

Svardalstunnelen

Vurdering av luftforurensning fra tunnelmunning mot Ryen

Ivar Haugsbakk



Innhold

	Side
Innhold	1
Sammendrag	2
1 Innledning	5
2 Metoder og forutsetninger	5
3 Tunnel- og trafikkdata.....	6
4 Nye forskrifter og Nasjonalt mål for luftkvalitet	8
5 Utslipp	9
6 Resultater fra spredningsberegningene	10
7 Framtidig utvikling	13
8 Referanser	13
Vedlegg A Generelt om luftforurensning fra trafikk.....	15
Vedlegg B Spredningsberegninger for tunneler	20

Sammendrag

Norsk institutt for luftforskning (NILU) har på oppdrag fra Eiendoms- og byfornyelsesetaten i Oslo utført beregninger av luftforurensning for Svartdalstunnelens munning mot Ryenkrysset. Det er utført beregninger av produksjon av nitrogenoksider (NO_x) og svevestøv (PM₁₀) i tunnelen, samt spredning av forurensninger fra tunnelmunningen.

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 (PM₁₀) og nitrogendioksid (NO₂) og sammenlignet med nye forskrifter og Nasjonalt mål for luftkvalitet.

Nye forskrifter og Nasjonalt mål for luftkvalitet

Luftkvaliteten i et område vurderes ved å sammenligne målinger eller beregninger av konsentrasjoner av luftforurensning med grenseverdier satt ut fra virkning på helse og/eller vegetasjon. Begrepene grenseverdi, Nasjonalt mål er tallverdier for forurensningsgrad. Grenseverdier er juridisk bindende, mens Nasjonalt mål er en målsetning.

Tabell A viser grenseverdier og Nasjonalt mål for luftkvalitet for de aktuelle komponenter. I denne rapporten har vi sammenlignet målte konsentrasjoner med den nye forskriftens grenseverdier og Nasjonalt mål for luftkvalitet.

Tabell A: 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 ¹⁾ (18)	150 ¹⁾ (8)
	µg/m ³	År	40 ¹⁾	
PM ₁₀	µg/m ³	Døgn	50 ²⁾ (35)	50 ²⁾ (25)
	µg/m ³	Døgn	50 ¹⁾ (7)	50 ¹⁾ (7)
	µg/m ³	År	40 ²⁾	
	µg/m ³	År	20 ¹⁾	

1) Skal overholdes innen 1.1.2010

2) Skal overholdes innen 1.1.2005

- Grenseverdier er generelt skjerpet de siste tiårene. Gjelder både WHO, EU og Norge.
- Den nye forskriften, 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. Målene skal nås innen 1.1.2005 (NO₂: 1.1.2010).

I beregningene er det brukt samme metoder som er benyttet ved tilsvarende tunneler i andre byer. Beregningsmetodene er utviklet på grunnlag av teori og målinger.

Utslipp av svevestøv (PM₁₀) og nitrogenoksider (NO_x) er beregnet for tiden med størst trafikkbelastning, dvs. rushtid om for- og ettermiddagen med følgende inngangsdata:

1. Maksimal trafikkintensitet (antall og hastighet).
2. Tunneldata (lengde, tverrsnittsareal, stigning).
3. Tungtrafikkandel (5%).
4. Kaldstartandel (5%).

Forurensning ved tunnelmunningene

NO₂- og PM₁₀-konsentrasjoner i ventilasjonsluften ved munningene er beregnet for prosjekterte trafikkmengder og ulike hastigheter. Tabell B viser resultatet av beregningene for kjørehastighet 70 km/h, 60 km/h, 40 km/h og 20 km/h. Munningskonsentrasjonene er beregnet ut fra Vegdirektoratets grenseverdier for tunnelluft og derav nødvendig ventilasjonshastighet.

Tabell B: Maksimale munningskonsentrasjoner ved rushtidstrafikk.

ÅDT i Svartdalstunnelen (2002): 23 428

Mot Ekebergtunnelen/Lodalen: 12 076 høyeste timetraffikk 1 266

kjt/time (kl 16-17)

Mot Ryen: 11 352 – høyeste timetraffikk 1 217 (kl 08-09)

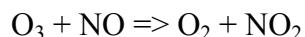
Tunnelmunning	Kjørehastighet (km/h)	Ventilasjons-hastighet* (m/s)	Munningskonsentrasjoner	
			PM ₁₀ (mg/m ³)	NO ₂ (µg/m ³)
Mot Ryenkrysset 1 (morgenrush)	70	4,74 (P)	82	248
	60	4,06 (P)	79	262
	40	2,71 (P)	99	412
	20	1,35 (P)	211	969

* P: pumpevirking fra trafikken (langt større enn nødvendig ventilasjonshastighet).

Ved normal trafikkavvikling er NO_x-utslippene avgjørende for ventilasjonshastighet i tunnelsystemet.

NO₂ og PM₁₀-konsentrasjonen reduseres med økende avstand fra tunnelmunningene. Det antas at NO₂-andelen av NO_x i utslippet fra tunnelmunningene er 7,5% ved oppoverbakke og 20% ved nedoverbakke. I beregningene er det tatt hensyn til et bakgrunnsnivå av luftforurensninger. Bakgrunnskonsentrasjonen representerer i dette tilfelle en maksimal konsentrasjon som skyldes andre kilder. I området der tunnelen er planlagt, er det regnet med et bakgrunnsnivå på 43 µg NO₂/m³ og 43 µg PM₁₀/m³.

Det er 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 103 µg NO₂/m³ som timemiddelverdi. Dette forutsetter imidlertid at det er nok O₃ til stede.

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

Tabell C viser utbredelsen av NO₂ og PM₁₀ fra Svartdalstunnelens munning mot Ryen i tiden på døgnet med rushtidstrafikk.

Tabell C: Nødvendig spredningsavstand fra tunnelmunninger for at konsentrasjoner av PM₁₀ og NO₂ er redusert til gitte nivåer.

