i det løpet som brukes til rømning».*

Tunnelene skal dermed dimensjoneres for ventilasjon i kjøreretning ved brann og for ventilasjon mot kjøreretning men da uten brann. Samtidig sier 10.4.4-1 at anlegget skal være reversibelt og dimensjoneres for å styre røyken i ønsket retning. *«Nødvendig lufthastighet for brannventilasjon i vegtunneler skal beregnes, og baseres på en teknisk risikovurdering. Ventilasjonsanlegget skal være reversibelt med vifter som har lik mekanisk skyvkraft i begge retninger og skal dimensjoneres for å kunne styre røyken i ønsket retning, basert på dimensjonerende brannbelastning».*

Vi viser også til tillegg i N500, A.5, hvor det sies: Ved stigning over 2 % legges det som hovedregel til rette for røykventilasjon oppover og innsats fra nedre portal.

## 4.4 Valgt ventilasjonsstrategi

Normal ventilasjonsretning i tunnelene vil være i trafikketretning. Ved bruk for toløpstrafikk i ettløpstunnel vil ventilasjonsretningen være i samme retning som dominerende trafikketretning da skyvekraft fra bilene normalt vil være høyere enn skyvekraft fra vifter i tunnelen når disse er dimensjonert for brannventilasjon.

Ventilasjonsanlegget dimensjoneres for at eksisterende ventilasjonsretning kan opprettholdes også etter at biltrafikken har stoppes. Dette får stor betydning når skyvekraft skal beregnes som ettløpstunnel, siden begge løp må ha tilstrekkelig skyvekraft til å ventilere i begge retninger.

Ventilasjonshastighet i første fase bør være lav nok til at røyklaget ved tak ikke forstyrres unødig samtidig som at tilbakestrøm av varme gasser og røyk begrenses, slik at rømning kan skje under røyklaget. Det diskuteres hvor lav hastigheten bør være. Retningslinjer i håndbok N500 angir 2 m/s. I Japan benyttes en «zero flow» strategi for å unngå spredning av røyk så langt som mulig, mens f.eks. Australia benytter en strategi med lav hastighet, typisk 1 m/s med argumentasjon om at for lav hastighet kan medføre høye lokale konsentrasjoner av giftige gasser. I dette prosjektet må det også ses i sammenheng med at tunnelene har høy stigningsgrad, noe som krever høyere ventilasjonshastighet for å skyve all røyk i en retning. Det anbefales en ventilasjonshastighet i første fase i størrelsesorden 2,0 m/s ved ventilasjonsretning i fallretning og 1,0-2,0 m/s ved ventilasjonsretning i stigende retning, inntil redningsmannskaper er på plassen og kan bestemme ventilasjonsretning og hastighet ut fra gjeldende forhold.

For tunnelene med stigning over 2 %, det vil si Refstiheitunnelen, Espedalstunnelen og Øyetunnelen, vil dimensjonerende ventilasjonshastighet kun oppnås i stigende retning og det medfører at angrepsretning for redningsmannskap vil være i stigende retning.

Ventilasjonsstrategi må verifiseres i forbindelse med beredskapsplan som omtalt i N500 10.4.4-2 «*Ventilasjonsstyring og ventilasjonsretning i vegtunneler med skal avklares med lokal brannmyndighet i forbindelse med utarbeidelse av beredskapsplan.*»

