
Tunneler E134 Kongsberg

Vurdering av luftforurensning fra
tunnelmunninger

Ivar Haugsbakk



Oppdragsrapport

Innhold

	Side
Sammendrag	3
1 Innledning	5
2 Metoder og forutsetninger	5
3 Tunnel- og trafikkdata	6
4 Grenseverdier og Nasjonalt mål for luftkvalitet	8
5 Utslipp	8
6 Resultater fra spredningsberegningene	10
6.1 Tunneler	10
7 Framtidig utvikling	11
8 Konklusjon	12
9 Referanser	12
Vedlegg A Trafikktall og spredningsberegninger	13
Vedlegg B Avgassproduksjon og nødvendig ventilasjonshastighet i tunnelen	21
Vedlegg C Spredningsberegninger for tunneler	27

Sammendrag

NILU-Norsk institutt for luftforskning har på oppdrag fra Multiconsult utført beregninger av luftforurensning fra tunnelmunninger langs E134 ved Kongsberg. Det er utført beregninger av produksjon av nitrogenoksider (NO_x), svevestøv (PM_{10}) i Gamlegrendåsen tunnel og Svartås tunnel, samt spredning av forurensninger fra tunnelmunningene. Beregningene er basert på trafikk tall fra oppdragsgiver.

Beregningene er utført for trafikksituasjoner i rushtiden, med trafikkflyt i begge retninger. Videre er krav til ventilasjon og behov for utlufting og tilførsel av ventilasjonsluft beregnet for de samme trafikksituasjonene. Forurensningsbelastningen (maksimal forurensningsgrad) ved tunnelmunningene er beregnet for svevestøv (PM_{10}), nitrogendioksid (NO_2) og sammenlignet med grenseverdier og Nasjonalt mål for luftkvalitet.

Konklusjon

For normal trafikkavvikling og kjørehastighet lik skiltet hastighet (80 km/t) viser beregningene at grenseverdien for svevestøv som *døgnmiddel* på $50 \mu\text{g } PM_{10}/\text{m}^3$ vil kunne overskrides utenfor Gamlegrendåsen tunnel opptil 74 m fra tunnelmunning mot Kongsberg og 57 m fra tunnelmunning fra Kongsberg. For Svartås tunnel er tilsvarende tall hhv 67 m og 29 m. For NO_2 vil det kunne bli overskridelser av grenseverdi som *timemiddel* på $200 \mu\text{g } NO_2/\text{m}^3$ opptil 55 m fra Gamlegrendåsen tunnel, tunnelmunning fra Kongsberg. Ved øvrige tunnelmunninger vil det ikke bli overskridelser av grenseverdi for NO_2 .

Ved endret kjørehastighet og eventuell køkjøring som følge av trafikale problemer vil disse forholdene endres, og det er påkrevd med vifter som kan sikre nødvendig ventilasjon i tunnelene for å hindre overskridelser av grenseverdier for tunnelluft.

Tunneler E134 Kongsberg

Vurdering av luftforurensning fra tunnelmunninger

1 Innledning

NILU-Norsk institutt for luftforskning har på oppdrag fra Multiconsult utført beregninger av luftforurensning fra tunnelmunninger langs E134 ved Kongsberg. Det er utført beregninger av forurensningskonsentrasjoner i områdene nær tunnelmunningene for Gamlegrendåsen tunnel og Svartås tunnel. Beregningene er utført for trafikksituasjoner med maksimaltrafikk (rushtid om morgen og ettermiddag).

Krav til ventilasjon og behov for utlufting og tilførsel av ventilasjonsluft er beregnet for rushtidstrafikk. Forurensningsbelastningen ved tunnelmunningene er beregnet for svevestøv (PM_{10}) og nitrogendioksid (NO_2). Vi har regnet som om 30% av utslippet av nitrogenoksider (NO_x) fra biltrafikken består av nitrogendioksid (NO_2). NO_2 i bileksosen gir vanligvis de høyeste forurensningskonsentrasjoner i forhold til anbefalte retningslinjer for timeverdier i uteluft og grenseverdier for luftkvalitet i tunneler ved lave kjørehastigheter, mens PM_{10} blir begrensende komponent ved høye hastigheter. Nye forskrifter og Nasjonalt mål for luftkvalitet er omtalt i kapittel 4.

2 Metoder og forutsetninger

I beregningene er det benyttet samme metoder som er benyttet ved tilsvarende tunneler (Larssen og Iversen, 1984; Larssen, 1987; Tønnesen, 1988). Beregningsmetoden er kontrollert ved målinger utført blant annet ved tunneler i Oslo (Peterson og Tønnesen, 1990). Beregningene har omfattet følgende:

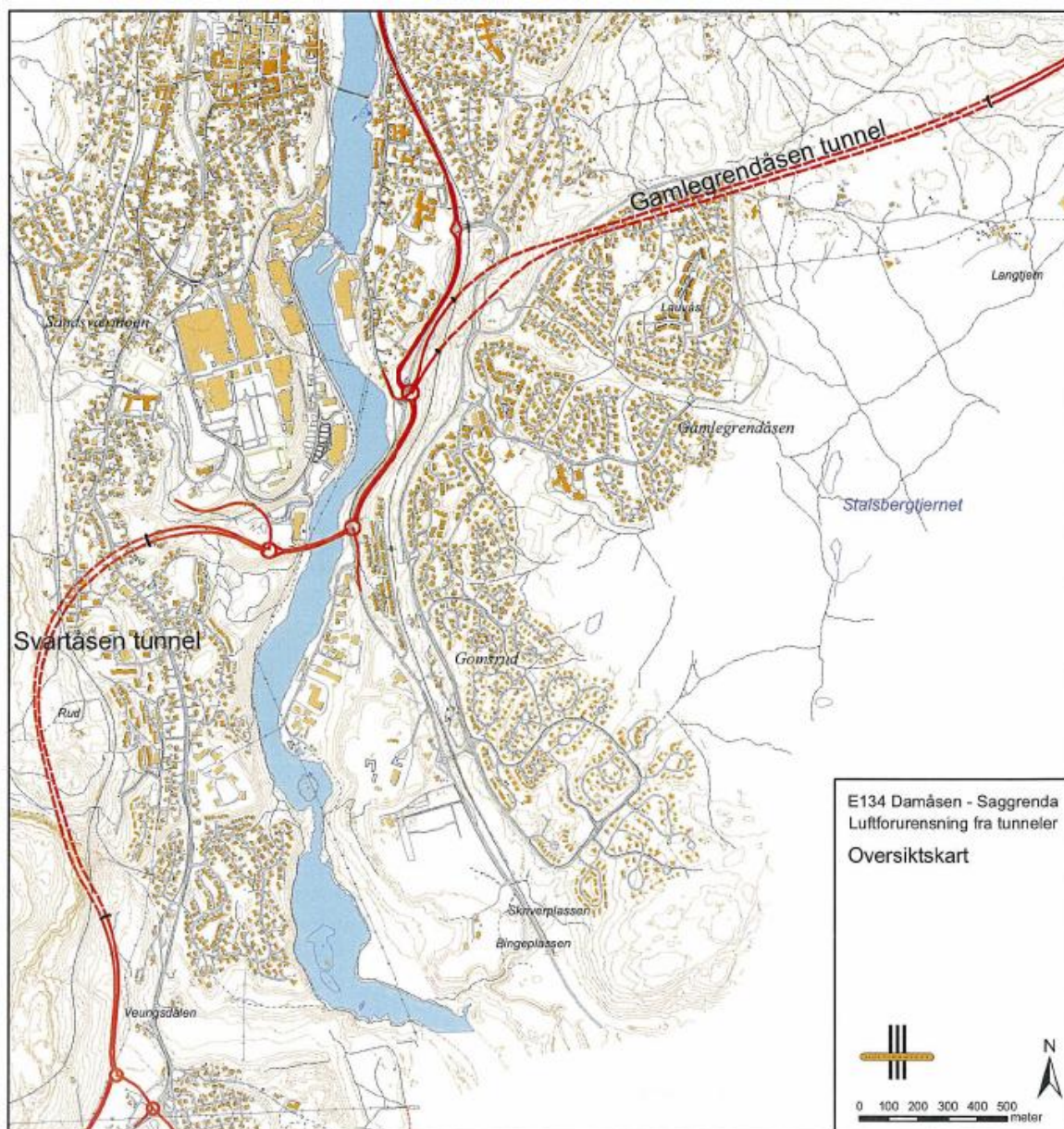
1. Med utgangspunkt i trafikk- og tunneldata, samt utslippsfaktorer for lette og tunge diesel- og bensinbiler, har vi beregnet utslipp av PM_{10} og NO_x i tunnelene.
2. Ut fra data for utslipp av NO_x og PM_{10} er det beregnet nødvendig ventilasjonshastighet for å overholde grenseverdier i tunnelene.
3. Konsentrasjonene av PM_{10} og NO_2 utenfor munningene er beregnet ved hjelp av en modell som beskriver spredning av forurensninger fra tunneler (Iversen, 1982).
4. Tilleggskonsentrasjon fra andre forurensningskilder enn tunnelen er vurdert og lagt til tunnelbidraget.
5. Beregnete konsentrasjoner av PM_{10} og NO_2 fra munningene er sammenlignet med nye forskrifter og Nasjonalt mål for luftkvalitet gitt i kapittel 4.