Tunnelmunning	Trafikkens hastighet (km/h)	Ventilasjons-hastighet (m/s)	Lengde av jefase (m)	Nødvendig spredningsavstand for å komme ned på gitte luftkvalitetsnivå (m)				
				PM ₁₀ (50 µg/m ³)	NO ₂ (100 µg/m ³)	NO ₂ (150 µg/m ³)	NO ₂ (200 µg/m ³)	NO ₂ (250 µg/m ³)
Mot Ryen-krysset	70	4,74 (P)	66	67	92	61	37	17
	60	4,06 (P)	57	56	82	53	32	16
	40	2,71 (P)	23	28	71	41	28	19
	20	1,35 (P)	0	22	88	57	42	33

Konklusjon

Beregningene viser for svevestøv (PM₁₀) at døgnmidlele verdier over 50 µg/m³ vil kunne forekomme opptil 67 m fra tunnelmunningen ved en trafikkavvikling på 70 km/h. I dette tilfellet vil de høye konsentrasjonene av svevestøv være langs veibanen. Ved dårlig trafikkavvikling (ned mot 20 km/h) vil døgnmidlele svevestøvverdier over 50 µg/m³ kunne forekomme opptil 22 m fra tunnelmunningen. I dette tilfellet vil høye konsentrasjoner av svevestøv forekomme i en sirkel med 22 m radius omkring tunnelmunningen.

Også for NO₂ viser beregningene at ved normal trafikkavvikling i 40-70 km/h vil det ikke forekomme timemidlele verdier over 150 µg/m³ ved boliger. Ved dårlig trafikkavvikling (ned mot 20 km/h) vil timemidlele verdier av NO₂ på 150 µg/m³ kunne observeres i en sirkel med 57 m i radius omkring tunnelmunningen.

Den normale rushstidstrafikkavviklingen i Svartdalstunnelen vil ikke alene bidra med forurensningsbelastning over grenseverdier for luftkvalitet i boligområder omkring tunnelmunning mot Ryen. Ved dårlig trafikkavvikling omkring 20 km/h må det regnes med forhøyede konsentrasjoner på opptil 150 µg/m³ av NO₂ opp til 57 m fra tunnelmunningen og konsentrasjoner av PM₁₀ opptil 22 m fra tunnelmunningen. Vi regner med at slike situasjoner vil forekomme sjelden.

Svartdalstunnelen

Vurdering av luftforurensning fra tunnelmunning mot Ryen

1 Innledning

Norsk institutt for luftforskning (NILU) har på oppdrag fra Eiendoms- og byfornyelsesetaten i Oslo utført beregninger av luftforurensninger for Svartdalstunnelens munning mot Ryenkrysset. NILU har tidligere beskrevet luftforurensninger fra trafikken i planlagt Svartdalstunnel for en annen løsning enn denne (Torp og Tønnesen, 1995), og det er også tidligere utført beregninger for Svartdalstunnelens munning (Haugsbakk, 1996b).

Det er utført beregninger av forurensningskonsentrasjoner i områdene nær tunnelmunningen mot Ryenkrysset. Beregningene er utført for trafikksituasjoner med maksimaltrafikk (rushtid). Det er fra Ryenkrysset separate tunnellop til og fra Ekebergtunnelen med på- og avkjøringsramper ved ny rundkjøring i Konows gt.

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). Utslippet av nitrogenoksider (NO_x) fra biltrafikk består normalt av 90% nitrogenmonoksid (NO) og ca. 10% nitrogendioksid (NO_2) på horisontal vei (7,5% i oppoverbakke og 20% i nedoverbakke). NO_2 i bileksosen gir vanligvis de høyeste forurensningskonsentrasjoner i forhold til anbefalte retningslinjer for timeverdier i uteluft og grenseverdier for luftkvalitet i tunneler. 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 Bergen (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 er det beregnet nødvendig ventilasjonshastighet for å overholde grenseverdier i tunnelen.
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. 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 tilnærmevis alle bensindrevne biler har katalysator innen år 2010. For tunge dieserbiler ble strengere avgasskrav innført i 1994, mens krav til dieseldrevne personbiler og lette dieseldrevne varebiler ble innført i 1990. Først noen år etter innføringen vil dette ha en merkbar innvirkning på det totale NO_x-utslippet fra dieserbiler.