### 4.4.1 Langsgående ventilasjon for toløpstunnelen Vatlandstunnelen

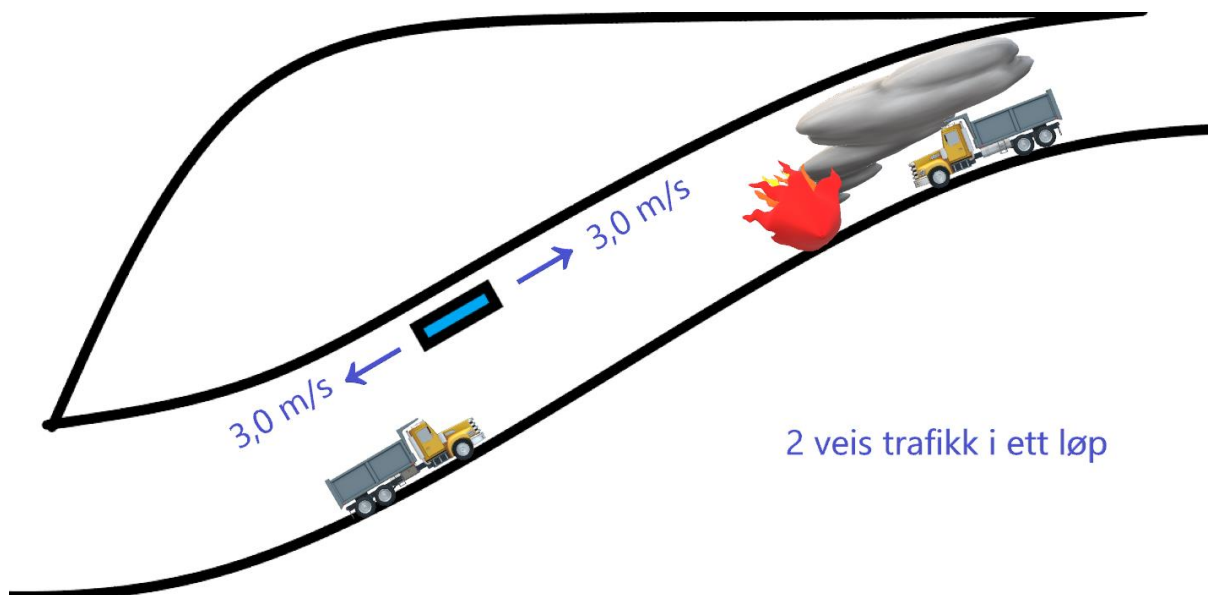
For Vatlandstunnelen vil normal ventilasjonsretning være i kjøreretning, og bilister nedstrøms brannen vil normalt kjøre ut av tunnelen raskere enn røyken rekker å spre seg. Ventilasjonshastighet holdes lav i første fase for å unngå at brann sprer seg ved eventuelle trafikkuhell nedstrøms av brannen ved kø.

Det anbefales en ventilasjonshastighet i første fase på maksimalt 2 m/s inntil redningsmannskaper er på plassen og kan bestemme ventilasjonsretning og hastighet

ut fra gjeldende forhold. Ventilasjonsanlegget dimensjoneres for at maksimal dimensjonerende ventilasjonshastighet på 3,0 m/s kan oppnås i kjøreretning.

Siden begge tunnellop skal dimensjoneres for toveistrafikk i ett løp vil ventilasjonsanlegg i begge løp dimensjoneres for å kunne ventileres med 3,0 m/s i begge retninger.

Tunnellopene skal også dimensjoneres for toveis trafikk i ett løp. Det forutsettes at trafikkmengde reguleres til ÅDT < 8000 slik at dimensjonerende brann ikke endres til 100 MW. Det medfører også behov for å kunne ventilere tunnelen i begge retninger for begge løp. Dette gir behov for økt antall vifter i stigende løp i forhold til om det var en toløpstunnel.



Dimensjoneringskriterier for begge løp i Vatlandstunnelen

Tunnellop som ikke er i brann trykkstyres slik at det er overtrykk i forhold til tunnellop med brann. I prosjekteringsfasen vil det utarbeides detaljerte planer for styring av vifter ut fra ulike brannscenario.

Beregninger viser at tunnelen vil være selventilert ved trafikkventilasjon.

Tunnelene vil ha reversible vifter og videoovervåkning slik at ventilasjonsretning kan snus etter behov.

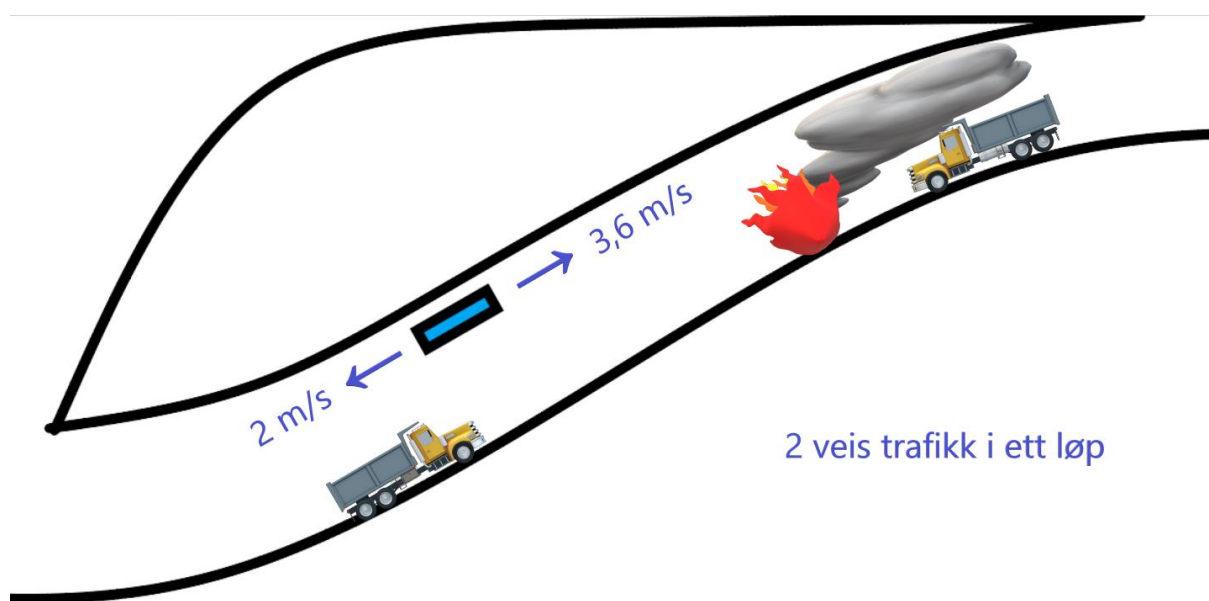
#### 4.4.2 Langsgående ventilasjon for toløpstunnelen Espedalstunnelen

