

Nordland Fylkeskommune

► Brann- og driftsventilasjon

Storvikskartunnelen

Oppdragsnr.: 52300940 Dokumentnr.: VENT-01 Versjon: J01 Dato: 2023-05-02



Oppdragsgiver: Nordland Fylkeskommune
Oppdragsgivers kontaktperson: Øyvind Wasmuth
Rådgiver: Norconsult AS, Kjørboveien 22, NO-1337 Sandvika
Oppdragsleder: Ronny Gerhardsen
Fagansvarlig: Lene Jermstad
Andre nøkkelpersoner: Jenny Marie Bjørnsgaard

J01	2023-05-02	For bruk	JEBJOE	LEJEM	RGE
Versjon	Dato	Beskrivelse	Utarbeidet	Fagkontrollert	Godkjent

Dette dokumentet er utarbeidet av Norconsult AS som del av det oppdraget som dokumentet omhandler. Opphavsretten tilhører Norconsult AS. Dokumentet må bare benyttes til det formål som oppdragsavtalen beskriver, og må ikke kopieres eller gjøres tilgjengelig på annen måte eller i større utstrekning enn formålet tilsier.

► Sammen drag

Storvikskartunnelen i Gildeskål kommune i Nordland skal oppgraderes i henhold til tunnelsikkerhetsforskriften for fylkesveg (TSFF). I den forbindelse er det gjort beregninger for å dimensjonere nytt ventilasjonsanlegg i tunnelen for drifts- og brannventilasjon.

Brannventilasjon er dimensjonerende for ventilasjonsanlegget i tunnelen. Etter ønske fra lokale brannmyndigheter er anlegget dimensjonert for å håndtere en 50 MW brann, med mulighet for ventilering i retning Tverlandet og retning Ørnes. Dette er også tilsvarende som krav i N500 for nye tunneler. Det er besluttet at fast ventilasjonsretning ved brann skal være i retning Tverlandet, dvs. mot bratteste stigning fra høybrekket.

Ettersom tunnelen er åpen for gående og syklende, setter håndbok N500 ekstra krav til luftkvalitet, og sensorer for måling av luftkvalitet må installeres/skiftes ut/suppleres. Ventilasjonsanlegget skal benyttes i perioder med dårlig luftkvalitet. Det er gitt anbefalinger start- og stoppverdier for anlegget i kapittel 5.

Nødvendig netto skyvkraft for ventilasjon er 11,2 kN (ved bakvind på 3 m/s). Det er foreslått å installere 16 vifter med indre diameter på 800 mm og 870 N nominell skyvkraft per vifte for å dekke skyvkraftbehovet. Det er lagt til grunn symmetriske vifter med luftretter. Det ønskes å unngå strossing for viftenisjer som begrenser maksimal viftestørrelse til 900 mm i indre viftediameter.

Det er lagt frem forslag til vifteplasseringer for å unngå montering av vifter i områder med eksisterende vann- og frostsikring.

Innhold

1	Bakgrunn	5
2	Beregningsforutsetninger	6
2.1	Brannventilasjon	7
2.2	Kø i tunnelen	7
2.3	Beregningsmodell	8
3	Brannventilasjon	9
3.1	Ventilasjonsbehov	9
4	Driftsventilasjon	11
4.1	Dimensjonerende luftkvalitetsnivå	11
4.2	Ventilasjonsbehov	11
5	Installasjon og effektbehov	12
5.1	Impulsvifter	12
5.2	Plassering av vifter i tunnelen	13
6	Styring av ventilasjonen	14
6.1	Brannventilasjon	14
6.2	Driftsventilasjon	14
7	Referanser	16

1 Bakgrunn

Storvikskartunnelen på fylkesvei 17 i Gildeskål kommune skal oppgraderes i henhold til tunnelsikkerhetsforskriften for fylkesveg (TSFF) [1]. I den forbindelse skal eksisterende ventilasjonsanlegg byttes ut. Oppgradert anlegg for brann og driftsventilasjon dimensjoneres i henhold til krav i Vegnormal N500 Vegtunneler [2], for å ivareta nivået av sikkerhet som finnes i tunnelen dag. Tunnelen er åpen for gående og syklende.