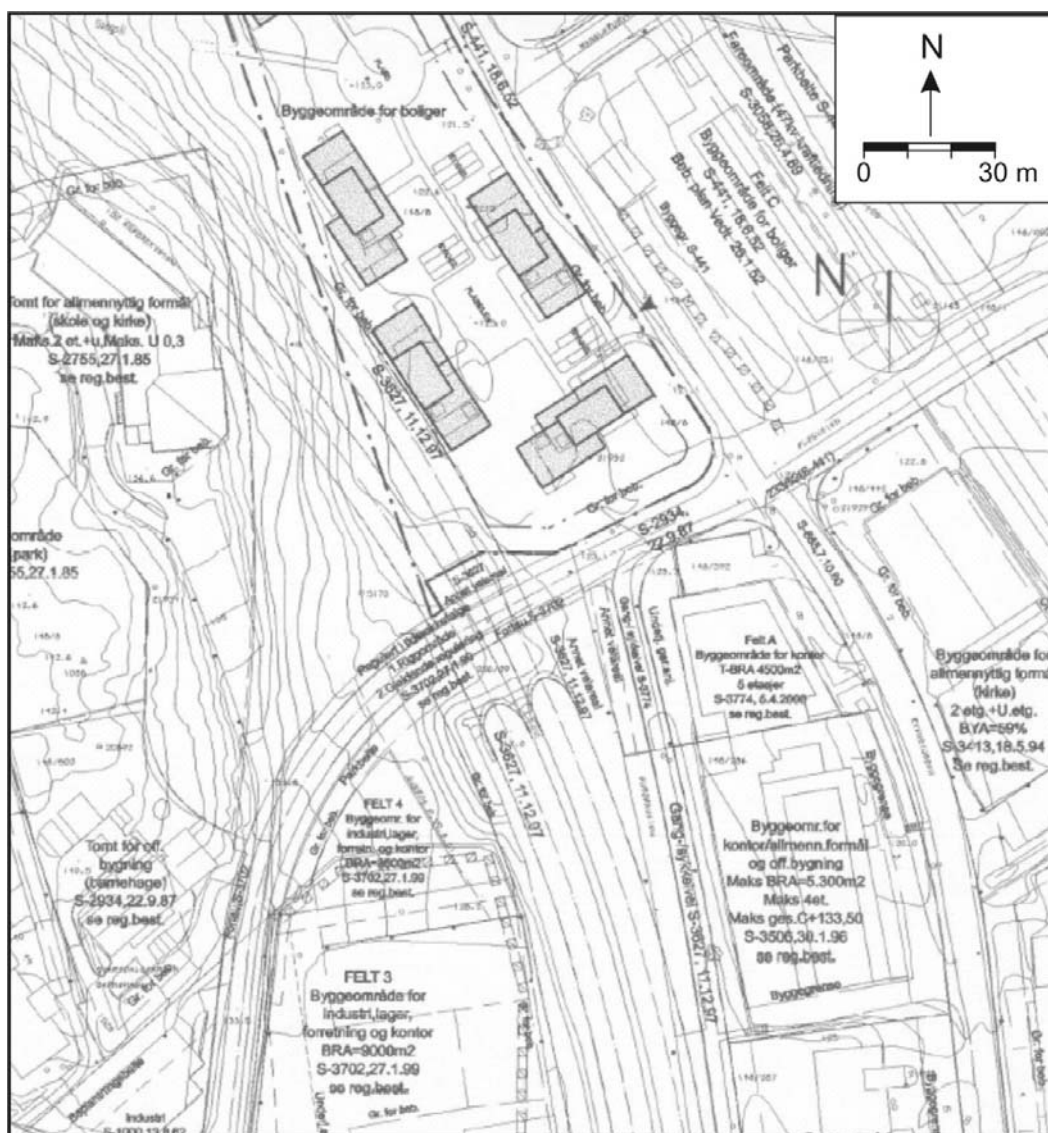
3 Tunnel- og trafikkdata

Svardalstunnelen er vist i Figur 1. Nødvendige tegninger og tallmateriale angående veigeometri er levert av oppdragsgiver, mens trafikk tall og trafikk-sammensetning er gitt av Statens vegvesen. Trafikk tall for år 2002 er benyttet. Beregningene er utført med hensyn på morgenrush/ettermiddagsrush for år 2005. Største trafikkbelastning i retning fra Ryenkrysset opptrer ved ettermiddagsrush, og mot Ryenkrysset som morgenrush i år 2005.

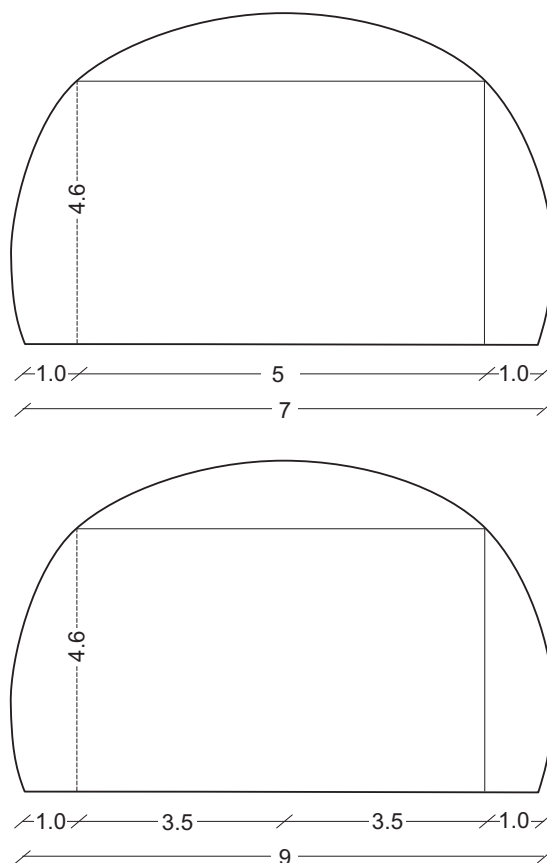
Tungtrafikkandelen er av Grøner AS tidligere anslått til 5%, og vektfordelingen av denne er av NILU anslått til 25% under 10 tonn, 25% mellom 10 og 20 tonn og 50% over 20 tonn totalvekt.

Med separate løp for de to kjøreretningene vil pumpevirkningen fra trafikken i tunnelens hovedløp ved normal trafikkavvikling med god margin være tilstrekkelig til nødvendig ventilering av tunnellopene. Dette blir ikke tilfelle ved kødannelser, da vifteanlegg er nødvendig for tilstrekkelig ventilasjon i tunnelene. For trafikk fra Ekeberg tunnelen/Konows gt. mot Ryenkrysset vil det bli tatt inn friskluft fra rampe ved Konows gt.

Tunnelmunningene mot Ryen har tunnelprofil T9, og tunnelmunninger inn og ut av Ekeberg tunnelen har tunnelprofil T7. Dette gir munningsarealer på 50,54 m² (T9) og 37,1 m² (T7).



Figur 1: Tunneltrasé, Svartdalstunnelen.



Figur 2: Tunnelprofiler Svartdalstunnelen. T7 (øverst) og T9 (nederst).

4 Nye forskrifter og Nasjonalt mål for luftkvalitet

Luftkvaliteten i et område vurderes ved å sammenligne målinger eller beregninger av konsentrasjoner av luftforurensning med grenseverdier satt ut fra 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.

Tabell 1 viser grenseverdier og Nasjonalt mål for luftkvalitet for de aktuelle komponenter. I denne rapporten har vi sammenlignet målte konsentrasjoner med den nye forskriftens grenseverdier og 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 ¹⁾ (18)	150 ¹⁾ (8)
	µg/m ³	År	40 ¹⁾	
PM ₁₀	µg/m ³	Døgn	50 ²⁾ (35)	50 ²⁾ (25)
	µg/m ³	Døgn	50 ¹⁾ (7)	50 ¹⁾ (7)
	µg/m ³	År	40 ²⁾	
	µg/m ³	År	20 ¹⁾	

3) Skal overholdes innen 1.1.2010

4) Skal overholdes innen 1.1.2005

- Grenseverdier er generelt skjerpet de siste tiårene. Gjelder både WHO, EU og Norge.
- Den nye forskriften, 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. Målene skal nås innen 1.1.2005 (NO₂: 1.1.2010).

5 Utslipp

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

1. Trafikktall (antall og hastighet).
2. Tunneldata (lengde, tverrsnittsareal, stigning).
3. Tungtrafikkandel (5%).
4. Kaldstartandel (5%).
5. Piggdekkandel (20%)

Resultatet av utslippsberegningene er vist i Tabell 2. Tabellen viser også pumpevirkningens luftstrømhastighet som er mer enn tilstrekkelig for å overholde Vegdirektoratets grenseverdier for tunnelluft.

Tabell 2: Utslipp (g/s) av PM₁₀ og NO_x i tunnelene, og nødvendig ventilasjonshastighet i tunnelen.

