

NILU : OR 35/97
REFERANSE : O-97066
DATO : JUNI 1997
ISBN : 82-425-0887-7

Tunneler
Knarvik-Isdalstø
Vurdering av luftforurensning

Ivar Haugsbakk og Knut Erik Grønскеi

Innhold

	Side
Sammendrag.....	2
1. Innledning.....	6
2. Metoder og forutsetninger	6
3. Tunnel- og trafikkdata	7
4. Anbefalte luftkvalitetskriterier og krav til tunnelluft	10
5. Utslipp	11
6. Resultater fra spredningsberegningene	12
7. Partikler i luften ved tunnelmunningene.....	22
8. Framtidig utvikling.....	23
9. Referanser.....	24
Vedlegg A Generelt om luftforurensning fra trafikk	25

Sammendrag

Norsk institutt for luftforskning (NILU) har på oppdrag fra Statens Vegvesen Hordaland utført beregninger av luftforurensing fra alternative tunnelløsninger fra planlagte tunnelforbindelser i området Knarvik-Isdalstø langs RV1, langs RV57 og langs RV565. Det er utført beregninger av produksjon av nitrogenoksider (NO_x) og karbonmonoksid (CO) i tunnelene, samt spredning av forurensninger fra tunnelmunningene. Svevestøv er ikke tatt med i beregningene, da det ikke finnes ferdig-utviklet programverktøy for å beregne produksjon og spredning av svevestøv fra tunneler.

Beregningene er utført for trafikksituasjoner i rushtiden, med god 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 karbonmonoksid (CO) og nitrogendioksid (NO_2) og sammenlignet med SFTs anbefalte luftkvalitetskriterier. Anbefalte luftkvalitetskriterier for uteluft og grenseverdier for tunneluft er vist i tabell A.

Tabell A: Anbefalte luftkvalitetskriterier utenfor tunnelene (uteluft) og grenseverdier i tunnelene (tunneluft).

Uteluft (SFT, 1992)	CO	1 time	25 mg/m ³
		8 timer	10 mg/m ³
	NO ₂	1 time	100 µg/m ³
		24 timer	75 µg/m ³
Tunneluft (Vegdirektoratet, 1988)	CO	Maksverdi*	250 mg/m ³
	NO _x	Maksverdi*	28 000 µg/m ³
	NO ₂	Maksverdi*	2 800 µg/m ³

* Øyeblikksverdi.

Ved fastsettelsen av de anbefalte luftkvalitetskriteriene for uteluft (SFT, 1992) er det anvendt en usikkerhetsfaktor på ca. 5. Det betyr at eksponeringsnivåene må opp i 5 ganger høyere enn de angitte verdiene før det med sikkerhet er konstatert skadelige effekter. De anbefalte kriteriene kan derfor ikke tolkes slik at nivåer over disse er definitivt helseskadelige, men det kan heller ikke utelukkes effekter hos spesielt sårbare individer selv ved nivåer under anbefalte luftkvalitetskriterier.

I beregningene er det brukt samme metoder som er benyttet ved tilsvarende tunneler i andre områder. Beregningsmetodene er utviklet på grunnlag av teori og målinger (Iversen, 1982; Larssen og Iversen, 1984; Larssen, 1987; Tønnesen, 1988).

Utslipp av karbonmonoksid (CO) og nitrogenoksider (NO_x) er beregnet for år 2015. I beregningene er størst trafikkbelastning benyttet, dvs. rushtid om for- og ettermiddagen med følgende inngangsdata:

1. Maksimal trafikkintensitet (10% av ÅDT).
2. Tunneldata.
3. Tungtrafikkandel (10%).
4. Kaldstartandel (5%).

Forurensning ved tunnelmunningene

CO- og NO₂-konsentrasjoner i ventilasjonsluften i munningene er beregnet for prognoserte maksimale trafikkmengder og hastigheter i området 60 km/h. Tabell B viser resultatet av beregningene.

Tabell B: Maksimale munningskonsentrasjoner ved rushtidstrafikk.