2 Beregningsforutsetninger

I henhold til tunnelsikkerhetsforskriften for fylkesveg er det krav om ventilasjon i tunneler med lengde over 1000 m og ÅDT over 2000 kjøretøy per kjørefelt [1]. Storvikskartunnelen er over 1000 m, men har lav trafikkmengde, ÅDT 1000, som medfører at det i utgangspunktet ikke er et krav til ventilasjon i tunnelen.

Ved oppgradering av tunnel skal tunnelens sikkerhetsnivå bevares eller bedres fra dagens nivå. Dagens ventilasjonsanlegg er beregnet til å håndtere en brannstørrelse på rett i underkant av 50 MW.

Grunnet tunnelens lave ÅDT, vil brannventilasjon gi dimensjonerende kapasitet på ventilasjonsanlegget. Viktige parametere som påvirker dimensjoneringen, er oppsummert i tabell 2-1.

Tabell 2-1: Dimensjonerende data

Faktor	Verdi	Kommentar
Tunnellengde	3116 m	
Antall kjørefelt i hver retning	1	
Skiltet hastighet	80 km/t	
Stigning	0,5-3,4 %	Tunnelens høybrekk/knekkpunkt er 2466 m inn i tunnelen.
ÅDT(2021)	1000 kjt/døgn	ÅDT ikke fremskrevet.
Tungtrafikkandel	16 %	
Tunnelklasse	B	
Tunnelprofil	T8	
Friksjonsfaktor	0,04	Store deler av tunnelen er dekket av PE-skum.

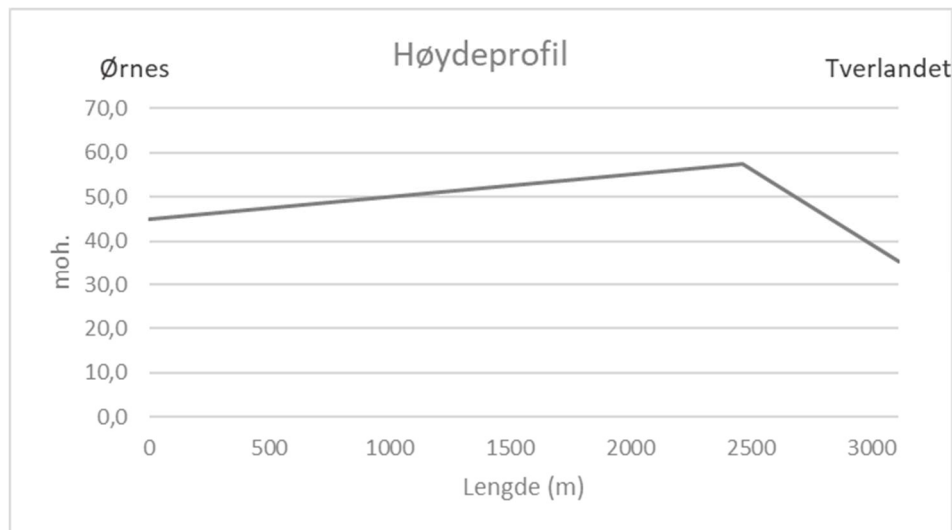
Geometri for tunneltverrsnittet er gitt i tabell 2-2. Tverrsnittsarealet varierer gjennom tunnelen, men det er tatt utgangspunkt i normalprofilet med PE-skum.

Basert på at overflaten i tunnelen i hovedsak er råsprengt fjell dekket med PE-skum og sprøytebetong er det lagt til grunn en friksjonsfaktor på 0,04. For å ta høyde for metrologiske forhold er det inkludert en vindlast som virker mot ventilasjonen på portalene. Vindhastighetene er valgt ut på bakgrunn av områdets vindrose. Vindtrykkene benyttet i beregningene er 15 Pa mot portal Tverlandet, og 29 Pa mot portal Ørnes. Dette tilsvarer vindhastigheter på henholdsvis 5 og 7 m/s rett mot portal.