For Espedalstunnelen vil normal ventilasjonsretning være i kjøreretning, og bilister nedstrøms brannen vil normalt kjøre ut av tunnelen raskere enn røyken rekker å spre

seg. Ventilasjonshastighet holdes lav i første fase for å unngå at brann sprer seg ved eventuelle trafikkuhell nedstrøms av brannen ved kø. Samtidig må ventilasjonshastigheten være tilstrekkelig til at all røyk skyves i en retning noe som krever enn høyere hastighet i tunneler med høy stigning.

Det anbefales en ventilasjonshastighet i første fase i størrelsesorden 2,0 m/s ved ventilering med brann i fallende løp og 1-2 m/s ved brann i stigende løp, inntil redningsmannskaper er på plassen. Ventilasjonshastighet kan på grunn tunnelens bratte stigning økes til 3,6 m/s kun i stigende retning selv om dette blir mot kjøreretning. Dette gjelder også når tunnelen benyttes for toveistrafikk. I redningsfasen legges det derfor opp til angrepsretning og ventilasjonsretning fra tunnelens laveste punkt for begge løp.

Tunnelløpene skal også dimensjoneres for toveis trafikk i ett løp. Det forutsettes at trafikkmengde reguleres til ÅDT < 8000 slik at dimensjonerende brann ikke endres til 100 MW.



Dimensjoneringskriterier for begge løp i Espedalstunnelen

Tunnelløp som ikke er i brann trykkstyres slik at det er overtrykk i forhold til tunnelløp med brann. I prosjekteringsfasen vil det utarbeides detaljerte planer for styring av vifter ut fra ulike brannscenario.

Beregninger viser at tunnelen vil være selventilert ved trafikkventilasjon.



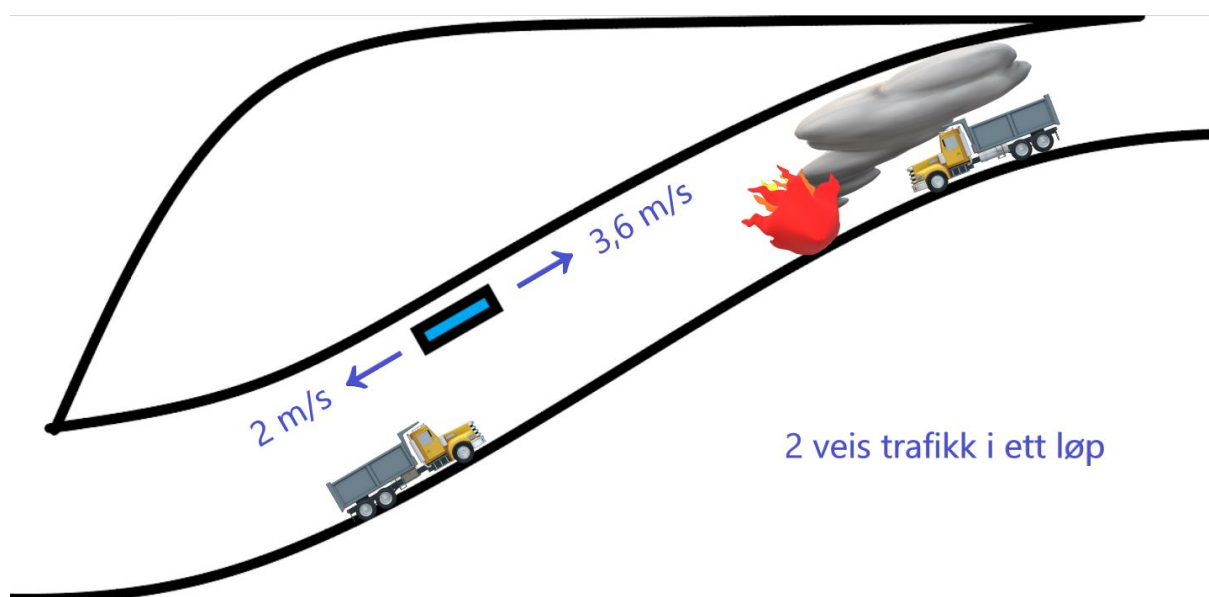
Tunnelene vil ha reversible vifter og videoovervåkning slik at ventilasjonsretning kan snus etter behov. Maksimal ventilasjonshastighet kan likevel kun oppnås i stigende retning.