Tunnelmunning	Kjørehastighet (km/h)	Ventilasjons-hastighet* (m/s)	Munningskonsentrasjoner	
			CO (mg/m ³)	NO ₂ (µg/m ³)
Alternativ C, RV1 Formiddag og ettermiddag	60	2,00	1	61
Alternativ D, RV1 Formiddag	60	2,00	4	210
Ettermiddag	60	2,00	4	252
Alternativ E, RV1 og RV57 Formiddag	60	2,00	13	785
Ettermiddag	60	2,00	12	671
Alternativ 3, RV57 Formiddag	60	2,00	13	623
Ettermiddag	60	2,00	9	501
Alternativ 5, RV57 Formiddag	60	2,00	5	292
Ettermiddag	60	2,00	4	234
Alternativ II, RV565 Formiddag	60	2,00	4	235
Ettermiddag	60	2,00	5	318

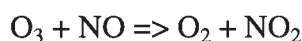
* Nødvendige ventilasjonshastigheter ligger i området 0,1-0,6 m/s, men av praktiske og spredningsmessige årsaker er hastigheten økt til 2,0 m/s.

Tabell B viser maksimale munningskonsentrasjoner ved en typisk ventilasjonshastighet på 2 m/s. I beregningene er det forutsatt at tunnelene ventileres i samme retning som hovedstrømmen av trafikken. Trafikken om formiddagen gir derfor maksimalkonsentrasjoner i tunnelmunningen nærmest Knarvik. I en toveiskjørt tunnel er det vanskelig å holde en stabil og lav ventilasjonshastighet i den ene retningen. Jo høyere ventilasjonshastighet jo bedre fortykning av luftforurens-

ninger. Ved normal trafikkavvikling er NO_x -utslippene avgjørende for ventilasjonshastighet i tunnelsystemet. I køsituasjoner vil CO-produksjonen ha blitt avgjørende.

CO- og NO_2 -konsentrasjonen reduseres med økende avstand fra tunnelmunningene. 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 1 mg CO/m^3 , $5 \text{ } \mu\text{g NO}_2/\text{m}^3$ og $30 \text{ } \mu\text{g PM}_{10}/\text{m}^3$.

Det er regnet med et bakgrunnsnivå av ozon (O_3) på $60 \text{ } \mu\text{g/m}^3$. Ozon reagerer med nitrogenmonoksid (NO) og danner oksygen (O_2) og nitrogendioksid (NO_2) etter ligningen:



Det er derfor lagt til et totalt bakgrunnsnivå på $65 \text{ } \mu\text{g NO}_2/\text{m}^3$ som timemiddelverdi (dette er inkludert i beregnede konsentrasjoner).

Tabell C viser spredningsavstander fra tunnelmunninger for å komme ned på gitte konsentrasjoner av CO og NO_2 .

Målinger viser at SFTs anbefalte luftkvalitetskriterier for NO_2 ($100 \text{ } \mu\text{g/m}^3$) overskrides ca. 5% av tiden om vinteren i Bergen sentrum. Maksimal-konsentrasjonene ved tunnelmunningene kan overskride kriteriene ut til en avstand 10-120 m fra munningene. Alternativ C, RV1 vil gi minst overskridelser. Alternativene 3, RV57 og E, RV1 og RV57 kan forårsake overskridelser ut til vel 100 m fra munningene. I soner hvor det forekommer overskridelser av anbefalte luftkvalitetskriterier kan luftkvaliteten i episoder være sammenlignbar med forholdene i sentrum av større norske byer, f.eks. i Bergen sentrum.

I soner nærmest tunnelmunningene må en også regne med overskridelser av anbefalte luftkvalitetskriterier for partikler (PM_{10} -konsentrasjonene) ut til en avstand 30-50 m fra munningene.

Overskridelser av kriterium for kartlegging ($200 \text{ } \mu\text{g NO}_2/\text{m}^3$) og for tiltak ($300 \text{ } \mu\text{g NO}_2/\text{m}^3$) forekommer hovedsakelig på veisystemet og i ubebodde områder ved munningene (se figur 3). Utstrekningen av de forurensede sonene er størst i alternativ E.

Tabell C: Nødvendig spredningsavstand fra tunnelmunninger for at konsentrasjoner av CO og NO₂ er redusert til gitte nivåer ved hastighet 60 km/h og ventilasjonshastighet 2,0 m/s.