Tabell 2-2: Geometri tunnelprofil [1].

Faktor	Verdi
Areal	44 m ²
Hydraulisk diameter	7 m

Beregningene er basert arbeidstegninger for RV 17 hp44 og 45 Ørnes – Storvik – Skauvoll, C3-C7. Tunnelens høydeprofil er gitt i figur 2-1.



Figur 2-1: Høydeprofil for Storvikskartunnelen

2.1 Brannventilasjon

I henhold til tabell 10.4.4-1 på side 114 i Vegnormal N500, skal brannventilasjon for tunnelklasse B dimensjoneres for en branneffekt på 50 MW [2]. Oppgradert anlegg i Storvikskartunnelen dimensjoneres for å håndtere en 50 MW brann etter avtale med lokale brannmyndigheter, slik at det tilfredsstiller krav i N500.

Iht. N500 skal ventilasjonsanlegget dimensjoneres for 3 m/s oppstrøms brannen for tunnelklasse B, når stigningen er under 2%. Der tunnelen er brattere enn 2% skal kritisk hastighet beregnes. Kritisk hastighet er nødvendig ventilasjonshastighet for å forhindre tilbakesjiktning av røyk mot ventilasjonsretningen på brannstedet. Stigningen i Storvikskartunnelen varierer fra 0,5-3,4 %, og beregning av kritisk hastighet er gjort ved bruk av metode presentert i NFPA 502 [3]. Ventileres det med stigningen, vil oppdriftskreftene virke i samme retning som ventilasjonen, og kritisk hastighet blir derfor lavere enn dersom det ventileres mot stigningen.

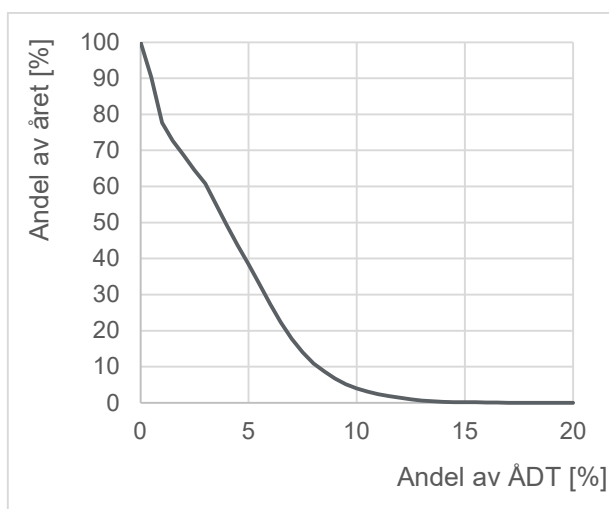
Brannventilasjonen er dimensjonert for ventilasjon i begge retninger.

2.2 Kø i tunnelen

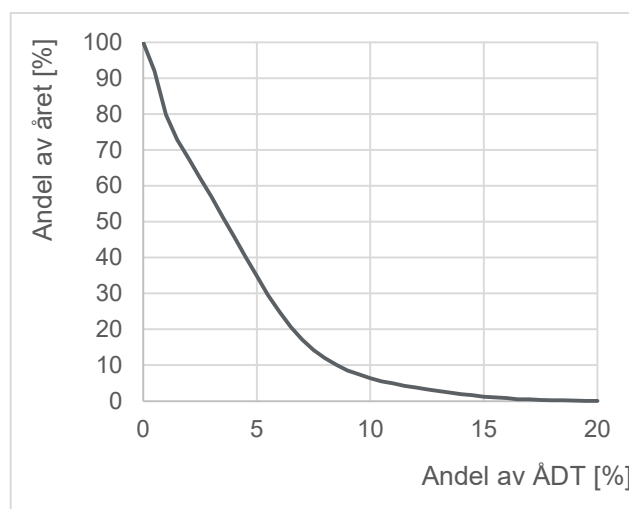
Ved beregning av nødvendig ventilasjonsbehov ved brann er det tatt høyde for stempeleffekten fra kjøretøy ved kø i tunnelen. Det er lagt til grunn at 2/3 av køen blir stående nedstrøms brannen, og 1/3 av køen oppstrøms brannen på røykfri side. Det er antatt at kjøretøy i tunnelen som kan kjøre ut av tunnelen uten å passere brannstedet gjøre dette. Tunnelens stengetid er satt til 3 minutter etter brannstart. Dette benyttes som grunnlag for beregning av antall kjøretøy i kø inne i tunnelen ved brann.