#### 4.4.3 Langsgående ventilasjon for toløpstunnelen Refstiheitunnelen

For Refstiheitunnelen vil normal ventilasjonsretning være i kjøreretning, og bilister nedstrøms brannen vil normalt kjøre ut av tunnelen raskere enn røyken rekker å spre seg. Ventilasjonshastighet holdes lav i første fase for å unngå at brann sprer seg ved eventuelle trafikkuhell nedstrøms av brannen ved kø. Samtidig må ventilasjonshastigheten være tilstrekkelig til at all røyk skyves i en retning noe som krever enn høyere hastighet i tunneler med høy stigning.

Det anbefales en ventilasjonshastighet i første fase i størrelsesorden 2,0 m/s ved ventilering med brann i fallende løp og 1-2 m/s ved brann i stigende løp, inntil redningsmannskaper er på plassen. Ventilasjonshastighet kan på grunn tunnelens bratte stigning økes til 3,6 m/s kun i stigende retning selv når dette blir mot kjøreretning. Dette gjelder også når tunnelen benyttes for toveistrafikk. I redningsfasen legges det derfor opp til angrepsretning og ventilasjonsretning fra tunnelens laveste punkt for begge løp.

Tunnelløpene skal også dimensjoneres for toveis trafikk i ett løp. Det forutsettes at trafikkmengde reguleres til ÅDT < 8000 slik at dimensjonerende brann ikke endres til 100 MW.



Dimensjoneringskriterier for begge løp i Refstiheitunnelen

Tunnelløp som ikke er i brann trykkstyres slik at det er overtrykk i forhold til tunnelløp med brann. I prosjekteringsfasen vil det utarbeides detaljerte planer for styring av vifter ut fra ulike brannscenario.

Beregninger viser at tunnelen vil være selventilert ved trafikkventilasjon.

Tunnelene vil ha reversible vifter og videoovervåkning slik at ventilasjonsretning kan snus etter behov. Maksimal ventilasjonshastighet kan likevel kun oppnås i stigende retning.

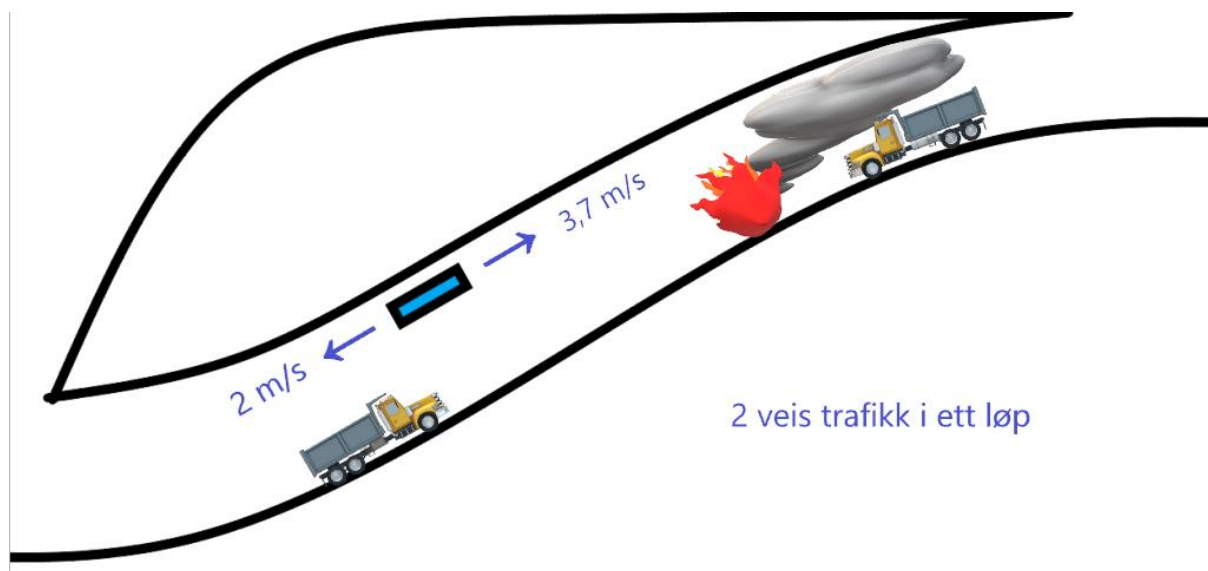
#### 4.4.4 Langsgående ventilasjon for ettløpstunnelen Øyetunnelen