Tunnelmunning	Kjørehastighet (km/h)	Ventilasjons-hastighet* (m/s)	Utslipp	
			PM ₁₀ (g/s)	NO _x (g/s)
Mot Ryenkrysset 1 (morgenrush)	70	4,74 (P)	0,020	0,792
	60	4,06 (P)	0,016	0,717
	40	2,71 (P)	0,014	0,751
	20	1,35 (P)	0,014	0,883

* Pumpevirkningen fra trafikken (P)

En lavere dieselandel vil gi mindre utslipp av NO_x. Tabellen viser at det er liten forskjell i PM₁₀- og NO_x-utslipp med ulik hastighet i området 20-70 km/h. Vanligvis vil det være NO_x-utslippene som avgjør nødvendige luftstrøms-hastigheter for å overholde grenseverdier for luftkvalitet i tunneler.

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

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 kjørehastighet 70 km/h, men beregninger er også utført for 60 km/h, 40 km/h og 20 km/h for å vise variasjonen i munningskonsentrasjonen.

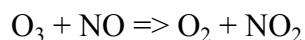
Det er beregnet ved hvilken avstand fra tunnelmunningene konsentrasjoner av PM₁₀ og NO₂ er redusert til et nivå lik den nye forskriften og Nasjonalt mål for uteluft. Det er regnet at NO₂-andelen av NO_x i utslippet fra tunnelmunningene er 7,5% i tunnel oppover, 20% i tunnel nedover. I beregningene er 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 43 µg NO₂/m³ og 43 µg PM₁₀/m³ som timemiddel.

*Tabell 3: Maksimale munningskonsentrasjoner ved rushtidstrafikk. ÅDT i Svartdalstunnelen (2002): 23 428
Mot Ekebergstunnelen/Lodalen: 12 076 høyeste timetrafikk 1 266
kjt/time (kl 16-17)
Mot Ryen: 11 352 – høyeste timetrafikk 1 217 (kl 08-09)*

Tunnelmunning	Kjøre- hastighet (km/h)	Ventilasjons- hastighet* (m/s)	Munningskonsentrasjoner	
			PM ₁₀ (µg/m ³)	NO ₂ (µg/m ³)
Mot Ryenkrysset 1 (morgenrush)	70	4,74 (P)	82	248
	60	4,06 (P)	79	262
	40	2,71 (P)	99	412
	20	1,35 (P)	211	969

* P: pumpevirking fra trafikken (langt større enn nødvendig ventilasjonshastighet).

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 103 µg NO₂/m³. 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 forurensningskilder fordi disse bidragene inngår i bakgrunnsnivået. Resultatet av beregninger av konsentrasjoner **utenfor** tunnelmunningene er vist i Tabell 4.

Maksimalkonsentrasjonene forekommer ved stor trafikk (i rushtiden) og ved dårlige spredningsforhold.

Når tungtrafikkandelen er mindre enn 5% fører det til et mindre område med NO₂-belastning over akseptabelt forurensningsnivå.

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.

Figur 3 og Figur 4 viser området ved Ryen som blir belastet ved rushtidstrafikk om morgenen da trafikkmengden i retning fra tunnelmunningen mot Ryenkrysset er størst. Skole, barnehage og boliger i nærheten av tunnelmunning mot Ryenkrysset får ikke høy forurensningsbelastning ved normal trafikkavvikling. Tabell 4 viser at forurensningsbelastningen er større ved trafikkavvikling i 70 km/h enn i 20 km/h. Dette kommer av at jetfasen da blir lengre. Ved lav trafikkhastighet forsvinner den trafikkproduserte jetfasen. Viftekapasiteten må være 4,6 m/s (232 m³/s) ved stillestående kø. Vi regner med at køsituasjoner inne i tunnelen forekommer svært sjelden.

Beregningene viser for svevestøv (PM₁₀) at døgnmidle verdier over 50 µg/m³ vil kunne forekomme opptil 67 m fra tunnelmunningen ved en trafikkavvikling på 70 km/h. I dette tilfellet vil de høye konsentrasjonene av svevestøv være langs veibanen. Ved dårlig trafikkavvikling ned mot 20 km/h vil døgnmidle svevestøvverdier over 50 µg/m³ kunne forekomme opptil 22 m fra tunnelmunningen. I dette tilfellet vil høye konsentrasjoner av svevestøv forekomme i en sirkel med 22 m radius omkring tunnelmunningen.

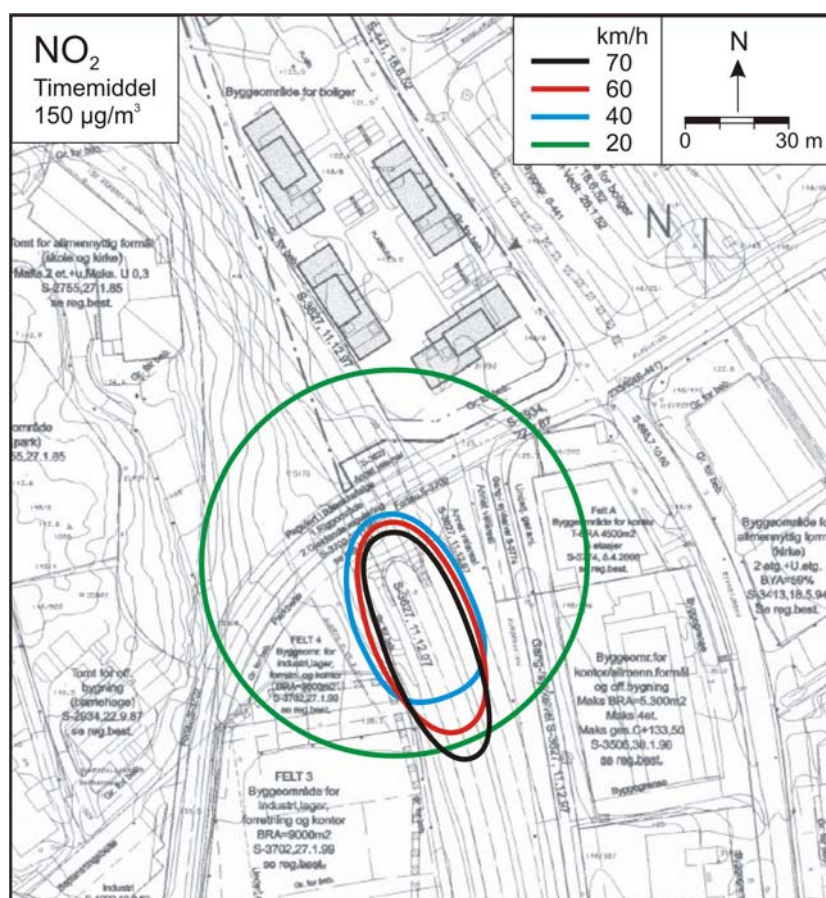
Også for NO₂ viser beregningene at ved normal trafikkavvikling i 40-70 km/h vil det ikke forekomme timemidle verdier over 150 µg/m³ ved boliger. Ved dårlig trafikkavvikling ned mot 20 km/h vil timemidle verdier av NO₂ på 150 µg/m³ kunne forekomme i en sirkel med 57 m i radius omkring tunnelmunning.