I beregningene er det tatt hensyn til innføring av katalysator på nye bensindrevne bilmodeller fra 1989. Det antas videre at tilnærmedesvis alle bensindrevne biler har katalysator innen år 2010. For tunge dieselbiler ble strengere avgasskrav innført i 1994, mens krav til dieseldrevne personbiler og lette dieseldrevne varebiler ble innført i 1990. Eventuelle endringer i teknologi etter 2010 er det **ikke** tatt hensyn til. Trolig vil utslippsnivået pr. kjøretøy på dette tidspunktet være lavere enn det som er anvendt i beregningen.

3 Tunnel- og trafikkdata

Tunneltrasé er vist i Figur 1. Nødvendige tegninger og tallmateriale angående veigeometri og sammensetning er gitt av oppdragsgiver. Beregningene er utført med hensyn på morgenrush/ettermiddagsrush for 2040.

Med separate løp for de to kjøreretningene vil pumpevirkingen fra trafikken ved normal trafikkavvikling med god margin være tilstrekkelig til nødvendig ventilering av tunnelen. Ved kødannelser vil vifteanlegg være nødvendig for tilstrekkelig ventilasjon i tunnelen. Se også Vedlegg A, trafikk tall.



Figur 1: Tunneltrasé, E134 Gamlegrendåsen tunnel og Svartåsen tunnel.

4 Grenseverdier og Nasjonalt mål for luftkvalitet

Luftkvaliteten i et område vurderes ved å sammenligne målinger eller beregninger av konsentrasjoner av luftforurensning med grenseverdier for virkning på helse og/eller vegetasjon. Begrepene grenseverdi og Nasjonalt mål er tallverdier for forurensningsgrad. Grenseverdier er juridisk bindende, mens Nasjonalt mål er en målsetning. Grenseverdiene i Norge er fastsatt av Miljøverndepartementet, Forskrift for lokal luftkvalitet.

Tabell 1 viser grenseverdier og Nasjonalt mål for luftkvalitet for de aktuelle komponenter. I denne rapporten har vi i første rekke sammenlignet beregnede konsentrasjoner med den nye forskriftens grenseverdier, men også med Nasjonalt mål for luftkvalitet.

Tabell 1: Grenseverdier og Nasjonalt mål for luftkvalitet. Tallene i parentes viser hvor mange ganger grenseverdien tillates overskredet hvert år.

Komponent	Enhet	Midlingstid	Norske grenseverdier	Nasjonalt mål
NO ₂	µg/m ³	Time	200 (18)	150 (8)
	µg/m ³	År	40	
PM ₁₀	µg/m ³	Døgn	50 (35)	50 (7)
	µg/m ³	År	40	

- Grenseverdier er generelt skjerpet de siste tiårene. Gjelder grenseverdier satt av både WHO, EU og Norge.
- Den nye forskriften med grenseverdier, fastsatt ved Kgl. Res. 4. oktober 2002 er lik EUs nye grenseverdier.
- Nasjonalt mål for luftkvaliteten i byer og tettsteder ble vedtatt av Regjeringen høsten 1998. Nasjonalt mål er i hovedsak litt strengere enn den nye forskriften. Den nye forskriften og Nasjonalt mål tillater et visst antall overskridelser pr. år for NO₂ og PM₁₀, som vist i Tabell 1. Grenseverdien for PM_{2,5} er gitt kun som årsmiddel.

5 Utslipp

Utslipp av PM₁₀ og NO_x er beregnet for tiden med størst trafikkbelastning, rushtid om morgenen/ettermiddagen, med følgende inngangsdata:

1. Trafikktall.
2. Tunneldata (lengde, tverrsnittsareal, stigning).
3. Tungtrafikkandel (12%).
4. Kaldstartandel (70%).
5. Piggdekkandel (57%)

Resultatet av utslippsberegningene er vist i Tabell 2. Detaljerte beregninger for de enkelte tunnellopene er vist i Vedlegg B. NO₂- og PM₁₀-konsentrasjoner i ventilasjonsluften ved munningene er beregnet for prosjekterte trafikkmengder og ulike hastigheter. Tabellen viser resultatet av beregningene for gitte kjørehastigheter (deriblant skiltet hastighet med uthevet skrift). Munningskonsentrasjonene er beregnet ut fra Vegdirektoratets grenseverdier for tunnelluft og derav nødvendig ventilasjonshastighet. Med separate tunnellop for begge kjøreretningene, vil pumpevirkning fra trafikken medføre en ventilasjonshastighet som er mer enn tilstrekkelig for å ventilere tunnelen. Luftstrømmen inne i tunnelen og i umiddelbar nærhet av munningen vil være tilnærmet upåvirket av vindretninger og vindstyrker i friluft.

Tabell 2: Maksimale munningskonsentrasjoner ved rushtidstrafikk.
Alle konsentrasjoner som timemidler.

Tunnelmunning	Ventilasjons- hastighet** (m/s)	Munningskonsentrasjoner*	
		PM ₁₀ (µg/m ³)	NO ₂ (µg/m ³)
Gamlegrendåsen tunnel mot Kongsberg			
70 km/t	4,39	167	65
80 km/t	5,01	185	62
90 km/t	5,64	203	59
Gamlegrendåsen tunnel fra Kongsberg			
70 km/t	4,39	156	391
80 km/t	5,01	172	331
90 km/t	5,64	189	279
Svartås tunnel mot Kongsberg			
70 km/t	4,47	113	79
80 km/t	5,11	125	70
90 km/t	5,75	138	63
Svartås tunnel fra Kongsberg			
70 km/t	4,47	113	212
80 km/t	5,11	125	180
90 km/t	5,75	138	154

*Utslippt av NO₂ avtar med høyere hastighet. For PM₁₀ er det omvendt.

**Pumpevirkning/stempeleffekt fra trafikken

En lavere dieselandel vil gi mindre utslipp av NO_x. Det vil vanligvis være NO_x-utslippene som avgjør nødvendige luftstrømhastigheter for å overholde grenseverdier for luftkvalitet i tunneler ved lave hastigheter, og PM₁₀ ved høyere hastigheter.

Det er ikke tatt hensyn til at forurenset luft trekkes inn i tunnellopene fra omgivelsene. Dette inngår i bakgrunnskonsentrasjonene, og vil i liten grad påvirke konsentrasjonen i tunnelen. Dette ligger innenfor usikkerheten i beregningene.

6 Resultater fra spredningsberegningene

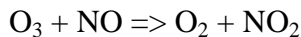
6.1 Tunneler

NO₂- og PM₁₀-konsentrasjoner i ventilasjonsluften i munningene er beregnet for prosjekterte trafikkmengder og hastigheter i begge kjøreretninger. Tabell 3 viser resultatet av beregningene. Det er tatt utgangspunkt i skiltet kjørehastighet, 80 km/t.