Øyetunnelen har toveistrafikk og normal ventilasjonsretning vil være i dominerende kjøreretning. Siden det er ikke er levert detaljert timestrafikkdata dimensjoneres tunnelen for at 70 % av maksimal trafikk kjører i mest ugunstige retning (stigende). Tunnelen stenges etter 2 min ved brann i begge retninger og bilister nedstrøms brannen i kjørefelt med brann vil normalt kjøre ut av tunnelen raskere enn røyken rekker å spre seg. Biler i motsatt kjørefelt må snu og kjøre ut av tunnelen. Det samme gjelder biler oppstrøm brannen.

Ventilasjonshastighet holdes lav i første fase for å unngå at brann sprer seg ved eventuelle trafikkuhell nedstrøms av brannen ved kø. Samtidig må ventilasjonshastigheten være tilstrekkelig til at all røyk skyves i en retning noe som krever enn høyere hastighet i tunneler med høy stigning.

Hovedretning for ventilasjon vil være i stigende kjøreretning som på grunn tunnelens bratte stigning skal ventileres etter beregnet kritisk hastighet, som er 3,7 m/s. Synkende kjøreretning ved brann skal ventileres med 2 m/s.

Det anbefales en ventilasjonshastighet i første fase i størrelsesorden 2,0 m/s ved ventilering med brann i fallende løp og 1-2 m/s ved brann i stigende løp, inntil redningsmannskaper er på plassen. I redningsfasen legges det derfor opp til angrepsretning og ventilasjonsretning fra tunnelens laveste punkt.



Dimensjoneringskriterier for Øyetunnelen

Beregninger viser at tunnelen vil være selventilert ved trafikkventilasjon.

Tunnelene vil ha reversible vifter og videoovervåkning slik at ventilasjonsretning kan snus etter behov. Maksimal ventilasjonshastighet kan likevel kun oppnås i stigende retning.

## 5 Rømningsluser:

Det legges opp til at løp uten brann skal trykkesettes i toløpstunneler slik at røyksmitte unngås når rømningsdører benyttes.

Dersom det ikke dokumenteres at det ikke vil trekke røyk mellom tunnellopene så vil det være behov for trykksatte sluser som forbinder tunnelene. Dette kan oppstå som en konsekvens av at toløpstunnelene også skal benyttes som ettløpstunneler hvor ventilasjonsviftene i det andre løpet ikke er i drift. Det anbefales at portalene forskyves i forhold til hverandre slik at røyksmitte mellom portalene i størst mulig grad unngås.

Det skal i detaljprosjekteringsfasen utarbeides planer for hvilke ventilatorer som starter og hvilken driftsretning de får.

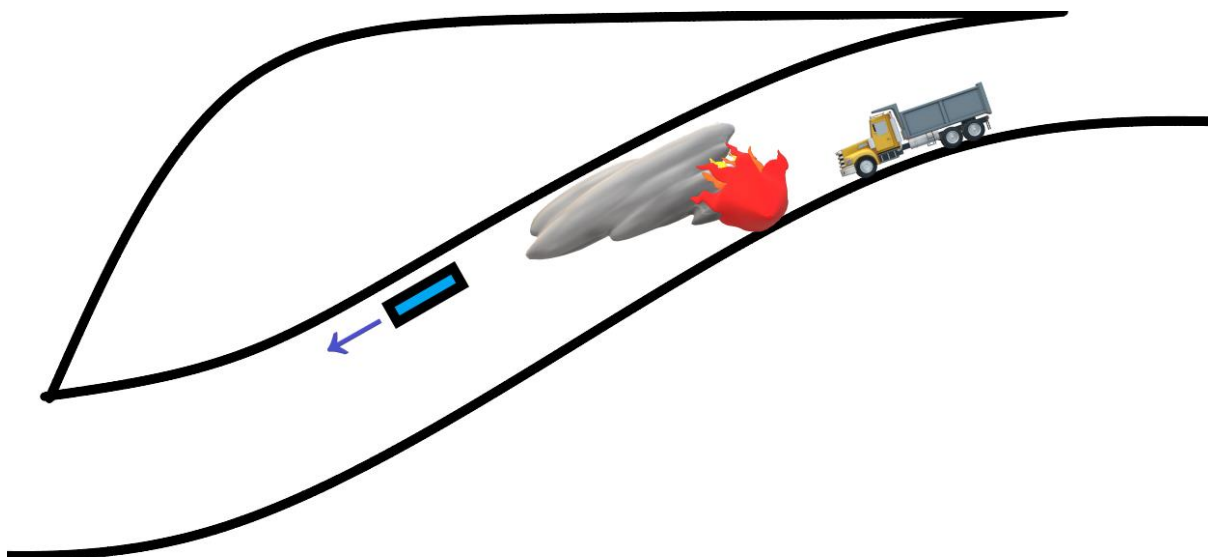
## 6 Beregninger og beregningsresultat:

### 6.1 Innledning

Vi har modellert de aktuelle tunnelene i ett beregningsprogram og sett på nødvendig viftekapasitet ved brann- og trafikkventilasjon.