Den normale rushstidstrafikkavviklingen i Svartdalstunnelen vil ikke alene bidra med forurensningsbelastning over grenseverdier for luftkvalitet i boligområder omkring tunnelmunning mot Ryen. Ved dårlig trafikkavvikling omkring 20 km/h må det regnes med forhøyede konsentrasjoner opptil 150 µg/m³ av NO₂ opp til 57 m fra tunnelmunning og konsentrasjoner av PM₁₀ opptil 22 m fra tunnelmunning. Vi regner med at slike situasjoner vil forekomme sjelden.

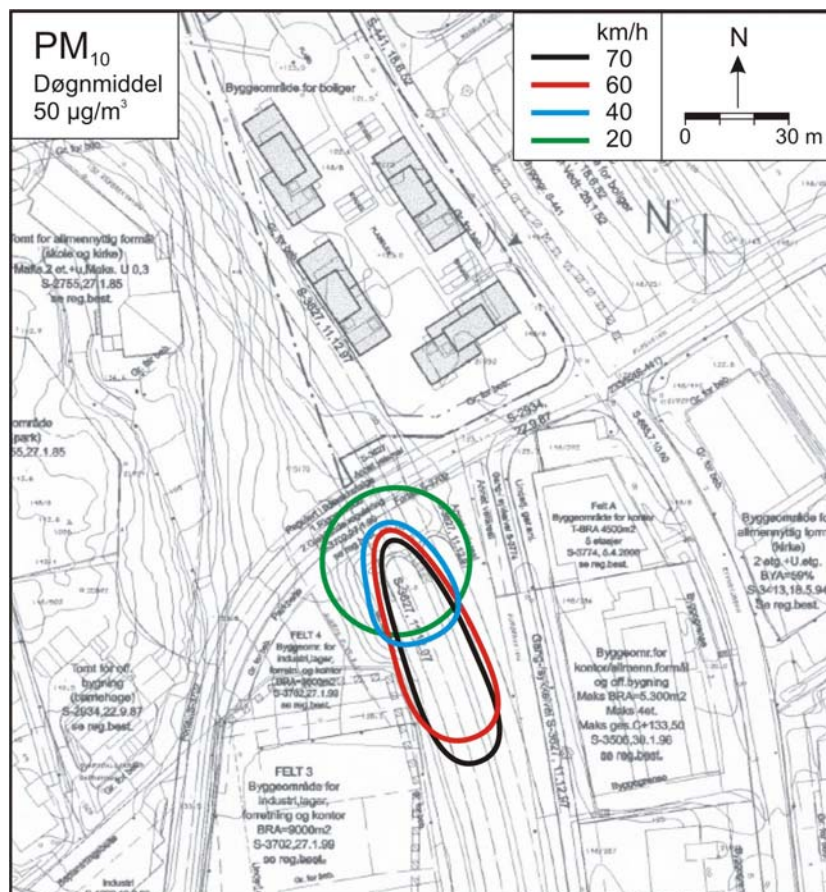
Nedgående tunnel som munner ut i Ekeberg tunnelen vil gi et vesentlig bidrag til denne og øke kravet til ventilering av Ekeberg tunnelen.

Tabell 4: Nødvendig spredningsavstand fra tunnelmunninger for at konsentrasjoner av PM_{10} og NO_2 er redusert til gitte nivåer.

Tunnelmunning	Trafikkens hastighet (km/h)	Ventilasjons-hastighet (m/s)	Lengde av jettefase (m)	Nødvendig spredningsavstand for å komme ned på gitte 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 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	NO_2 (250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Mot Ryen-krysset	70	4,74 (P)	66	67	92	61	37	17
	60	4,06 (P)	57	56	82	53	32	16
	40	2,71 (P)	23	28	71	41	28	19
	20	1,3,5 (P)	0	22	88	57	42	33



Figur 3: Tunnelmunning mot Ryenkrysset. Områder med NO_2 -konsentrasjon over $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ i rushtid om formiddagen. Tunnelen blir ventilert av trafikkens pumpevirkning ved trafikkavvikling på 20-70 km/h. Bakgrunnsnivået er inkludert. For forståelse av figuren, se Vedlegg B.



Figur 4: Tunnelmunning mot Ryenkrysset. Områder med PM_{10} -konsentrasjon over $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ i rushtid om formiddagen. Tunnelen blir ventilert av trafikens pumpevirkning ved trafikkavvikling på 20-70 km/h. Bakgrunnsnivå er inkludert. For forståelse av figuren, se Vedlegg B.

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.

8 Referanser

Gotaas, Y. (1981) Spredning av sporstoff fra vegtunneler i Bergen. Lillestrøm (NILU OR 37/81).

- Haugsbakk, I. (1996a) Målinger av nitrogenoksider og svevestøv ved Ryenkrysset. Våren 1996. Kjeller (NILU OR 50/96).
- Haugsbakk, I. (1996b) Svartdalstunnelen. Vurdering av luftforurensning. Kjeller (NILU OR 72/96).
- 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 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).
- Torp, C. og Tønnesen, D. (1995) Luftforurensning fra trafikken i Svartdalstunnelen. Kjeller (NILU OR 9/95).
- Torp, C., Tønnesen, D. og Larssen, S. (1994) Programdokumentasjon VLUFT versjon 3.1. Kjeller (NILU TR 3/94).
- Tønnesen, D. (1988) Vurdering av luftforurensning ved Lysakerlokket. Lillestrøm (NILU OR 14/88).
- Vegdirektoratet (1988) Vegdirektoratets anbefalinger for tunnelluft. Oslo.

Vedlegg A

Generelt om luftforurensning fra trafikk

Oversikt

De ulike stoffer i bileksos kombinert med det store drivstoff-forbruket i samferdssektoren skaper luftforurensningsproblemer både lokalt langs veier og i byer, regionalt over større områder (f.eks. Sør-Norge, Nord-Europa) og globalt. Tabell 1 gir en oversikt over problemene på ulike skalaer, og hvilke stoffer de er knyttet til. Høye konsentrasjoner av CO, NO₂ og partikler gir negativ helsepåvirkning lokalt i gater og i tettsteder generelt. Menneskers opplevelse av plage i forbindelse med forurensning fra veitrafikk skyldes i tillegg til helseeffektene et samvirke mellom lukt og nedsmussing fra sot og veistøv.