Tunnelmunning	Nødvendig spredningsavstand for å komme ned på gitte konsentrasjoner. Enhet: m				
	CO (25 mg/m ³)	NO ₂ (150 µg/m ³)	NO ₂ * (200 µg/m ³)	NO ₂ (250 µg/m ³)	NO ₂ ** (300 µg/m ³)
Alternativ C					
Formiddag	0	-	-	-	-
Ettermiddag	0	-	-	-	-
Alternativ D					
Formiddag	0	18	9	2	-
Ettermiddag	0	23	11	5	-
Alternativ E					
Formiddag	0	66	45	33	26
Ettermiddag	0	57	39	29	21
Alternativ 3					
Formiddag	0	53	35	25	19
Ettermiddag	0	44	29	19	14
Alternativ 5					
Formiddag	0	26	14	7	3
Ettermiddag	0	20	9	3	-
Alternativ II					
Formiddag	0	20	9	3	-
Ettermiddag	0	29	16	9	5

* Kartleggingsgrense.

** Tiltaksgrense.

Tunneler

Knarvik-Isdalstø

Vurdering av luftforurensning

1. Innledning

Norsk institutt for luftforskning (NILU) har på oppdrag fra Statens vegvesen Hordaland utført beregninger av luftforurensninger fra alternative tunnelloesninger fra planlagte tunnelforbindelser i området Knarvik-Isdalstø. Det er utført beregninger av forurensningskonsentrasjoner i områdene nær tunnelmunningene.

Krav til ventilasjon og behov for utlufting og tilførsel av ventilasjonsluft er beregnet for rushtidstrafikk med flyt i begge retninger. Forurensningsbelastningen ved tunnelmunningene er beregnet for karbonmonoksid (CO) og nitrogendioksid (NO₂). Utslippet av nitrogenoksider (NO_x) fra biltrafikk består normalt av 90% nitrogenmonoksid (NO) og ca. 10% nitrogendioksid (NO₂) på horisontal vei. NO₂ i bileksosen gir vanligvis de høyeste forurensningskonsentrasjoner i forhold til anbefalte luftkvalitetskriterier for timeverdier i uteluft og grenseverdier for luftkvalitet i tunneler. Ved køsituasjoner vil imidlertid CO-konsentrasjonen være høyest i forhold til anbefalt luftkvalitetskriterium og avgjørende for krav til ventilasjonsluft. Det er ikke regnet på produksjon og spredning ved køsituasjoner, siden trafikkbelastningen er liten og køsituasjoner kun vil oppstå unntaksvis ved eventuell ulykke. Anbefalte luftkvalitetskriterium for uteluft og grenseverdier for tunnelluft er omtalt i kapittel 4.

2. Metoder og forutsetninger

I beregningene er det benyttet samme metoder som for tilsvarende tunneler (Larssen og Iversen, 1984; Larssen, 1987; Tønnesen, 1988). Beregningsmetoden er kontrollert ved målinger utført blant annet ved tunneler i Bergen (Gotaas, 1981). 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 CO og NO_x i tunnelene.
2. Ut fra data for utslipp av CO og NO_x er det beregnet nødvendig ventilasjonshastighet for å overholde grenseverdier for NO₂ og CO i tunneler.
3. Konsentrasjonene av CO og NO₂ utenfor munningene er beregnet ved hjelp av en modell som beskriver spredning av forurensninger fra tunneler (Iversen, 1982).
4. Beregnete konsentrasjoner av CO og NO₂ fra munningene er sammenlignet med anbefalte retningslinjer for luftkvalitet for CO og NO₂. Disse er gitt i kapittel 4.

I beregningene er det tatt hensyn til innføring av katalysator på nye bensindrevne bilmodeller fra 1989. Det er antatt en årlig utskifting av de bensindrevne personbilene på 4-6% som betyr at ca. 65% av bilene i år 2000 har katalysator. Det antas videre at tilnærmevis alle bensindrevne biler har katalysator innen år 2010. Katalysatorens betydning for NO₂-konsentrasjonen er mindre enn for CO-konsentrasjonen, da en betydelig del av NO_x-produksjonen kommer fra dieseldrevne kjøretøy. 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

Tunnelalternativene er vist i Figur 1. Nødvendige tegninger og tallmateriale angående veigeometri, trafikk tall og trafikksammensetning er levert av oppdragsgiver. Trafikkprognoser for år 2015 er benyttet. Beregningene er utført med hensyn på morgenrush/ettermiddagsrush.