Maksimal timestrafikk er estimert ut ifra faktorvariasjonskurver fra håndbok V714 [5].

Faktorvariasjonskurvene for M5 Hovedveg utenfor tettbygd strøk og M6 transportårer med stor sommertrafikk er vurdert. Faktorvariasjonskurven for M6 har større sesongvariasjon enn M5. Det vil si at M6 har flere timer over året med meget stor timestrafikk. Figur 4-1 viser andel av året hvor timestrafikken er større eller lik en andel av ÅDT. figur 2-2 (a) viser at timestrafikken er større eller lik 10 % av ÅDT kun 4 % av årets timer dersom faktorvariasjonskurve M5 legges til grunn. For faktorvariasjonskurve M6 viser figur 2-2 (b) at timestrafikken er større eller lik 10 % av ÅDT for 6 % av årets timer.



(a) For faktorvariasjonskurve M5



(b) For faktorvariasjonskurve M6

Figur 2-2: Kumulativ fordeling av timestrafikk over året.

Basert på vurderingen av sesongvariasjonskurvene M5 og M6, synes det rimelig å benytte 10 % som dimensjonerende timestrafikk. Trafikken vil være mindre eller lik dette om lag 95 % av året.

Dimensjonerende timestrafikk for tunnelløpet i brann er dermed 100 kjt/time i tunnelen, basert på dagens ÅDT. Ved brann midt i tunnelen vil dette gi en kø på omtrent 6 lette og 1-2 tunge kjøretøy, dersom en trafikkhastighet på 80 km/t og stengetid på 3 minutter legges til grunn. Køen er fordelt slik at 2/3 står nedstrøms brannen.

2.3 Beregningsmodell

Beregninger av både drifts- og brannventilasjon er utført med programmet «IDA tunnel» av EQUA simulation [5]. IDA tunnel er et 1-dimensjonalt transient program for beregninger av strømninger og brann i tunneler. Modeller for biltrafikk med utslipp, togtrafikk og 3-dimensjonale strømnings effekter er inkludert i programvaren [6]. Programmet beregner ventilasjon for komplekse tunnelnettverk med av- og påramper, samt kryss i tunnel. Skyvkraften fra vifter og stempeleffekt fra kjøretøy balanseres opp mot friksjonskrefter, termiske krefter (ekspansjon og oppdrift) og innløps- og utløpstap.