Utslippet av NO_x og flyktige hydrokarboner (VOC) bidrar til forsuring og dannelse av troposfærisk ozon, som kan gi et bidrag til forekomsten av vegetasjonsskader. Utslippet av karbondioksid (CO₂) og andre "drivhusgasser" som metan (CH₄) og dinitrogenoksid ("lystgass", N₂O) bidrar til den oppvarming av atmosfæren som mange mener vil fortsette i tiårene som kommer. N₂O kan også delta i nedbryting av ozonlaget i stratosfæren.

Tabell A1: Viktige luftforurensningsproblemer som biltrafikken bidrar til

Skala	Problem	Stoffer i bileksos
LOKAL	Helseeffekt	CO, NO ₂ , Veistøv (PM ₁₀ *), eksospartikler (PM _{2.5} *), tungmetaller (f.eks. bly), sot, VOC, tyngre organiske stoffer (f.eks. PAH)
	Nedsmussing	Veistøv, sot
	Lukt	Organiske stoffer (fra dieseleksos)
REGIONAL 1 000 km	Forsuring av vann og jordsmonn	S- og N-forbindelser
	Troposfærisk ozon	NO _x , VOC
GLOBAL	Drivhuseffekt	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, CO
	Ozon-nedbryting	N ₂ O

* Partikler med diameter mindre enn 2.5 eller 10 µm.

Biltrafikk og lokal luftforurensning

Generelt

De viktigste lokale luftforurensningsproblemene knyttet til biltrafikk er mulighetene for helseskade ved høye konsentrasjoner av NO₂ og partikler, samt nedsmussing og ubehag knyttet til veistøv. Biltrafikken er den dominerende kilden til stoffer som gir overskridelser av grenseverdier for luftkvalitet, lokalt i gater og i byer generelt. Dette er dokumentert bl.a. gjennom basisundersøkelser NILU har foretatt i Oslo, Bergen, Drammen og Sarpsborg/Fredrikstad.

Problematikken knyttet til veistøv bør nevnes spesielt. De største partiklene i støvfraksjonen gir nedsmussing og ubehag ("støvnedfall"). Partiklene med mindre diameter (svevestøv) kan gi helseskade. Det er vanlig å inndele (det potensielt helsefarlige) svevestøvet i to fraksjoner; partikler med diameter mindre enn 10 μm (PM_{10}) og 2,5 μm ($\text{PM}_{2,5}$). PM_{10} kan avsettes i bronkiene og de øvre luftveier, mens $\text{PM}_{2,5}$ kan transporteres helt ned i lungealveolene.

PM_{10} består i hovedsak av partikler fra veidekket, mens $\text{PM}_{2,5}$ domineres av eksospartiklene. De maksimale PM_{10} -konsentrasjonene måles i perioder med stor trafikk når veiene tørker opp mot slutten av piggdekkssesongen. Da vil det være mer veistøv enn eksospartikler i lufta.

SFT har kommet med forslag til anbefalte luftkvalitetskriterier for maksimale konsentrasjoner av CO , NO_2 , $\text{PM}_{2,5}$ og PM_{10} (SFT, 1992). Til luftkvalitetskriteriene er det knyttet en midlingstid. Det anbefales at forurensningskonsentrasjonen, målt som gjennomsnitt over den gitte midlingstiden, ikke skal overskride den gitte verdien. Helsevirkninger knyttet til overskridelse av de ulike luftkvalitetskriteriene er omtalt i SFTs rapport (SFT, 1992). Den vesentligste endringen med tanke på trafikkforurensning i forhold til det forrige settet med luftkvalitetskriterier, er at kriteriet for timemiddelkonsentrasjon av NO_2 er redusert fra 200 til 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Overskridelser av luftkvalitetskriterier for NO_2 og PM_{10} forekommer i dag relativt hyppig i byer og tettsteder. Hvilke luftkvalitetskriterier som overskrides har forandret seg de siste 10-15 årene. Tidligere forekom overskridelser av grenseverdiene for CO og bly relativt hyppig nær trafikkerte veier. CO og bly representerer ikke lenger lokale forurensningsproblemer, mens problemene knyttet til NO_2 og PM_{10} har økt i omfang. Overskridelsene av luftkvalitetskriterier for NO_2 og PM_{10} forekommer hyppigere langs veiene enn generelt i byområdene. Tabell A2 gir en oversikt over de luftkvalitetskriteriene som er aktuelle i forbindelse med forurensning fra trafikk, og i hvilke områder disse erfaringsmessig kan overskrides.

Tabell A2: Oversikt over hvilke luftkvalitetskriterier som i dag overskrides i sentrum i byer og tettsteder. Nær middels og sterkt trafikkerte veier kan samtlige luftkvalitetskriterier overskrides.

Områdetype	Luftkvalitetskriterier som kan overskrides		
	Stoff	Midlingstid	Grenseverdi
Bysentra, middels store og store byer	NO_2	Time	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	NO_2	Døgn	75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	PM_{10}	Døgn	70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Nær sterkt trafikkerte veier	I tillegg: NO_2	Halvår	75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	PM_{10}	Halvår	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Helseeffekter

I det etterfølgende vil vi kort omtale hvilke negative helseeffekter CO, NO₂, PM₁₀ og støvnedfall kan ha. For begrunnelse av fastsetting av nivåene på de ulike luftkvalitetskriteriene, henvises til SFTs rapport "Virkninger av luftforurensing på helse og miljø" (SFT, 1992). Følgende sitater er hentet fra denne rapporten:

Nitrogendioksid (NO₂) kan medføre helseeffekter i konsentrasjoner som kan forekomme i forurenset uteluft. Kunnskaper om virkninger av NO₂ foreligger bl.a. fra akutte forgiftningstilfeller som følge av ulykker i yrkeslivet. Disse har i verste fall hatt dødelig utgang. I forbindelse med forurenset uteluft vil de mulige helseskadene som følge av at befolkningen kontinuerlig eller periodevis gjennom lengre tid utsettes for NO₂-konsentrasjoner i luften opp til 2 000 µg/m³ først og fremst være av interesse. Opp mot dette konsentrasjonsnivået er sammenhengen mellom konsentrasjon og effekt uklar og grunnlagsmaterialet for å fastsette laveste observerbare skadeeffekt-nivå er begrenset.