Vi har beregnet tunnelløpene ved brann med ventilasjonsretning i kjøreretning. Vi har også vurdert tunnelløpene ved brann med toveistrafikk i ett løp.

Brann er plassert på mest ugunstige punkt. Siden tunnelene har ensidig fall er brannen plassert ca. 1/3 inn i tunnelen sett fra tunnelens høyeste punkt.



Vi har kontrollert nødvendig ventilasjonshastighet ved trafikkventilasjon og kommet fram til at nødvendig viftekapasitet for brannventilasjon er dimensjonerende. Vi har derfor ikke detaljberegnet dette ytterligere.

Refstiheitunnelen, Espedalstunnelen og Øyetunnelen har høyere stigning enn 2 %. Dermed kan ikke standard ventilasjonshastighet i henhold til N500 10.4.4.1 benyttes, og denne er derfor beregnet etter retningslinjer i NFPA (2016).

## 6.2 Beregningsmodell brann- og trafikkventilasjon

Beregningene er gjort i beregningsprogrammet IDA Tunnel. Dette er et spesialisert beregningsprogram for tunnelventilasjon levert av EQUA.

Kontrollberegninger er gjort i et egenutviklet beregningsark i Excel basert på formler oppgitt i håndbok N500. Beregning av temperatur-, trykkforhold og behov for vifteinstallasjoner ved brann gjøres ved hjelp ligninger for mengde-, trykk- og varmembalanse i tunnelen. Tunnelen «deles» beregningsmessig opp i avsnitt som internt forutsettes å ha like forhold. Avsnittene «lenkes» deretter sammen til en helhet. I dette tilfellet har vi valgt å dele opp tunnelen i 70 avsnitt. Selve brannen er ikke modellert på annen måte enn at den avgir varme og en viss røkgassmengde. Det betyr at forholdene lokalt rundt selve brannen ikke blir detaljert beskrevet. Dette kan gjøres med beregningsprogrammer for brannutvikling i begrensede rom og som kan tilpasses. Vi har ikke funnet det hensiktsmessig å benytte dette programmet her. Forutsetningene for beregningsmodellen er ellers de samme som angitt i håndbok V520 – Statens veivesen (2022).

Med utgangspunkt i kravet til minimum lufthastighet ved brann vil trykkbalansen gi tilhørende behov for vifteinstallasjoner. I beregningene her forutsetter vi at viftene lokaliseres i grupper på 3-4 par. Viftene er foreløpig plassert i samråd med elektrorådgiver. Endelig bestemmelse av viftelokalisering og -størrelser gjøres i neste fase.

## 6.3 Veitunneler - beregningsresultat

### 6.3.1 Installerte vifter i tunnelene:

Det er for beregningene valgt to ulike typer vifte.

Den første viftetyper har viftehjul Ø1000 og byggehøyde 1285 mm. Viftene har utløpshastighet målt i benk på 30,4 m/s, og har en nominell skyvkraft på brutto 1038 N. Nødvendig effekt er 30 kW per vifte.

Den andre viftetyper har viftehjul Ø1250 og byggehøyde 1600 mm. Viftene har utløpshastighet målt i benk på 34 m/s, og har en nominell skyvkraft på brutto 1650 N.

Systemkoeffisient er satt til 0,9 (luftretter).

Optimalisering av viftestørrelse ut fra effekt og skyvkraft gjøres i neste fase.

### 6.3.2 Resultater

Tunnelene er beregnet for brann i toløpstunnel hvor ventilasjonsretning er lik kjøreretning med to ulike viftetyper.

Tunnelene er også beregnet med toveistrafikk i ettløpstunnel med to ulike viftetyper.

Til slutt er det kontrollert at trafikkventilasjon har lavere behov for skyvkraft enn brannventilasjon slik at det er brannventilasjon som er dimensjonerende.

Resultatene viser at toveistrafikk i ettløpstunnel blir dimensjonerende for stigende løp. I en toløpstunnel kan stigende løp normalt ha færre vifter enn fallende løp siden de varme branngassene naturlig stiger opp, men siden vi her skal dimensjonere for toveistrafikk må vi ta høyde for at vi må ventilere begge veier i begge løp.