3 Brannventilasjon

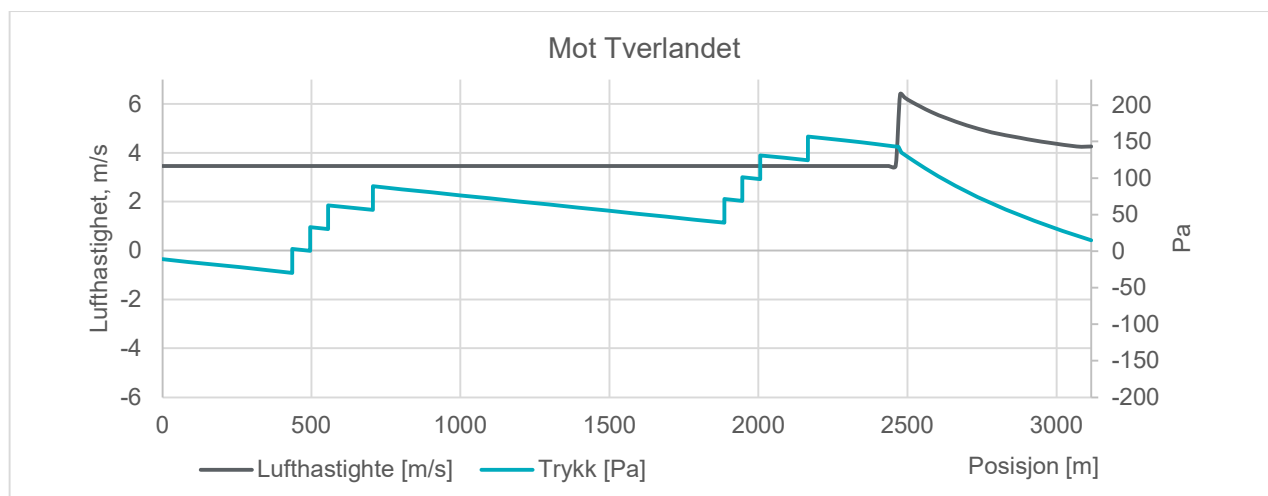
3.1 Ventilasjonsbehov

Det er utført beregninger for dimensjonerende brannplassering i begge ventilasjonsretninger. Tabell 3-1 oppsummerer resultatene fra disse. Nødvendig netto skyvkraftbehov i tunnelen ved en 50 MW brann er 11,2 kN. Netto skyvkraft vil si skyvkraft levert til tunnelufta etter alle tap.

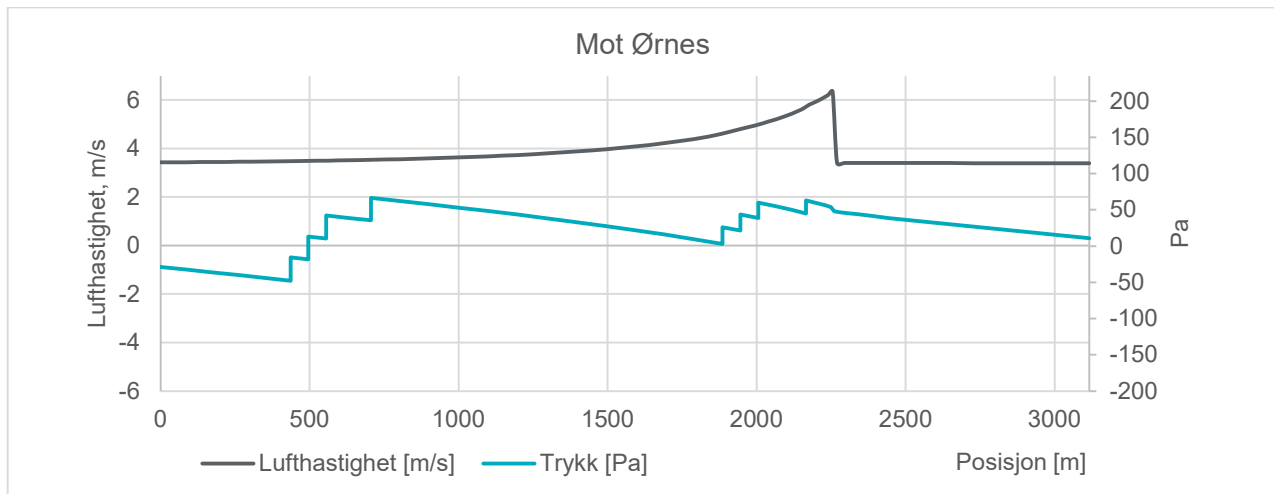
Tabell 3-1: Beskrivelse av brannsimuleringer

Branneffekt	Plassering	Ventilasjonsretning	Dimensjonerende hastighet, m/s	Hastighet oppstrøms brannen, m/s	Netto skyvkraftbehov, kN
50 MW	P 4200 (øst for høybrekk)	Mot Tverlandet	3,3	3,4	11,2
50 MW	P 4000 (vest for høybrekk)	Mot Ørnes	3,0	3,04	9,0

Trykk- og hastighetsprofiler én time etter brannstart er vist i Figur 3-1 og Figur 3-2 for de to beregningene.