Dyreforsøk har gitt verdifulle opplysninger om virkningsmekanismene. Således finner man ved kortvarig eksponering for NO₂-konsentrasjoner på 3 700 µg/m³ eller mer økt mottagelighet for infeksjoner og morfologiske forandringer. Etter lengre eksponering for 190 µg/m³ eller mer og eventuelt tidvis eksponering for toppkonsentrasjoner ti ganger høyere, finner man morfologiske forandringer og økt mottagelighet for infeksjoner. Ikke bare påvirkes lungenes forsvarsceller (makrofagene i lungeblærene), men også hvite blodlegemer som er en del av immunforsvaret (fra 470 µg/m³ og høyere).

Undersøkelser av effekten av NO₂ på mennesker i kontrollerte forsøk viser store variasjoner mellom forsøkspersoner. I lungefunksjonstester viser det seg at astmatikere er den mest følsomme gruppen. I sammenligninger mellom grupper av forsøkspersoner har man funnet signifikante effekter på lungefunksjon etter eksponering for 460 µg/m³ eller mer i 20 minutter lenger.

Epidemiologiske undersøkelser er blitt foretatt på befolkningsgrupper i forurensede områder, og i nyere studier har man også sammenlignet grupper eksponert for ulike NO₂-konsentrasjoner innendørs. De få epidemiologiske data som foreligger tyder på at NO₂ fra 110-150 µg/m³ kan føre til økt antall tilfeller av luftveissykdommer hos barn. Dessuten har man ved eksponering for 200 µg/m³ NO₂, sammen med andre forurensningskomponenter, funnet økt forekomst av lungesykdommer og nedsatt lungefunksjon hos barn og voksne.

Karbonmonoksid (CO): Karbonmonoksids helseskadelige virkninger skyldes at CO konkurrerer med O₂ om bindingsstedene på hemoglobinmolekylet. Derved reduseres den oksygenmengden som blodet kan transportere fra lungene til vevene i kroppen. Fordi hemoglobinet har mer enn 200 ganger større affinitet for CO enn for O₂, kan karbonmonoksid svekke oksygentransporten selv ved meget lave CO-konsentrasjoner. Foruten å senke den oksygenmengden som blodet kan transportere til vevene, hemmer CO ved sin tilstedeværelse også frigjøringen av oksygen fra hemoglobinet, og derved overføringen av O₂ til vevene.

CO i luften kan påvirke mennesker dersom gassen i tilstrekkelig grad fortrenger oksygen fra dets bindingssted på blodets hemoglobin. Opptaket av CO i kroppen

skjer i to trinn; *innåndingen*, som gir økt CO-konsentrasjon i lungeblærene (alveolene), og *diffusjonen* gjennom alveoleveggen over i blodet. Både lungeventilasjonen og diffusjonshastigheten påvirker CO-opptaket. Opptaket varierer med alder, fysisk aktivitet og lungenes tilstand. Også lufttrykket, og dermed høyden over havet, har betydning for opptakshastigheten. For vurderingen av enkeltindividenes CO-eksponering i løpet av dagen er CO-opptaket, og den prosentdelen av hemoglobinet bindingskapasitet for oksygen som er blokkert av CO (COHb%), en god biologisk dose-indikator. Under opphold i luft med en konstant konsentrasjon av CO, øker COHb% i blodet i løpet av en del timer til et metningspunkt svarende til eksponeringsnivået. Den tid det tar før likevekt oppstår mellom blod og uteluft avhenger av en rekke faktorer som er nevnt ovenfor. Bindingen av CO til hemoglobinet er reversibel og forhøyet COHb% oppnådd i forurenset luft vil reduseres under påfølgende opphold i mindre forurenset luft. Halveringstiden ved utluftning under hvile er ca. 4 1/2 time.

Siden opptak og utskillelse av CO foregår relativt langsomt og konsentrasjonen av CO i luften i bymiljø varierer relativt mye fra sted til sted og fra time til time, vil CO-påvirkningen på en typisk "omflakkende" byborger vanskelig kunne forutsies på basis av et like antall faste målesteder i byen. Norsk institutt for luftforskning (NILU) foretok i 1987 målinger både innendørs og utendørs langs en av Norges mest forurensete gater, Rådhusgaten i Oslo, samtidig som det ble målt COHb% hos personer som arbeidet langs gaten. CO-konsentrasjonen utendørs i prøveperioden lå rundt 10 mg/m³ (8 timers-middel). COHb% hos ikke-røykere økte lite i løpet av dagen. Ettermiddagsverdien overkred ikke 1,5%. Økningen i COHb% var noe større de dager det ble målt høye nivåer av forurensning, men forskjellene ble ikke bedømt å ha helsemessig betydning. Videre ble det i rapporten konkludert med at CO-innholdet i blodet ble påvirket langt sterkere av røyking enn av den trafikkforurensning som ble registrert.

Anbefalte luftkvalitetskriterier er gitt i tabell A3.

Tabell A3: Anbefalte luftkvalitetskriterier.

Komponent	Måleenhet	Virknings- område	Midlingstid					
			15 min	1 t	8 t	24 t	30 d	6 mnd
NO ₂	µg/m ³	Helse	500	100		75		50
CO	mg/m ³	Helse	80	25	10			

Vedlegg B

Spredningsberegninger for tunneler

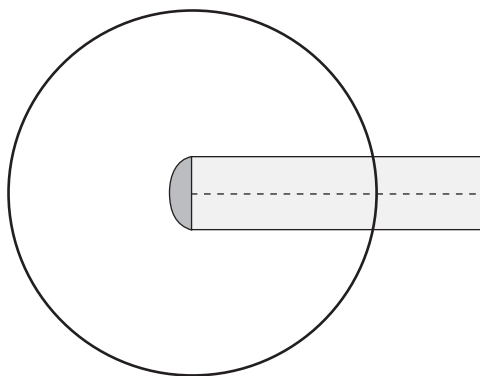
Generelt om spredning av luftforurensning fra tunnelmunninger

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 forynne 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 kjøreretninger. I dette tilfellet vil all trafikken "rive med" tunnelluften i samme retning. Det vil da ikke være nødvendig med vifter i tunnelen for å forynne 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.