Det er beregnet ved hvilken avstand fra tunnelmunningene konsentrasjoner av PM₁₀ og NO₂ er redusert til et nivå lik grenseverdier og Nasjonalt mål for uteluft/grenseverdier.

I beregningene er det også tatt hensyn til bakgrunnsnivå av forurensete komponenter. Bakgrunnskonsentrasjoner representerer i dette tilfellet en maksimal konsentrasjon som skyldes andre kilder utenfor tunnelmunningen. Vi har regnet med et bakgrunnsnivå på 40 µg NO₂/m³ som timemiddel og 25 µg PM₁₀/m³ som døgnmiddel ved tunnelmunninger mot Kongsberg. Ved de øvrige tunnelmunninger har vi regnet med 15 µg NO₂/m³ som timemiddel og 10 µg PM₁₀/m³ som døgnmiddel. Bakgrunnskonsentrasjonene er estimert fra luftkvalitetsmålinger i Kongsberg sentrum i 2010.

Det er også regnet med et bakgrunnsnivå av ozon på 60 µg/m³. Ozon reagerer med nitrogenmonoksid og danner oksygen og nitrogendioksid etter ligningen:



Det teoretiske maksimalnivået for NO₂-bidrag fra andre kilder blir dermed 100 µg NO₂/m³ (tunnelmunninger mot Kongsberg) og 75 µg/m³ (tunnelmunninger fra Kongsberg). Dette forutsetter imidlertid at det er nok O₃ til stede.

Det er ellers ikke tatt hensyn til bidrag fra andre veier i nærheten eller andre forureningskilder fordi disse bidragene inngår i bakgrunnsnivået. Resultatet av beregninger av konsentrasjoner **utenfor** tunnelmunningene er vist i Tabell 3.

Maksimalkonsentrasjonene forekommer ved stor trafikk (i rushtiden) og ved dårlige spredningsforhold, det vil si for svak vindstyrke. Ved sterkere vind blir spredningen bedre, og området med høye konsentrasjoner mindre.

Når tungtrafikkandelen er mindre enn 12 % fører det til et mindre område med NO₂-belastning over akseptabelt forureningsnivå.

Det kan ikke ses bort fra at utslipp fra tunnelen kan bidra til luktplager i tunnelmunningens umiddelbare nærhet ved normal trafikkavvikling. Erfaringsmessig vil eksosluft kunne merkes på større avstander enn der NO₂-konsentrasjonen er 200 µg/m³.

Figurer i Vedlegg A viser maksimal utbredelse av forurensning av grenseverdi for PM_{10} som døgnmiddel for tunnelmunningen og grenseverdi for NO_2 som timemiddel. I Vedlegg C er framstilling av spredning rundt tunnelmunningene forklart mer detaljert.

Tabell 3: Nødvendig spredningsavstand fra tunnelmunning for at konsentrasjoner av PM_{10} og NO_2 er redusert til gitte nivåer. Verdier for PM_{10} gjelder døgnmiddel og NO_2 som timemiddel.

Tunnel	Lengde av jettfase (m)	Ventilasjons-hastighet	Nødvendig spredningsavstand for å komme ned på luftkvalitetsnivå (m)			
			PM_{10} (50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	NO_2 (100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	NO_2 (150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	NO_2 (200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Gamlegrendåsen Mot Kongsberg (vestover) 80 km/t	78,1	5,01	74	5	-	-
Gamlegrendåsen Fra Kongsberg (østover) 80 km/t	78,1	5,01	57	104	78	55
Svartås Mot Kongsberg (østover) 80 km/t	77,3	5,11	67	20	-	-
Svartås Fra Kongsberg (vestover) 80 km/t	77,3	5,11	29	69	32	-

7 Framtidig utvikling

Alle nye personbiler solgt etter 1989 er utstyrt med treveis katalysator. Strengere avgasskrav til dieseldrevne personbiler ble innført i 1990, og tyngre dieseldrevne biler fikk strengere avgasskrav i 1994. Det var tidligere forventet en årlig utskifting av bilparken til katalysatorbiler på 7%, regnet fra 1989, men nybilsalget fra 1988 til nå har vært lavere enn antatt. Dette innebærer allikevel antagelig at tilnærmet alle bilene vil ha katalysator i 2010.

Avgasskrav til dieseldrevne lastebiler fra 1994 vil etter hvert redusere NO_x (og NO_2)-utslipp fra slike biler. Med halvert NO_x -utslipp fra de nye bilene, og en utskiftingstakt på 10% pr. år, vil dette motvirke en trafikkøkning på anslagsvis 2-3% pr. år.

Eventuelle endringer i teknologi etter 2040 er det **ikke** tatt hensyn til. Trolig vil utslippsnivået pr. kjøretøy lenge før dette tidspunktet være lavere enn det som er anvendt i beregningen.

8 Konklusjon

For normal trafikkavvikling og kjørehastighet lik skiltet hastighet (80 km/t) viser beregningene at grenseverdien for svevestøv *som døgnmiddel* på $50 \mu\text{g PM}_{10}/\text{m}^3$ vil kunne overskrides utenfor Gamlegrendåsen tunnel opptil 74 m fra tunnelmunning mot Kongsberg og 57 m fra tunnelmunning fra Kongsberg. For Svartås tunnel er tilsvarende tall hhv 67 m og 29 m. For NO_2 vil det kunne bli overskridelser av grenseverdi *som timemiddel* på $200 \mu\text{g NO}_2/\text{m}^3$ opptil 55 m fra Gamlegrendåsen tunnel, tunnelmunning fra Kongsberg. Ved øvrige tunnelmunnings vil det ikke bli overskridelser av grenseverdi for NO_2 .

Ved endret kjørehastighet og eventuell køkjøring som følge av trafikale problemer vil disse forholdene endres, og det er påkrevd med vifter som kan sikre nødvendig ventilasjon i tunnelene for å hindre overskridelser av grenseverdier for tunnelluft.

9 Referanser

- Gotaas, Y. (1981) Spredning av sporstoff fra vegtunneler i Bergen. Lillestrøm (NILU OR 37/81).
- Iversen, T. (1982) Forenklet metode for spredningsberegninger ved vegtunneler. Lillestrøm (NILU OR 27/82).
- Larssen, S. (1987) Vålerenga-tunnelen, Oslo. Reviderte beregninger av luftforurensninger ved munningene. Lillestrøm (NILU OR 33/87).
- Larssen, S. og Iversen, T. (1984) Vurdering av luftforurensning ved veitunneler gjennom Vålerenga og Gamlebyen. Lillestrøm (NILU OR 52/84).
- Peterson, H.G. and Tønnesen, D. (1990) A tracer investigation of traffic emissions from the Vålerenga tunnel at Etterstad. Lillestrøm (NILU OR 39/90).
- Statens forurensningstilsyn (1992) Virkninger av luftforurensninger på helse og miljø. Anbefalte luftkvalitetskriterier. Oslo (SFT-rapport nr. 92:16).
- Statens vegvesen (2002) Vegtunneler. Oslo (Håndbok 021).

Vedlegg A

Trafikktall og spredningsberegninger

Trafikktall

Gamlegrendåsen tunnel	ÅDT 15.600
Svartås tunnel	ÅDT 13.000

Morgenrush i maksimumstime 9% av ÅDT, retningsfordeling ca 60% mot Kongsberg.

Ettermiddagsrush i makstime 11% av ÅDT, retningsfordeling ca 40% mot Kongsberg.