Fallende løp:							Maks. effekt:
Brann / trafikk:		Brann	Brann	Brann	Brann		
Situasjon:		Enveis trafikk:	Enveis trafikk:	Enveis trafikk:	Enveis trafikk:		
Trafikkretning:		Fallende løp	Fallende løp	Fallende løp	Fallende løp		
Ventilasjonsretning:		Fallende løp	Fallende løp	Stigende løp	Stigende løp		
Viftedata:	Enhet:	Alt. Vifte 1	Alt. Vifte 2	Alt. Vifte 1	Alt. Vifte 2		
Viftehjul	mm	Ø1000	Ø1250	Ø1000	Ø1250		
Byggehøyde:	mm	1285	1600	1285	1600		
Kraft:	N	1030	1650	1030	1650		
Hastighet:	m/s	30,4	34	30,4	34		
Effekt:	kW	30	45	30	45		
Utetemperatur:	C	0	0	10	10		
Vindhastighet:	m/s	-19	-19	5	5		
<b>Espedalsstunnelen</b>	Tunnellengde:	1810	1810	1810	1810		
Dim.vent.hastighet:	m/s	>2,0	>2,0	>3,65	>3,65		
Antall nødvendige viftepar inkl. reserve:	stk	7	5	0	0		
Total nødvendig installert skyvkraft:	N	14420	16500	0	0		
Total nødvendig installert effekt:	kW	420	450	0	0		450
<b>Refstihetunnelen</b>	Tunnellengde:	2080	2080	2080	2080		
Dim.vent.hastighet:	m/s	>2,0	>2,0	>3,65	>3,65		
Antall nødvendige viftepar inkl. reserve:	stk	7	5	0	0		
Total nødvendig installert skyvkraft:	N	14420	16500	0	0		
Total nødvendig installert effekt:	kW	420	450	0	0		450
<b>Vatlandstunnelen</b>	Tunnellengde:	3300	3300	3300	3300		
Dim.vent.hastighet:	m/s	>3,0	>3,0	>3,0	>3,0		
Antall nødvendige viftepar inkl. reserve:	stk	6	4	3	2		
Total nødvendig installert skyvkraft:	N	12360	13200	6180	6600		
Total nødvendig installert effekt:	kW	360	360	180	180		360
<b>Stigende løp:</b>							
Brann / trafikk:		Ingen brann	Ingen brann	Brann	Brann		
Situasjon:		Enveis trafikk:	Enveis trafikk:	Enveis trafikk:	Enveis trafikk:		
Trafikkretning:		Stigende løp	Stigende løp	Stigende løp	Stigende løp		
Ventilasjonsretning:		Fallende løp	Fallende løp	Stigende løp	Stigende løp		
Viftedata:	Enhet:	Alt. Vifte 1	Alt. Vifte 2	Alt. Vifte 1	Alt. Vifte 2		
Viftehjul	mm	Ø1000	Ø1250	Ø1000	Ø1250		
Byggehøyde:	mm	1285	1600	1285	1600		
Kraft:	N	1030	1650	1030	1650		
Hastighet:	m/s	30,4	34	30,4	34		
Effekt:	kW	30	45	30	45		
Utetemperatur:	C	0	0	10	10		
Vindhastighet:	m/s	5	5	5	5		
<b>Espedalsstunnelen</b>	Tunnellengde:	1810	1810	1810	1810		
Dim.vent.hastighet:	m/s	>1,0	>1,0	>3,2	>3,2		
Antall nødvendige viftepar inkl. reserve:	stk	3	2	0	0		
Total nødvendig brutto installert skyvkraft:	N	6180	6600	0	0		
Total nødvendig installert effekt:	kW	180	180	0	0		180
<b>Refstihetunnelen</b>	Tunnellengde:	2080	2080	2080	2080		
Dim.vent.hastighet:	m/s	>1,0	>1,0	>3,2	>3,2		
Antall nødvendige viftepar inkl. reserve:	stk	3	2	0	0		
Total nødvendig brutto installert skyvkraft:	N	6180	6600	0	0		
Total nødvendig installert effekt:	kW	180	180	0	0		180
<b>Vatlandstunnelen</b>	Tunnellengde:	3300	3300	3300	3300		
Dim.vent.hastighet:	m/s	>3,0	>3,0	>3,0	>3,0		
Antall nødvendige viftepar inkl. reserve:	stk	3	2	3	2		
Total nødvendig brutto installert skyvkraft:	N	6180	6600	6180	6600		
Total nødvendig installert effekt:	kW	180	180	180	180		180
<b>Toveisstrafikk i ett løp:</b>							
Brann / trafikk:		Brann:	Brann:	Trafikk	Trafikk		
Situasjon:		2 veis trafikk	2 veis trafikk	2 veis trafikk	2 veis trafikk		
Trafikkretning:		70/30 fallende løp	70/30 fallende løp	70/30 stigende løp	70/30 stigende løp		
Ventilasjonsretning:		Fallende løp	Fallende løp	Fallende løp	Fallende løp		
Viftedata:	Enhet:	Alt vifte 1	Alt vifte 2	Alt. Vifte 1	Alt. Vifte 2		
Viftehjul	mm	Ø1000	Ø1250	Ø1000	Ø1250		
Byggehøyde:	mm	1285	1600	1285	1600		
Kraft:	N	1030	1650	1030	1650		
Hastighet:	m/s	30,4	34	30,4	34		
Effekt:	kW	30	45	30	45		
Utetemperatur:	C	-19	-19	-19	-19		
Vindhastighet:	m/s	-19	-19	-19	-19		
<b>Espedalsstunnelen</b>	Tunnellengde:	1810	1810	1810	1810		
Dim.vent.hastighet:	m/s	>2,0	>2,0	>1	>1		
Antall nødvendige viftepar inkl. reserve:	stk	7	5	5	3		
Total nødvendig brutto installert skyvkraft:	N	14420	16500	10300	9900		
Total nødvendig installert effekt:	kW	420	450	300	270		450
<b>Refstihetunnelen</b>	Tunnellengde:	2080	2080	2080	2080		
Dim.vent.hastighet:	m/s	>2,0	>2,0	>1	>1		
Antall nødvendige viftepar inkl. reserve:	stk	7	5	6	4		
Total nødvendig brutto installert skyvkraft:	N	14420	16500	12360	13200		
Total nødvendig installert effekt:	kW	420	450	360	360		450
<b>Vatlandstunnelen</b>	Tunnellengde:	3300	3300	3300	3300		
Dim.vent.hastighet:	m/s	>3,0	>3,0	>1	>1		
Antall nødvendige viftepar inkl. reserve:	stk	7	5	3	2		
Total nødvendig brutto installert skyvkraft:	N	14420	16500	6180	6600		
Total nødvendig installert effekt:	kW	420	450	180	180		450