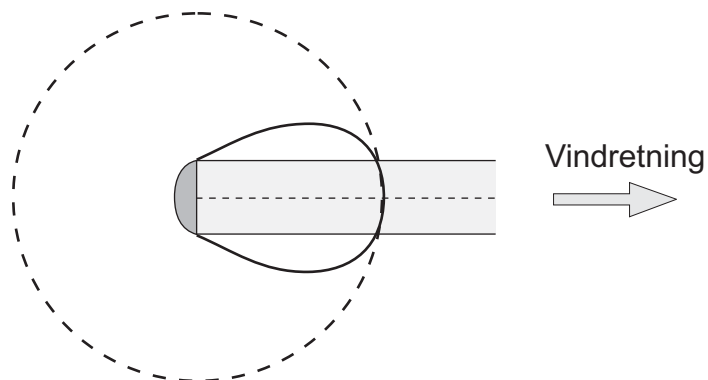
Spredning av luftforurensninger fra en tunnelmunning vil altså normalt være drevet av vifter i tunnelen ved toveiskjørtede tunneler, men av en pumpevirkning fra trafikken selv i enveiskjørtede tunneler. I det siste tilfellet vil pumpevirkningen normalt være større enn nødvendig ventilasjonshastighet 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.

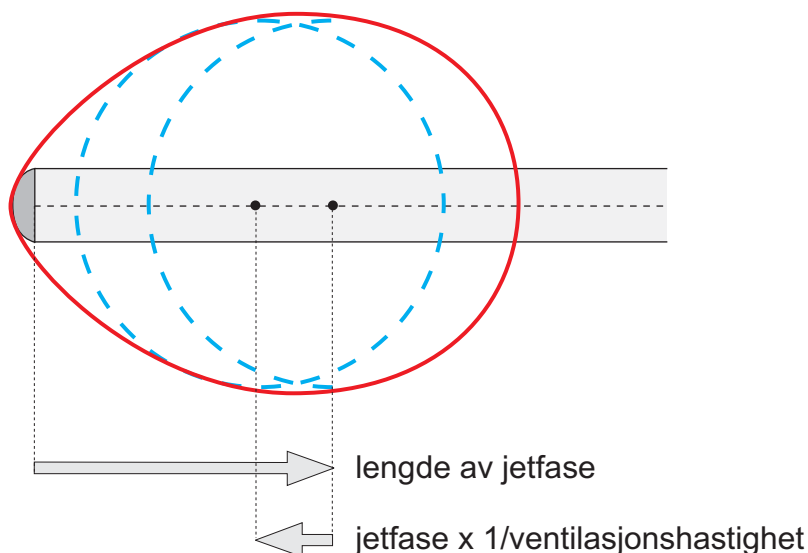
Figur A viser maksimalutbredelsen for alle vindretninger utenfor tunnelmunningen. Siden det bare blåser fra en vindretning om gangen, har vi vist i Figur B hvordan utbredelsen av luftforurensninger vil være i et gitt tilfelle med vind fra vest.



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

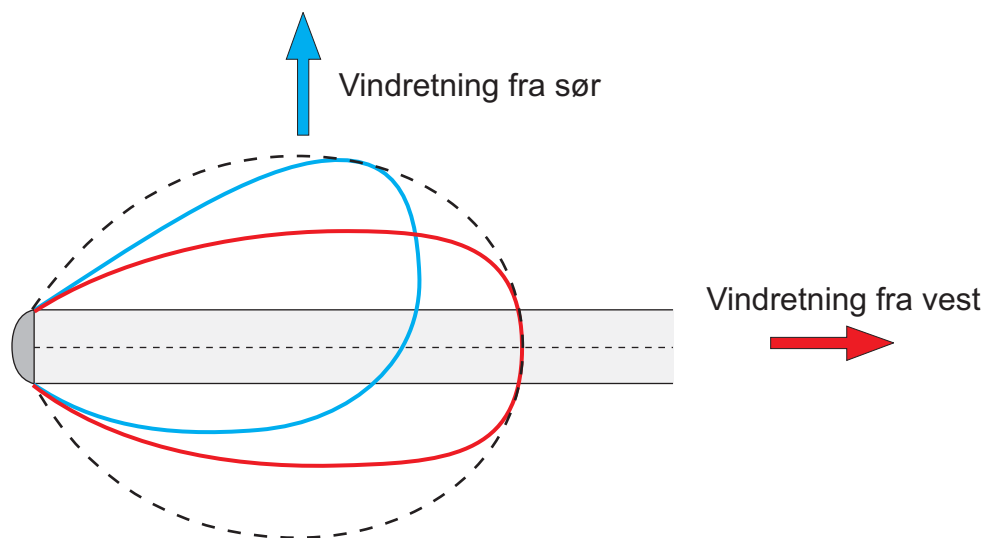
Dersom ventilasjonshastigheten i tunnelmunningen er ca 3 m/s eller høyere, vil det dannes en jetfase. Lengden av jetfasen viser hvor langt ut fra tunnelmunningen forurensningene blir sendt før jetfasen går i oppløsning og den vind-drevne spredningen overtar.

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.



Norsk institutt for luftforskning (NILU)

Postboks 100, N-2027 Kjeller

RAPPORTTYPE OPPDRAGSRAPPORT	RAPPORT NR. OR 19/2003	ISBN 82-425-1440-2 ISSN 0807-7207	
DATO	ANSV. SIGN.	ANT. SIDER 23	PRIS NOK 150,-
TITTEL Svartdalstunnelen Vurdering av luftforurensning fra tunnelmunning mot Ryen		PROSJEKTLEDER Ivar Haugsbakk	
		NILU PROSJEKT NR. O-103066	
FORFATTER(E) Ivar Haugsbakk		TILGJENGELIGHET * A	
		OPPDRAGSGIVERS REF. Tormod Slevikmoen	
OPPDRAGSGIVER Eiendoms- og byfornyelsesetaten Postboks 4753 Sofienberg 0506 OSLO			
STIKKORD Tunnel	Forurensning	Spredningsberegninger	
REFERAT Spredningsberegninger for Svartdalstunnelens munning mot Ryen. Det er beregnet maksimale konsentrasjoner av PM ₁₀ og NO _x i tunnelen, og det er beregnet minste tilstrekkelig ventilasjonshastighet i tunnelen for å overholde grenseverdier for luftkvalitet i tunnelen ved ugunstige trafikkforhold (rushtrafikk morgen/kveld). Konsentrasjonsreduksjon som funksjon av avstand fra utslippsområdet er vist, og konsentrasjonene er sammenlignet med grenseverdier for luftkvalitet.			
TITLE Air pollution from the Svartdal tunnel.			
ABSTRACT			

* Kategorier: A Åpen - kan bestilles fra NILU
 B Begrenset distribusjon
 C Kan ikke utleveres