Tunnelprofil T9,5
Piggdekkandel 57%

Tunnel-lengder

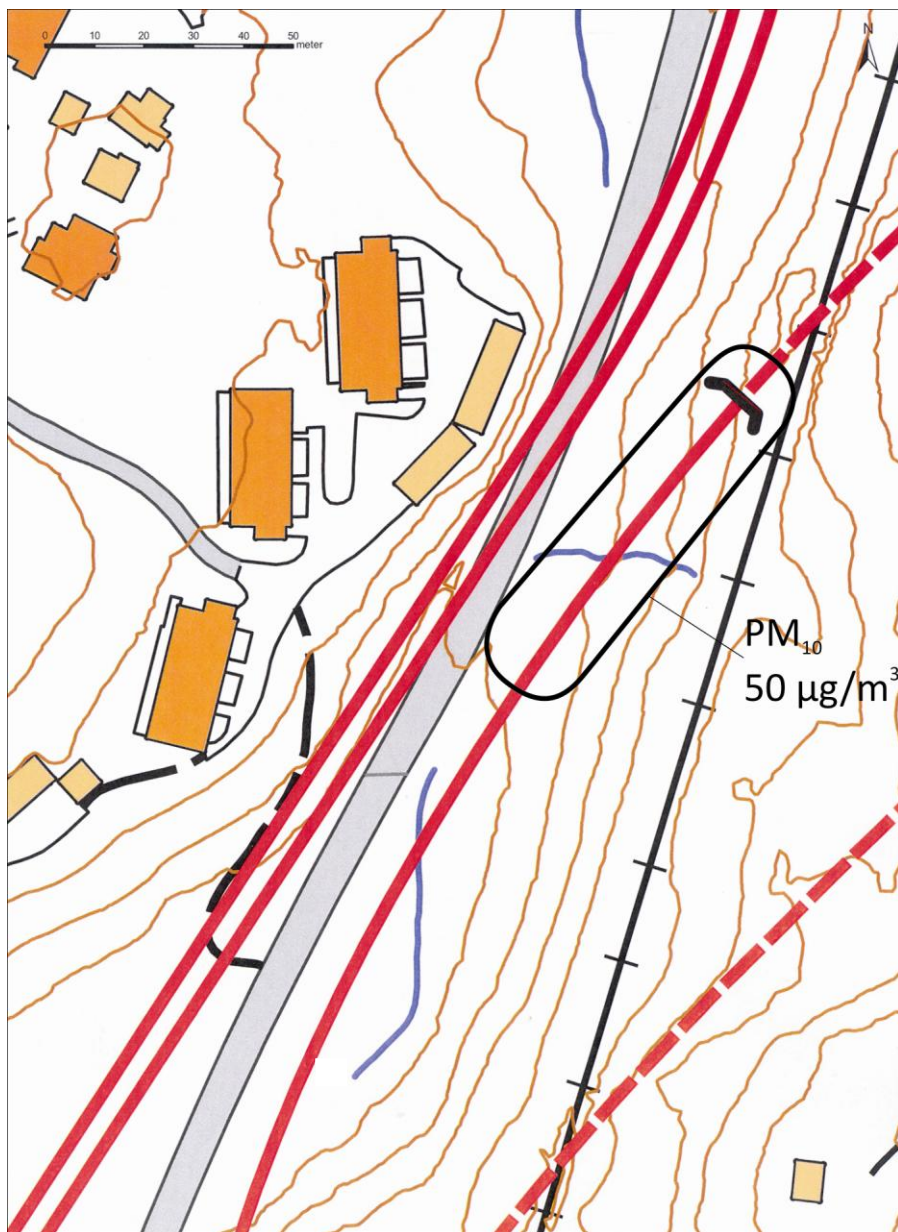
Gamlegrendåsen tunnel:

Vestgående profil: 2800-4930 dvs. 2130 m

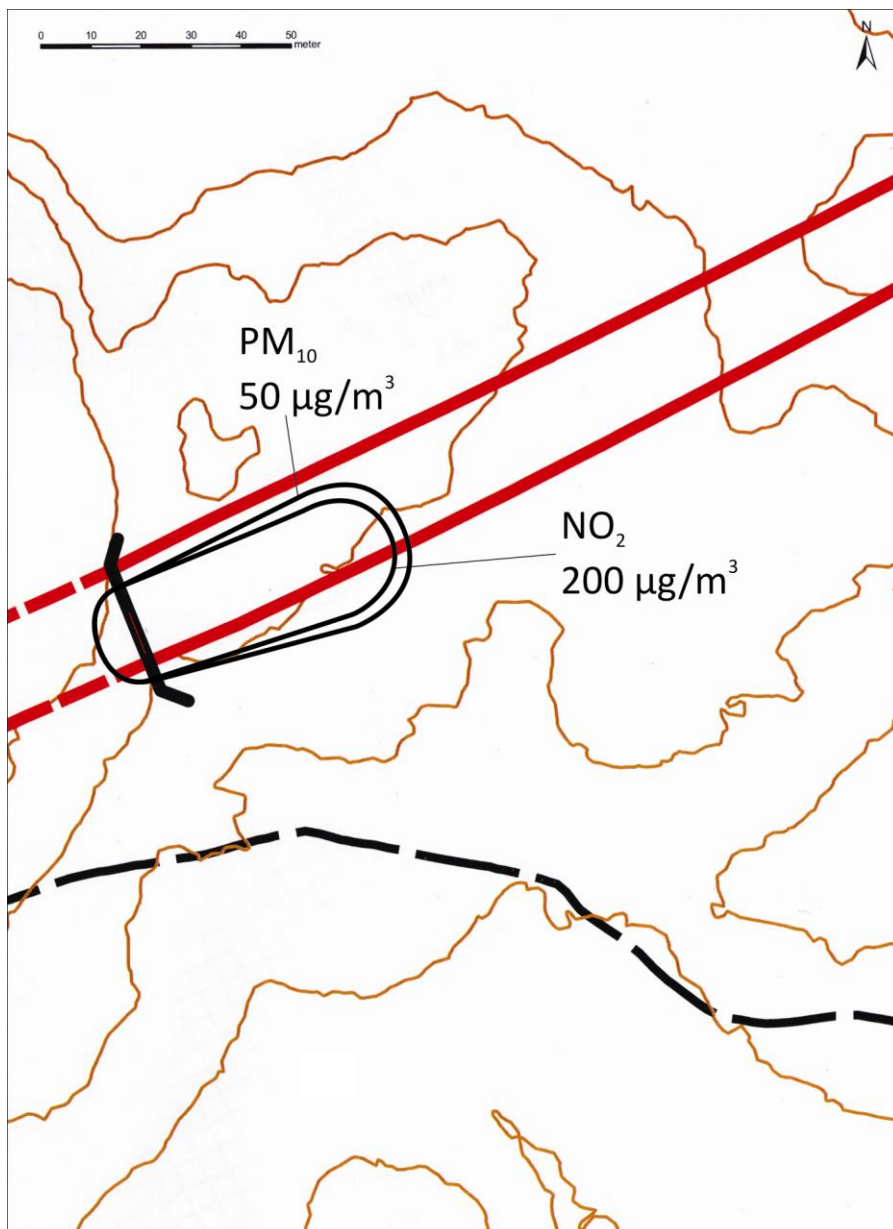
Østgående profil: 2800-4780 dvs. 1980 m

Svartåsen tunnel:

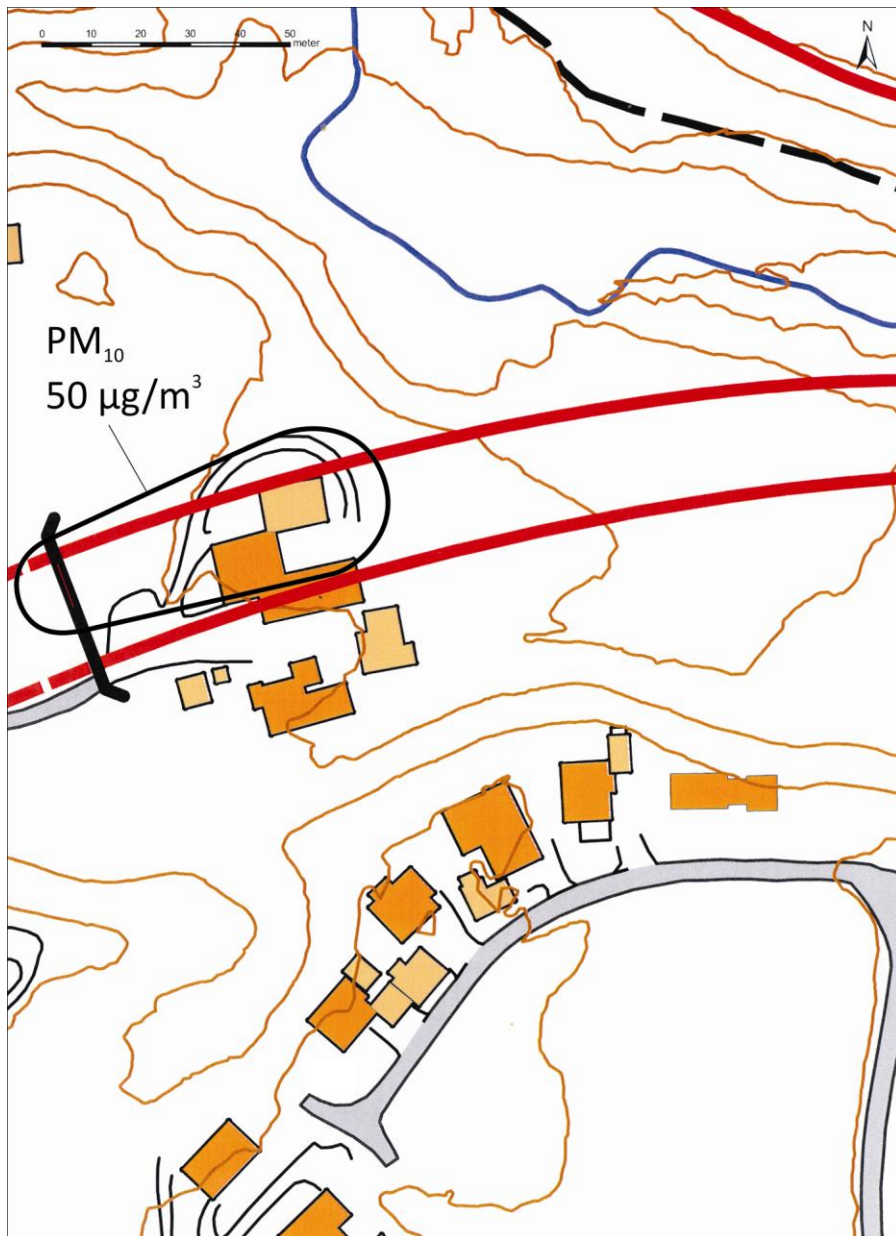
Profil: 6480-7895 dvs. 1415 m



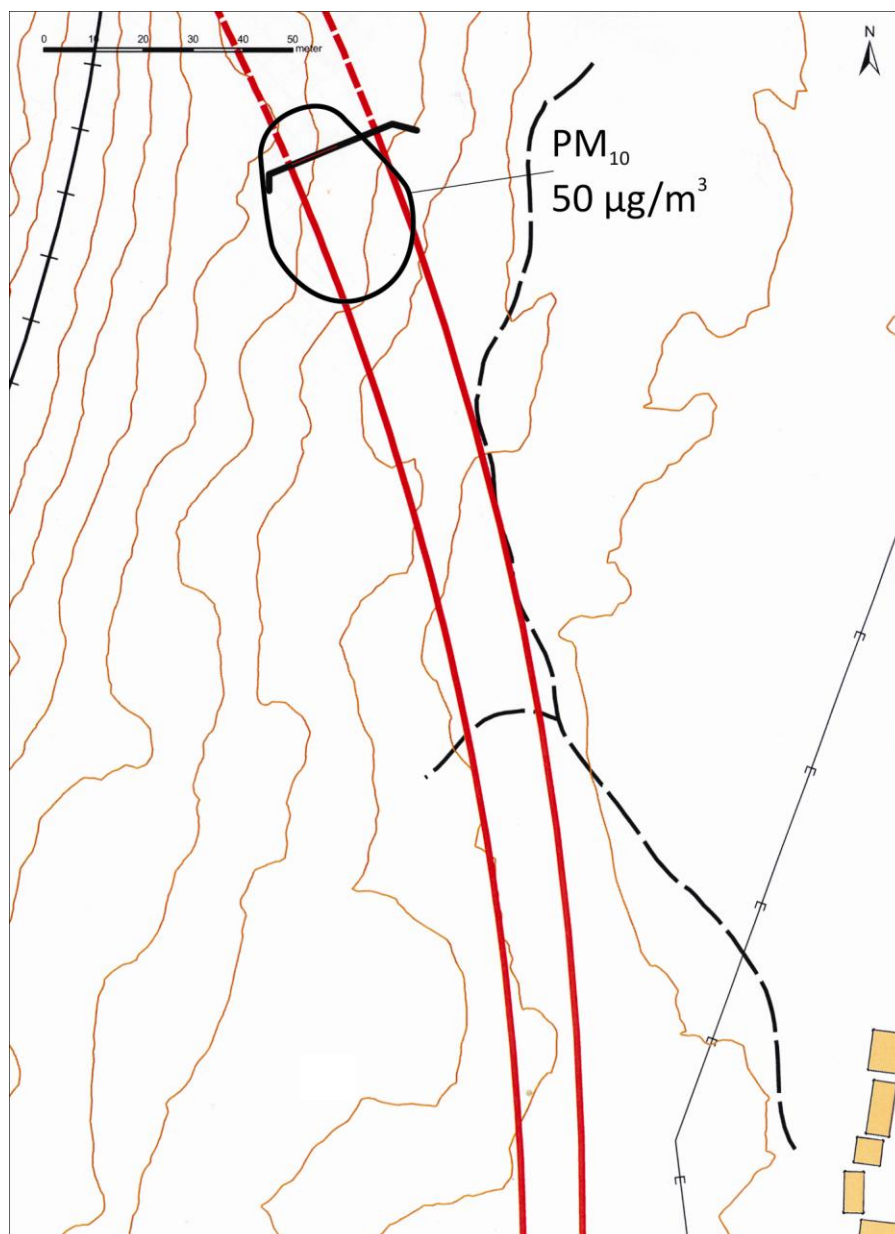
Figur A1: Gammelgrendåsen tunnel vestover.



Figur A2: Gammelgrendåsen østover.



Figur A3: Svartås tunnel østover.



Figur A4: Svartås tunnel vestover.

Vedlegg B

Avgassproduksjon og nødvendig ventilasjons hastighet i tunnelen

Gamlegrendåsen tunnel-Morgenrush

BEREGNINGSÅR: 2040

TRAFIKKSAMMENSETNING:

DPD	DL<10	DL10-20	DL>20
12.	5.	4.	3.

VEGSEGMENTER:

DEL	TRAF.	LENGDE	PROFIL
-----	-------	--------	--------

1	824.	2.13	-4.43
---	------	------	-------

HASTIGHET	PM10-PROD (G/S)	NOX-PROD (G/S)
-----------	-----------------	----------------

10	0.017	0.545
20	0.019	0.367
30	0.024	0.254
40	0.024	0.114
50	0.030	0.089
60	0.037	0.062
70	0.049	0.064
80	0.062	0.069
90	0.076	0.074

VENTILASJON OG MUNNINGSKONSENTRASJONER:

PM10 ER GITT I mg/m³ , NO_x ER GITT I mg/m³

TUNNELAREAL: 66.5 M**2

NØDV. VENTILASJON FRA STØV ER TOTALT STØV!

TRAFIKK-	PUMPE-	NØDVEN.	MUNNINGSKONSENTRASJONER			
----------	--------	---------	-------------------------	--	--	--

HAST.	VIRKN.	VENT.H.	PM10 (P)	NOX (P)	PM10 (N)	NOX (N)
10	0.63	0.29	0.399	13.087	0.853	28.000
20	1.25	0.20	0.230	4.406	1.464	28.000
30	1.88	0.24	0.188	2.031	1.500	16.205
40	2.51	0.24	0.142	0.682	1.500	7.222
50	3.13	0.30	0.142	0.426	1.500	4.487
60	3.76	0.38	0.150	0.247	1.500	2.470
70	4.39	0.49	0.167	0.218	1.500	1.957
80	5.01	0.62	0.185	0.206	1.500	1.676
90	5.64	0.76	0.203	0.196	1.500	1.452

Svartås tunnel-Morgenrush

BEREGNINGSÅR: 2040

TRAFIKKSAMMENSETNING:

DPD	DL<10	DL10-20	DL>20
12.	5.	4.	3.