Tungtrafikkandelen er anslått til 10% av trafikkmengden, og vektfordelingen av denne er av NILU anslått til ca. 25% under 10 tonn, ca. 25% mellom 10 og 20 tonn og ca. 50% over 20 tonn totalvekt.

Uten separate løp for de to kjøreretningene vil det ikke oppnås pumpevirkning fra trafikken.

Tunnelmunningene vil få tunnelprofil T8-T8,5, med unntak av miljøtunnelen som vil få fire kjørefelt i tunnelmunning og derfor 2xT8,5 (rektangulært) (se Figur 2).

For de alternative tunnellop vises til kommunedelplan for Lindås kommune, der planen omfatter tre ulike riksveger:

- RV1 gjennom Knarvik har fire alternativer (alt. A-D) i planen. Av disse vil det være behov for vurdering av forurensning ved tunnelmunninger kun i alt. C (miljøtunnel) og D (lang tunnel).
- RV57, Knarvik-Isdalstø har to alternativer (alt. 3 og 5). Begge alternativene har tunneler og utredes.
- RV565 Isdalstø-Alverflaten har to alternativer (alt. I og II). I alternativ I er det en kort tunnel som eventuelt kan vurderes og ses i sammenheng med utslipp fra nordre munning av alternativ 3 eller 5.
- I tillegg er alternativ E vurdert der RV1 og RV57 går i tunneler som møtes i et kryss inne i fjellet.

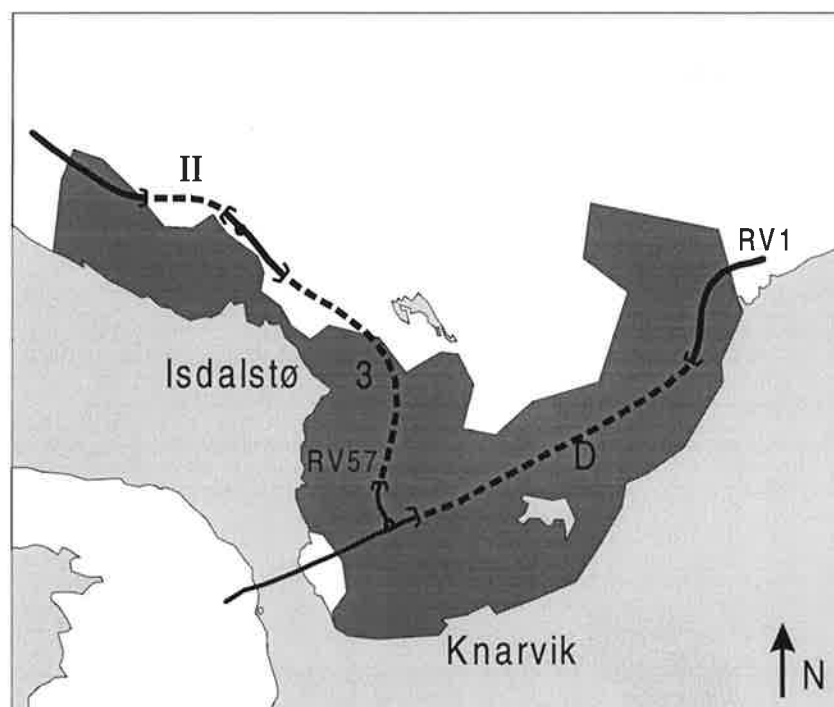
Tunnelalternativene er vist i figurene 1a-1d.

Figur 1a viser tunneltrasé for alternativ D, RV1. Tunneltrasé for alternativ 3, RV57 og tunneltrasé for alternativ II RV565.