Figur 3-1: Trykk og hastighetsforløp for 50 MW brann ventilert ut portal mot Tverlandet.



Figur 3-2: Trykk og hastighetsforløp for 50 MW brann ventilert ut portal mot Ørnes.

4 Driftsventilasjon

4.1 Dimensjonerende luftkvalitetsnivå

Tunnelen er åpen for myke trafikanter. Vegnormal N500 gir strengere krav til luftkvalitet i tunneler som er åpne for gående og syklende enn for tunneler som kun tillater motoriserte kjøretøy. Grunnet tunnelens relativt lave ÅDT vil brannventilasjon allikevel være dimensjonerende for ventilasjonslegget.

Det installeres sensorer for måling av CO og NO₂ for overvåkning av luftkvaliteten i tunnelen [2]. Sensorene plasseres i nærheten av hver av portalene og midt i tunnelen. For styring av driftsventilasjon kan det velges fast ventilasjonsretning, eller brukes vindmåler sammen med luftkvalitetsmålerne for CO og NO₂. Ved bruk av vindmåler, og det registreres høye konsentrasjoner, settes ventilasjonen på i eksisterende trekkretning i tunnelen. Trekkretningen registreres av en vindmåler.

Det plasseres en sensor for NO₂ og for CO ved hver portal (ca 375 - 500 m inn fra portal), samt omtrent midt i tunnelen. Vindmålerne bør monteres minst 60 m fra vifter, minst 300 m inn fra portalene, minst 30 m fra større endringer i tverrsnitt som nisjer og lignende og i god avstand fra skilt og andre obstruksjoner.

I tabell 4-1 er det gitt dimensjonerende luftkvalitetsnivå i tunneler som er tillat for gående og syklende, for tunneler med lengde mellom 0 og 4 km [2]. Dersom det antas en NO/NO_x-andel på 85 %, blir nivået for NO₂ 0,35 ppm [2].

Tabell 4-1: Dimensjonerende luftkvalitetsnivå i tunneler som er tillat for gående og syklende, for tunneler med lengde mellom 0 og 4 km.

Komponent	Nivå
NO	2 ppm
CO	25 ppm
PM ₁₀	1000 µg/m ³
PM _{2,5}	500 µg/m ³

4.2 Ventilasjonsbehov

Det er kontrollert at vifteinstallasjonen som er anbefalt for å ivareta kravene til brannventilasjon, også er tilstrekkelig for å ivareta kravene til luftkvalitet i tunnelen. Maks konsentrasjonen av CO, NO₂ og PM₁₀ er under grenseverdiene som er angitt i Tabell 4-1 med anbefalt vifteinstallasjon.

5 Installasjon og effektbehov

5.1 Impulsvifter

For beregninger av nødvendig antall impulsvifter er vifter med indre diameter på 800 mm benyttet. Viftestørrelse er valgt på bakgrunn av tunnelens høyde fra kjørebane til tak, samt krav om fri høyde på 4,8 m mellom kjørebane og tekniske installasjoner [2]. Maksimal størrelse på vifter er begrenset til indre diameter på 900 mm på grunn av vann- og frostsikring i tunnelen. Tabell 5-1 oppsummerer viftedata for foreslått vifteinstallasjon. Det er lagt til grunn bruk av symmetrisk vifte for å ivareta mulighet for innsats fra begge portaler.

Tabell 5-1: Viftedata for foreslått vifteinstallasjon.

Indre diameter (mm)	Nominell skyvkraft (N)	Utblåsnings-hastighet (m/s)	Motoreffekt (kW)	Antall vifter	Effekt tilført motor (kW)
800	870	38,0	30	16	528

Det er benyttet en installasjonsfaktor på viftene på 0,9. Dette forutsetter bruk av luftretter. Bruk av luftretter fører til tap på levert skyvkraft fra viften. Levert skyvkraft fra vifter er redusert med 3 % for å kompensere for dette. Total installasjonsfaktor for viftene blir da 0,873.