VEGSEGMENTER:

DEL TRAF. LENGDE PROFIL

1	858.	1.41	-2.39
---	------	------	-------

HASTIGHET PM10-PROD (G/S) NOX-PROD (G/S)

10	0.011	0.444
20	0.013	0.317
30	0.016	0.252
40	0.016	0.138
50	0.021	0.110
60	0.026	0.081
70	0.034	0.078
80	0.043	0.079
90	0.053	0.081

VENTILASJON OG MUNNINGSKONSENTRASJONER:

PM10 ER GITT I mg/m³ , NOx ER GITT I mg/m³

TUNNELAREAL: 66.5 M**2

NØDV. VENTILASJON FRA STØV ER TOTALT STØV!

TRAFIKK- PUMPE- NØDVEN. MUNNINGSKONSENTRASJONER

HAST.	VIRKN.	VENT.H.	PM10 (P)	NOX (P)	PM10 (N)	NOX (N)
10	0.64	0.24	0.270	10.437	0.725	28.000
20	1.28	0.17	0.156	3.729	1.172	28.000
30	1.92	0.16	0.127	1.972	1.500	23.204
40	2.56	0.16	0.096	0.814	1.500	12.714
50	3.20	0.21	0.097	0.515	1.500	8.008
60	3.84	0.26	0.102	0.318	1.500	4.702
70	4.47	0.34	0.113	0.263	1.500	3.479
80	5.11	0.43	0.125	0.232	1.500	2.777
90	5.75	0.53	0.138	0.210	1.500	2.294

Gamlegrendås tunnel-Ettermiddagrush

BEREGNINGSÅR: 2040

TRAFIKKSAMMENSETNING:

DPD	DL<10	DL10-20	DL>20
12.	5.	4.	3.

VEGSEGMENTER:

DEL TRAF. LENGDE PROFIL

1	1007.	1.98	4.43
---	-------	------	------

HASTIGHET PM10-PROD(G/S) NOX-PROD(G/S)

10	0.015	1.042
20	0.018	0.890
30	0.022	0.866
40	0.022	0.606
50	0.028	0.529
60	0.035	0.398
70	0.045	0.380
80	0.057	0.367
90	0.071	0.348

VENTILASJON OG MUNNINGSKONSENTRASJONER:

PM10 ER GITT I mg/m³ , NO_x ER GITT I mg/m³

TUNNELAREAL: 66.5 M**2

NØDV. VENTILASJON FRA STØV ER TOTALT STØV!

TRAFIKK- PUMPE- NØDVEN. MUNNINGSKONSENTRASJONER

HAST.	VIRKN.	VENT.H.	PM10 (P)	NOX (P)	PM10 (N)	NOX (N)
10	0.63	0.56	0.370	25.008	0.415	28.000
20	1.25	0.48	0.214	10.681	0.561	28.000
30	1.88	0.46	0.175	6.925	0.707	28.000
40	2.51	0.33	0.132	3.637	1.014	28.000
50	3.13	0.28	0.132	2.537	1.460	28.000
60	3.76	0.35	0.139	1.590	1.500	17.130
70	4.39	0.45	0.156	1.303	1.500	12.568
80	5.01	0.57	0.172	1.102	1.500	9.625
90	5.64	0.71	0.189	0.929	1.500	7.387

Svartås tunnel -Ettermiddagrush

BEREGNINGSÅR: 2040

TRAFIKKSAMMENSETNING:

DPD	DL<10	DL10-20	DL>20
12.	5.	4.	3.

VEGSEGMENTER:

DEL TRAF. LENGDE PROFIL

1	1049.	1.41	2.39
---	-------	------	------

HASTIGHET PM10-PROD (G/S) NOX-PROD (G/S)

10	0.011	0.687
20	0.013	0.570
30	0.016	0.530
40	0.016	0.355
50	0.021	0.298
60	0.026	0.221
70	0.034	0.210
80	0.043	0.205
90	0.053	0.196

VENTILASJON OG MUNNINGSKONSENTRASJONER:

PM10 ER GITT I mg/m³ , NO_x ER GITT I mg/m³

TUNNELAREAL: 66.5 M**2

NØDV. VENTILASJON FRA STØV ER TOTALT STØV!

HAST.	VIRKN.	VENT.H.	PM10 (P)	NOX (P)	PM10 (N)	NOX (N)
10	0.64	0.37	0.270	16.150	0.468	28.000
20	1.28	0.31	0.156	6.705	0.652	28.000
30	1.92	0.28	0.127	4.158	0.858	28.000
40	2.56	0.19	0.096	2.085	1.289	28.000
50	3.20	0.21	0.097	1.403	1.500	21.810
60	3.84	0.26	0.102	0.864	1.500	12.771
70	4.47	0.34	0.113	0.707	1.500	9.346
80	5.11	0.43	0.125	0.601	1.500	7.201
90	5.75	0.53	0.138	0.513	1.500	5.591

Vedlegg C

Spredningsberegninger for tunneler

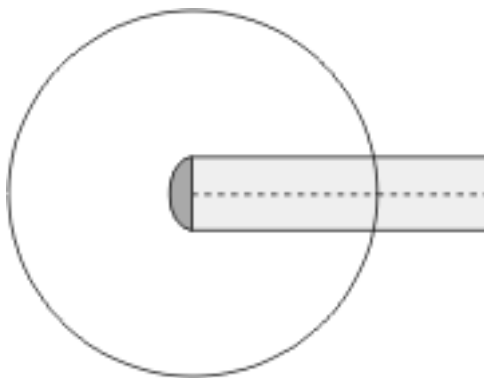
Generelt om spredning av luftforurensning fra tunnelmunninger

For å ventilere tunneler med trafikk i begge retninger, må det installeres vifter som trekker "frisk" luft inn i tunnelen fra den ene munningen. Dette gjøres for å fortynde avgassproduksjonen fra bilene til et akseptabelt nivå i selve tunnelen, og dernest for å transportere luftforurensningene ut av tunnelen gjennom den andre munningen.

Noen tunneler, ofte med stor trafikkbelastning, har separate tunnellop for begge kjøretretninger. I dette tilfellet vil all trafikken "rive med" tunnelluften i samme retning. Det vil da ikke være nødvendig med vifter i tunnelen for å fortynde og drive forurensningene ut gjennom den ene munningen, bortsett fra i situasjoner der kjøretøyhastigheten blir svært lav. Disse selvventilerte tunneler vil derfor ha montert vifter til bruk i forbindelse med uhellsituasjoner eller dårlig trafikkavvikling.

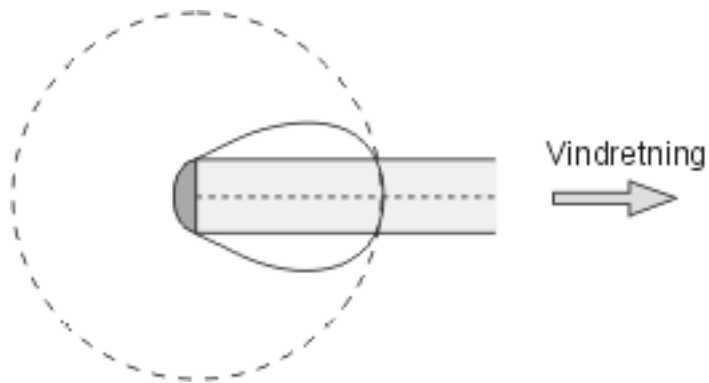
Spredning av luftforurensninger fra en tunnelmunning vil altså normalt være drevet av vifter i tunnelen ved toveiskjørte tunneler, men av en pumpevirkning fra trafikken selv i enveiskjørte tunneler. I det siste tilfellet vil pumpevirkningen normalt være større enn nødvendig ventilasjonshastighet for å overholde grenseverdier for luftkvalitet i tunneler. Vi snakker i begge tilfeller om ventilasjonshastighet i tunneler.