### **Vatlandstunnelen:**

Totalt 7 par vifter á 30 kW i hovedtunnel per løp, alternativt 5 par vifter á 45 kW per løp.

Maksimalt installert effekt: 450 kW pr løp, totalt 900 kW (5 x 2 x 45 x 2 kW).

Maksimal samtidig effekt: 450 kW + 180 kW = 630 kW.

### **Espedalstunnelen:**

Totalt 7 par vifter á 30 kW i hovedtunnel per løp, alternativt 5 par vifter á 45 kW per løp.

Maksimalt installert effekt: 450 kW pr løp, totalt 900 kW (5 x 2 x 45 x 2 kW).

Maksimal samtidig effekt: 450 kW + 180 kW = 630 kW.

### **Refstiheitunnelen:**

Totalt 7 par vifter á 30 kW i hovedtunnel per løp, alternativt 5 par vifter á 45 kW per løp.

Maksimalt installert effekt: 450 kW pr løp, totalt 900 kW (5 x 2 x 45 x 2 kW).

Maksimal samtidig effekt: 450 kW + 180 kW = 630 kW

### **Øyetunnelen:**

Totalt 9 par vifter á 30 kW, alternativt 6 par vifter á 45 kW.

Maksimalt installert effekt: 540 kW (9 x 2 x 30 kW).

## 6.4 Konklusjon beregninger

For toløpstunnelen Vatlandstunnelen benyttes langsgående ventilasjon. Det installeres totalt 7 par jetvifter á 30 kW pluss ett reservepar i hvert løp. Hvis tunnelen ikke skal benyttes som ettløpstunnel kan antall vifter i stigende løp reduseres til 3 par pluss ett reservepar.

For toløpstunnelen Espedalstunnelen benyttes langsgående ventilasjon. Det installeres totalt 7 par jetvifter á 30 kW pluss ett reservepar i hvert løp. Hvis tunnelen ikke skal benyttes som ettløpstunnel kan antall vifter i stigende løp reduseres til 3 par pluss ett reservepar.

For toløpstunnelen Refstiheitunnelen benyttes langsgående ventilasjon. Det installeres totalt 7 par jetvifter pluss ett reservepar á 30 kW i hvert løp. Hvis tunnelen ikke skal benyttes som ettløpstunnel kan antall vifter i stigende løp reduseres til 3 par pluss ett reservepar.



For ettløpstunnel Øyetunnelen benyttes langsgående ventilasjon. Det installeres totalt 9 par jetvifter pluss ett reservepar á 30 kW i hvert løp.