Bruk av andre vifter enn foreslått vil kunne medføre endring i antall og totalt installert effekt. Det er lagt opp til 8 vifteplasseringer i tunnelen, maksimalt 16 vifter, som medfører et krav om minimum netto levert skyvkraft på 700 N per vifte, ved bakvind på 3,3 m/s.

Beregnet skyvkraftbehov er basert på vifteplasseringene som er angitt i kapittel 5.2. Dimensjonerende brannplassering vil ikke medføre bortfall av vifter som følge av varm brannrøyk med denne vifteplasseringen. Det er derfor ikke lagt inn ekstra viftpar grunnet bortfall av vifter ved brann. Dersom viftene flyttes må dette vurderes.

Det er kontrollert at dimensjoneringskriteriet for ventilasjonsanlegget er ivaretatt selv om det brenner under ett viftepar.

5.2 Plassering av vifter i tunnelen

I henhold til krav i Vegnormal N500 [2] skal det minimum være 60 meter mellom vifteplasseringene. For å gi ventilasjonsanlegget bedre ytelse ved dimensjonerende branneffekt, bør avstanden mellom vifteplasseringene økes til 80 m eller mer.

Vifter bør plasseres minimum 30 m fra nisjer i dimensjonerende ventilasjonsretning (mot Tverlandet). Ved plassering av vifter må det tas hensyn til skilt og andre installasjoner i tunnelen som kan påvirke viftens ytelse.

Det er planlagt to tekniske bygg i tunnelen. Viftene plasseres i tilknytning til disse Tabell 5-2; 4 viftepar tilknyttes hvert av byggene. For å unngå montering ved eksisterende PE-skum, er det valgt å plassere 3 viftepar på Ørnes-siden av de tekniske byggene, og ett viftepar på motsatt side.

Tabell 5-2: Oversikt over vifteplasseringer i Storvikskartunnelen.

Profilnummer	Installasjon
2170	2 impulsvifter (T2)
2230	2 impulsvifter (T2)
2290	2 impulsvifter (T2)
2385	Teknisk bygg, T2
2440	2 impulsvifter (T2)
3610	2 impulsvifter (T3)
3670	2 impulsvifter (T3)
3740	2 impulsvifter (T3)
3820	Teknisk bygg, T3
3900	2 impulsvifter (T3)

6 Styring av ventilasjonen

6.1 Brannventilasjon

Ventilasjonsretning og -styring skal avklares med lokale brannmyndigheter [2]. For Storvikskartunnelen er det avklart fast ventilasjonsretning mot Tverlandet ved brann. Ventilasjonsstyring som tillater varierende retning i driftsfasen må avklares med brannmyndigheter for å legge til rette for evakuering, redning og slukking. Det anbefales at det velges fast ventilasjonsretning i driftsfasen. Spesielt ved sen aktivering av brannventilasjonen og ved brann i betydelig stigning, vil det gi mest forutsigbare evakueringsforhold å sette på brannventilasjonen i samme retning som eksisterende trekkretning. Det bør allikevel merkes at ved en større brann i betydelig stigning, vil oppdriftskreftene kunne bli større enn kreftene fra driftsventilasjonen, og dermed føre til at tunnelens trekkretning går i motsatt retning av opprinnelig retning for driftsventilasjon.

Det anbefales ikke forsinket oppstart av ventilasjon i Storvikskartunnelen siden det ikke er installert AID, og det kan forventes å ta tid fra brannstart til brannen er varslet. Generelt vil en moderat oppstart av ventilasjonen legge forholdene godt til rette for evakuering i en tidlig fase [2]. I denne tunnelen er brannventilasjonen dimensjonert for ventilasjon i nedoverbakke, det vil si at lufthastigheten både ved moderat oppstart og full ventilasjon blir høy for andre brannplasseringer med samme ventilasjonsretning. Dette er nødvendig for å sikre at røykens strømningsretning ikke snur underveis i brannforløpet ved de brannplasseringene som er tyngst å ventilere.