Dersom ventilasjonshastigheten i tunnelmunningen er lavere enn ca 3 m/s, vil maksimalutbredelsen av gitte konsentrasjoner fra tunnelmunningen kunne beskrives som en sirkel med sentrum i tunnelmunningen som vist i Figur A.



Figur A. Figuren beskriver maksimalutbredelse av en gitt konsentrasjon for alle vindretninger.

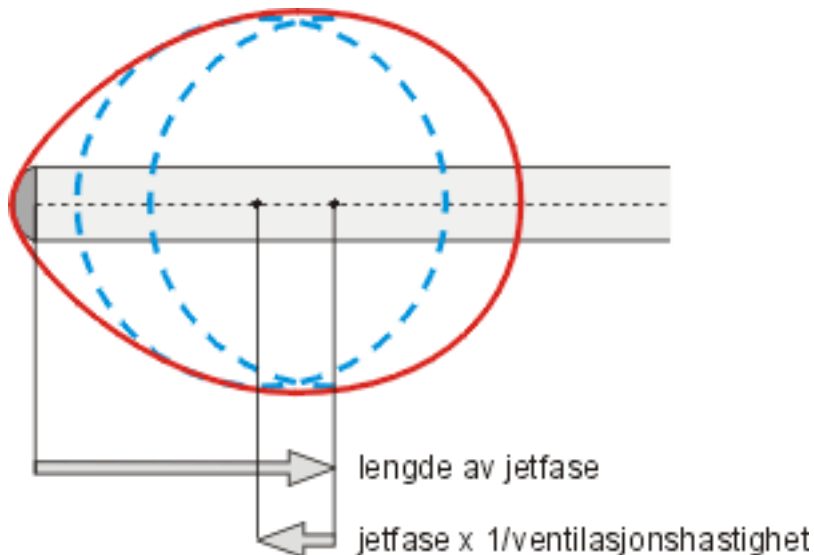
Figur A viser maksimalutbredelsen for alle vindretninger utenfor tunnelmunningen. Siden det bare blåser fra en vindretning om gangen, har vi vist i Figur B hvordan utbredelsen av luftforurensninger vil være i et gitt tilfelle med vind fra vest.



Figur B: Figuren beskriver maksimalutbredelse av en gitt konsentrasjon for en gitt vindretning (fra vest).

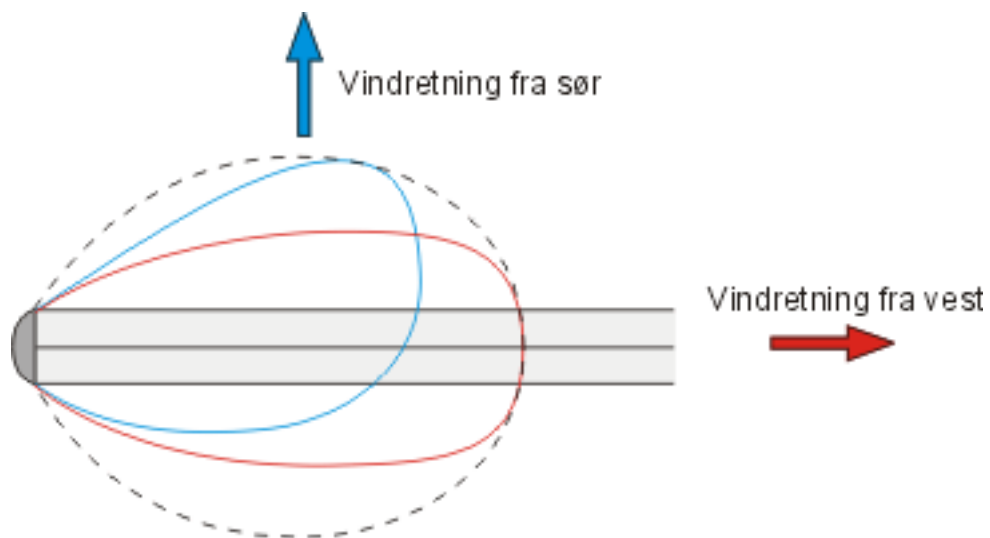
Dersom ventilasjonshastigheten i tunnelmunningen er ca 3 m/s eller høyere, vil det dannes en jetfase. Lengden av jetfasen viser hvor langt ut fra tunnelmunningen forurensningene blir sendt før jetfasen går i oppløsning og den vind-drevne spredningen overtar.

Figur C viser en generell beskrivelse av maksimalutbredelse av luftforurensninger fra en tunnelmunning med jetfase.



Figur C: Figuren beskriver maksimalutbredelse av en gitt konsentrasjon for alle vindretninger. Dersom ventilasjonshastigheten er 4 m/s vil redusert jetfase med motvind være lik en fjerdedel av jetfasen med medvind.

Figur C viser maksimalutbredelse for alle vindretninger utenfor tunnelmunningen. Siden det bare blåser fra en vindretning om gangen, har vi vist i Figur D hvordan utbredelsen av luftforurensningen vil være i gitte tilfeller med vind fra vest og sør.



Figur D: Figuren beskriver maksimalutbredelse av en gitt konsentrasjon for to gitte vindretninger, fra vest og fra sør.

Program TUNALL NO₂ Gamlegrendås tunnel mot Kongsberg

Vindhastighet : 1.0 m/s
 Vindhastighet korrigert : 0.4 m/s
 Tunnel ventilasjon Jet hastighet : 5.0 m/s
 Areal av tunnelåpningen : 66.5 m²
 Timemiddelkons. i tunnelåpningen : 62.0 ug/m³
 Største høyde (gulv-tak) i tunnel: 4.8 m
 Timemiddel bakgrunnskonsentrasjon: 40.0 ug/m³
 Avstand til slutten av Jet-fasen : 77.3 m

Avstand som funksjon av gitte timemiddelkonsentrasjoner (inkl. bakgrunn) av NO₂

Konsentrasjon (ug/m ³)	Avstand (m)
200.0	-1.0
150.0	-1.0
100.0	4.8

Program TUNALL NO₂ Svartås tunnel mot Kongsberg

Vindhastighet : 1.0 m/s
 Vindhastighet korrigert : 0.4 m/s
 Tunnel ventilasjon Jet hastighet : 5.1 m/s
 Areal av tunnelåpningen : 66.5 m²
 Timemiddelkons. i tunnelåpningen : 70.0 ug/m³
 Største høyde (gulv-tak) i tunnel: 4.8 m
 Timemiddel bakgrunnskonsentrasjon: 40.0 ug/m³
 Avstand til slutten av Jet-fasen : 78.1 m

Avstand som funksjon av gitte timemiddelkonsentrasjoner (inkl. bakgrunn) av NO₂

Konsentrasjon (ug/m ³)	Avstand (m)
200.0	-1.0
150.0	-1.0
100.0	19.6

Program TUNALL NO₂ Gamlegrendås tunnel fra Kongsberg

Vindhastighet : 1.0 m/s
 Vindhastighet korrigert : 0.4 m/s
 Tunnel ventilasjon Jet hastighet : 5.0 m/s
 Areal av tunnelåpningen : 66.5 m²
 Timemiddelkons. i tunnelåpningen : 331.0 ug/m³
 Største høyde (gulv-tak) i tunnel: 4.8 m
 Timemiddel bakgrunnskonsentrasjon: 15.0 ug/m³
 Avstand til slutten av Jet-fasen : 77.3 m

Avstand som funksjon av gitte timemiddelkonsentrasjoner (inkl. bakgrunn) av NO₂

Konsentrasjon (ug/m ³)	Avstand (m)
200.0	55.4
150.0	77.7
100.0	103.8

Program TUNALL NO₂ - Svartås tunnel fra Kongsberg

Vindhastighet : 1.0 m/s
 Vindhastighet korrigert : 0.4 m/s
 Tunnel ventilasjon Jet hastighet : 5.1 m/s
 Areal av tunnelåpningen : 66.5 m²
 Timemiddelkons. i tunnelåpningen : 180.0 ug/m³
 Største høyde (gulv-tak) i tunnel: 4.8 m
 Timemiddel bakgrunnskonsentrasjon: 15.0 ug/m³
 Avstand til slutten av Jet-fasen : 78.1 m