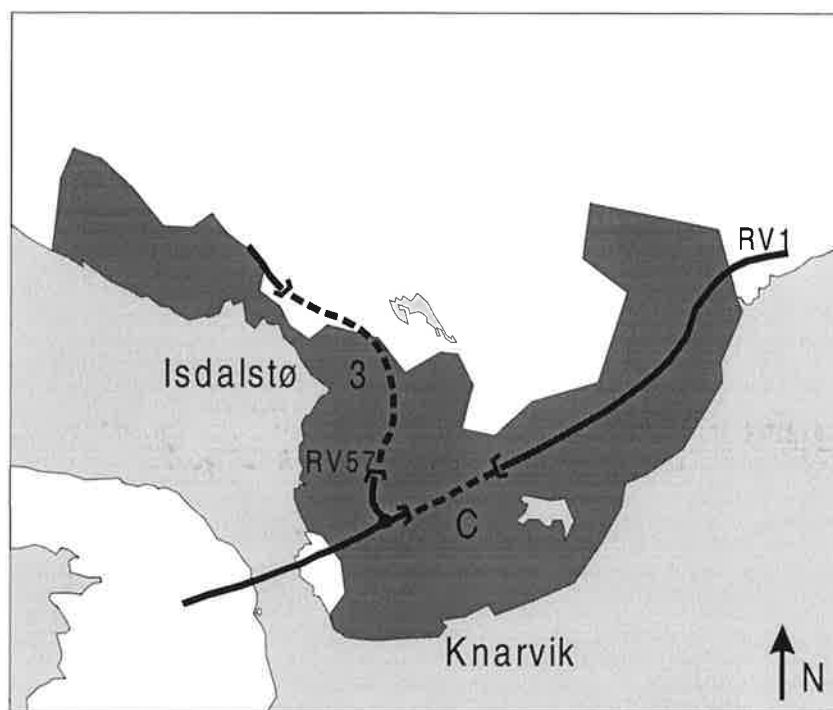
Figur 1b viser tunneltrasé for alternativ C, RV1 og tunneltrasé for alternativ 3, RV57.

Figur 1c viser tunneltrasé for alternativ E for RV1 og RV57.

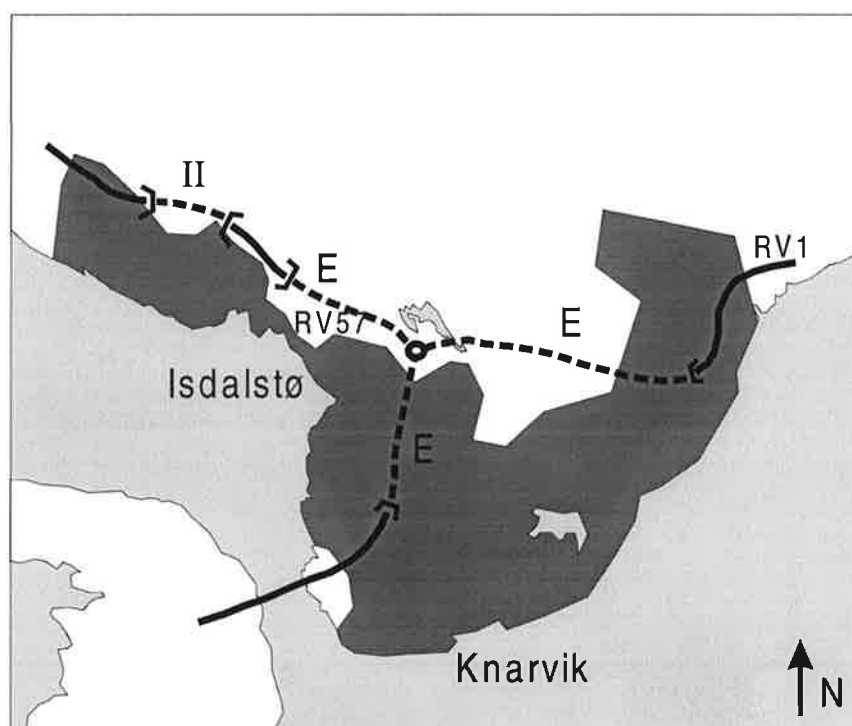
Figur 1d viser tunneltrasé for alternativ C, RV1 og tunneltrasé for alternativ 5, RV57.