Det anbefales å styre brannventilasjonen på registreringer fra vindmålere ved moderat oppstart (trinn 1). En hastighet på ca. 1,5 m/s legger godt til rette for evakuering, og bør etterstrebes. Oppstart av full brannventilasjon (trinn 2) må avklares nærmere. Det må avklares om trinn 2 skal startes opp etter et forhåndsinnstilt tidsintervall, eller startes opp manuelt av VTS eller fra nødstyrepanel.

6.2 Driftsventilasjon

På grunn av de små konsentrasjonene det skal styres etter, anbefales det å begrense antall ventilasjonstrinn før alarmnivå, slik at antall vifter i drift holdes nede. Med en tabell med flere ventilasjonstrinn basert på målinger av små konsentrasjoner, kan det risikeres at mange vifter settes i gang på grunn av begrensinger i målenøyaktighet hos luftkvalitetsmåleren. Det anbefales at første ventilasjonstrinn legges inn med startgrense lavere enn grensenivå gitt i Tabell 4-1 og første alarmnivå på grensenivå. Andre alarmnivå har startgrense lik grenseverdien for tunneler uten gående og syklende, gitt i tabell A.10 side 135 i Vegnormal N500.

Se tabell 6-1 for skisse av styringstabell for luftkvalitetssensor plassert i nærheten av portal (375 – 500 m) på hver side og for sensorer plassert midt i tunnelen. I tabellen er det oppgitt startverdier. For sensorer plassert i en annen avstand fra portalen må startverdiene korrigeres.

Gjennomsnittskonsentrasjonen i tunnelen ved aktivering av ventilasjonen estimeres til å være lik startverdiene for sensor ved havarinisje midt i tunnelen gitt i tabell 6-1. Startverdien for første trinn etter alarmnivå 1, anbefales derfor å settes lavere enn 0,6 ppm slik at gjennomsnittskonsentrasjonen er lavere enn grenseverdien i forskrift om tiltaks- og grenseverdier. Ventilasjonsanlegget vil slå inn på NO₂ før CO.

Denne måten å styre ventilasjonen på vil sikre at luftkvalitetsnivået er innenfor akseptable nivåer og at driftstiden til viftene ikke er større enn nødvendig.

For CO styres ventilasjonen etter maksimalkonsentrasjon i tunnelen. Ventilasjonstrinnet «alarm 2» aktiveres også av maksimalt NO₂-nivå i tunnelen i henhold til tabell A.10 side 135 i Vegnormal N500.

Tabell 6-1: Anbefalt styringstabell for driftsventilasjonen i en tunnel åpen for gående og syklende.

Ventilasjonstrinn	Måler ved portal		Måler midt i tunnelen	
	NO ₂	CO	NO ₂	CO
	ppm	ppm	ppm	ppm
1	0.48	15.00	0.24	7.50
Alarm 1	0.70	25.00	0.35	12.50
3	1.00	35.00	0.50	17.50
4	1.30	45.00	0.65	22.50
Alarm 2	1.50	50.00	0.75	25.00

7 Referanser

- [1] Forskrift om minimum sikkerhetskrav i tunneler på fylkesvegnettet og kommunalt vegnett Oslo. Samferdselsdepartementet 10. desember 2014.
- [2] Statens Vegvesen, Vegnormal N500 Vegtunneler. 2022
- [3] Ying Zen Li, Bo Lei og Haukur Ingason. Study of critical velocity and backlayering length in longitudinally ventilated tunnel fires. Fire Safety journal 45 (2010) 361-370
- [4] Atkinson G.T. og Wu Y., Smoke Control in Sloping Tunnels. Fire Safety Journal 27 (1996) 335-341
- [5] EQUA Simulation AB. <http://www.equa.se/en/tunnel>
- [6] EQUA Simulation AB. IDA Tunnel version 4.7 build 1 Theoretical Reference. (2017)
- [7] Statens Vegvesen Håndbok V714 Veileder i trafikkdata. 2014
- [8] Forskrift om tiltaksverdier og grenseverdier for fysiske og kjemiske faktorer i arbeidsmiljøet samt smitterisikogrupper for biologiske faktorer. Arbeidsdepartementet 6. desember 2011 nr. 1358, endringsforskrift av 21. juni 2016 nr. 760