Avstand som funksjon av gitte timemiddelkonsentrasjoner (inkl. bakgrunn) av NO₂

Konsentrasjon (ug/m ³)	Avstand (m)
200.0	-1.0
150.0	32.3
100.0	69.4

Program TUNALL PM₁₀ Gamlegrendås tunnel mot Kongsberg

Vindhastighet : 1.0 m/s
 Vindhastighet korrigert : 0.4 m/s
 Tunnel ventilasjon Jet hastighet : 5.0 m/s
 Areal av tunnelåpningen : 66.5 m²
 Timemiddelkons. i tunnelåpningen : 125.0 ug/m³
 Største høyde (gulv-tak) i tunnel: 4.8 m
 Døgnmiddel bakgrunnskonsentrasjon: 25.0 ug/m³
 Avstand til slutten av Jet-fasen : 77.3 m

Avstand som funksjon av gitte døgnmiddelkonsentrasjoner (inkl. bakgrunn) av PM10 for 12 vindretninger

Konsentrasjon (ug/m ³)	Vindretning (grader)											
	030	060	090	120	150	180	210	240	270	300	330	360
70.0	18.	18.	18.	18.	18.	18.	18.	18.	18.	18.	18.	18.
50.0	67.	67.	67.	67.	67.	67.	67.	67.	67.	67.	67.	67.
35.0	76.	76.	76.	76.	76.	76.	76.	76.	76.	77.	78.	78.
Forekomst (antall timer) med svak vind oppgitt for hver 30 graders retning	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	5.0	7.0	7.0

Program TUNALL PM₁₀ Svartås tunnel mot Kongsberg

Vindhastighet : 1.0 m/s
 Vindhastighet korrigert : 0.4 m/s
 Tunnel ventilasjon Jet hastighet : 5.1 m/s
 Areal av tunnelåpningen : 66.5 m²
 Timemiddelkons. i tunnelåpningen : 185.0 ug/m³
 Største høyde (gulv-tak) i tunnel: 4.8 m
 Døgnmiddel bakgrunnskonsentrasjon: 25.0 ug/m³
 Avstand til slutten av Jet-fasen : 78.1 m

Avstand som funksjon av gitte døgnmiddelkonsentrasjoner (inkl. bakgrunn) av PM10 for 12 vindretninger

Konsentrasjon (ug/m ³)	Vindretning (grader)											
	030	060	090	120	150	180	210	240	270	300	330	360
70.0	53.	53.	53.	53.	53.	53.	53.	53.	53.	53.	53.	53.
50.0	73.	73.	73.	73.	73.	73.	73.	73.	73.	74.	74.	74.
35.0	77.	77.	77.	77.	77.	77.	77.	77.	77.	79.	80.	80.
Forekomst (antall timer) med svak vind oppgitt for hver 30 graders retning	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	5.0	7.0	7.0

Program TUNALL PM₁₀ Gamlegrendås tunnel fra Kongsberg

Vindhastighet : 1.0 m/s
 Vindhastighet korrigerert : 0.4 m/s
 Tunnel ventilasjon Jet hastighet : 5.0 m/s
 Areal av tunnelåpningen : 66.5 m²
 Timemiddelkons. i tunnelåpningen : 125.0 ug/m³
 Største høyde (gulv-tak) i tunnel: 4.8 m
 Døgnmiddel bakgrunnskonsentrasjon: 10.0 ug/m³
 Avstand til slutten av Jet-fasen : 77.3 m

Avstand som funksjon av gitte døgnmiddelkonsentrasjoner (inkl. bakgrunn) av PM10 for 12 vindretninger

Konsentrasjon (ug/m ³)	Vindretning (grader)	030	060	090	120	150	180	210	240	270	300	330	360
70.0		9.	9.	9.	9.	9.	9.	9.	9.	9.	9.	9.	9.
50.0		29.	29.	29.	29.	29.	29.	29.	29.	29.	29.	29.	29.
35.0		67.	67.	67.	67.	67.	67.	67.	67.	67.	67.	67.	67.
Forekomst (antall timer) med svak vind oppgitt for hver 30 graders retning													
		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	5.0	7.0	7.0

Program TUNALL PM₁₀ Svartås tunnel fra Kongsberg

Vindhastighet : 1.0 m/s
 Vindhastighet korrigerert : 0.4 m/s
 Tunnel ventilasjon Jet hastighet : 5.1 m/s
 Areal av tunnelåpningen : 66.5 m²
 Timemiddelkons. i tunnelåpningen : 172.0 ug/m³
 Største høyde (gulv-tak) i tunnel: 4.8 m
 Døgnmiddel bakgrunnskonsentrasjon: 10.0 ug/m³
 Avstand til slutten av Jet-fasen : 78.1 m

Avstand som funksjon av gitte døgnmiddelkonsentrasjoner (inkl. bakgrunn) av PM10 for 12 vindretninger

Konsentrasjon (ug/m ³)	Vindretning (grader)	030	060	090	120	150	180	210	240	270	300	330	360
70.0		22.	22.	22.	22.	22.	22.	22.	22.	22.	22.	22.	22.
50.0		57.	57.	57.	57.	57.	57.	57.	57.	57.	57.	57.	57.
35.0		73.	73.	73.	73.	73.	73.	73.	73.	73.	73.	73.	73.
Forekomst (antall timer) med svak vind oppgitt for hver 30 graders retning													
Forekomst (antall timer) med svak vind oppgitt for hver 30 graders retning													
		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	5.0	7.0	7.0

RAPPORTTYPE OPPDRAGRAPPORT	RAPPORT NR. OR 9/2011	ISBN: 978-82-425-2373-0 (trykt) 978-82-425-2374-7 (elektronisk) ISSN: 0807-7207	
DATO 18.03.2011	ANSV. SIGN. 	ANT. SIDER 35	PRIS NOK 150,-
TITTEL Tunneler E134 Kongsberg Vurdering av luftforurensning fra tunnelmunninger.		PROSJEKTLEDER Ivar Haugsbakk	
		NILU PROSJEKT NR. O-111017	
FORFATTER(E) Ivar Haugsbakk		TILGJENGELIGHET * A	
		OPPDRAKSGIVERS REF. Gunnar Bratheim	
OPPDRAKSGIVER Multiconsult Postboks 265 Skøyen 0213 OSLO			
STIKKORD Tunnel	Forurensning	Spredningsberegninger	
REFERAT Spredningsberegninger for tunnelforbindelser langs E134, Kongsberg. Det er beregnet maksimale konsentrasjoner av PM ₁₀ og NO _x i tunnelene ved ugunstige trafikkforhold (rushtrafikk morgen/ettermiddag). Konsentrasjonsreduksjon som funksjon av avstand fra tunnelmunninger er vist i tabell, og konsentrasjonene er sammenlignet med Nasjonalt mål og grenseverdier for luftkvalitet.			
TITLE Tunnels along E134, Kongsberg. Evaluating air quality around openings of tunnels.			
ABSTRACT Dispersion calculations regarding the tunnel connections along E134, Kongsberg. Maximum concentrations and dispersion distances have been calculated.			

* Kategorier

A	Åpen – kan bestilles fra NILU
B	Begrenset distribusjon
C	Kan ikke utleveres

REFERANSE: O-111017
DATO: FEBRUAR 2011
ISBN: 978-82-425-2373-0 (trykt)
978-82-425-2374-7 (elektronisk)

NILU er en uavhengig stiftelse etablert i 1969. NILUs forskning har som formål å øke forståelsen for prosesser og effekter knyttet til klimaendringer, atmosfærens sammensetning, luftkvalitet og miljøgifter. På bakgrunn av forskningen leverer NILU integrerte tjenester og produkter innenfor analyse, overvåkning og rådgivning. NILU er opptatt av å opplyse og gi råd til samfunnet om klimaendringer og forurensning og konsekvensene av dette.