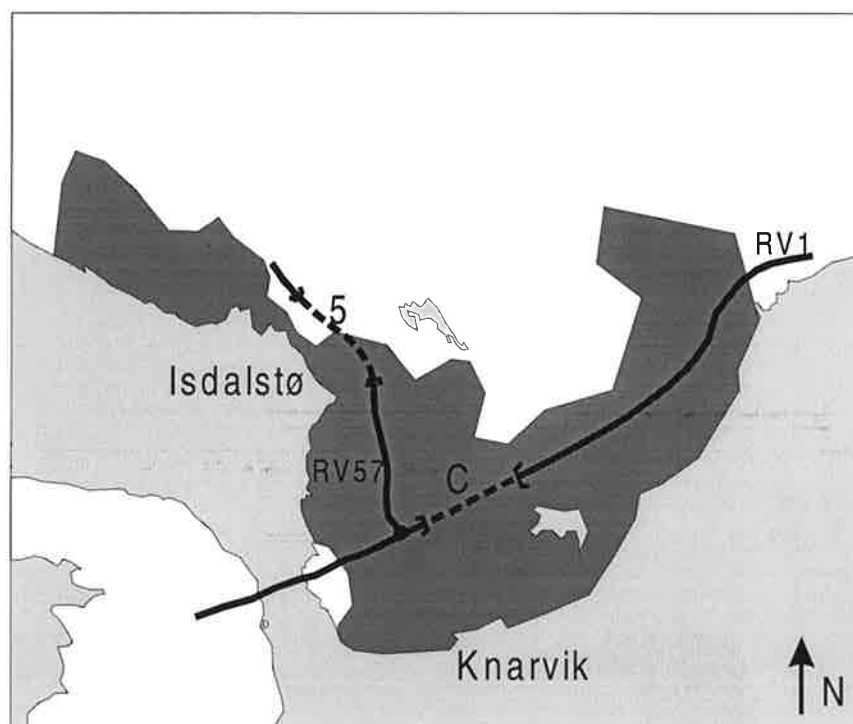
Figur 1a: Tunneltrasé for alternativ D, RV1, trasé for alternativ 3, RV57 og trasé for alternativ II, RV 565.



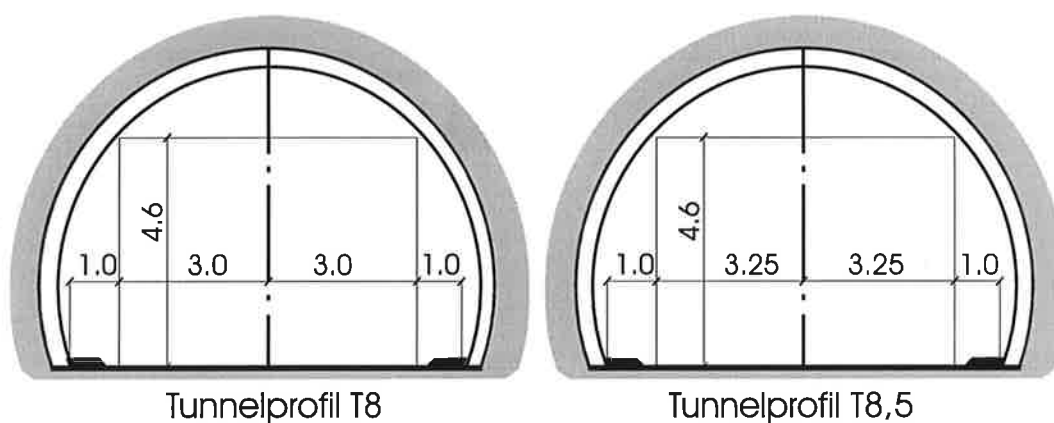
Figur 1b: Tunneltrasé for alternativ C, RV1 og trasé 3, RV57



Figur 1c: Tunneltrasé for alternativ E, RV1 og RV57.



Figur 1d: Tunneltrasé for alternativ C, RV1 og trasé for alternativ 5, RV57.



Figur 2: Tunnelprofil T8 og T8,5.

4. Anbefalte luftkvalitetskriterier og krav til tunnelluft

Statens forurensningstilsyn (1992) har utarbeidet anbefalte luftkvalitetskriterier. De er for CO og NO₂:

CO	Timemiddelverdi	: 25 mg/m ³
	8-timers verdi	: 10 mg/m ³
NO ₂	Timemiddelverdi	: 100 µg/m ³
	24-timers verdi	: 75 µg/m ³

Ved fastsettelsen av de anbefalte luftkvalitetskriteriene er det anvendt en usikkerhetsfaktor på ca. 5. Det betyr at eksponeringsnivåene må opp i 5 ganger høyere enn de angitte verdiene før det med sikkerhet er konstatert skadelige effekter. De anbefalte kriteriene kan derfor ikke tolkes slik at nivåer over disse er definitivt helseskadelige, men det kan heller ikke utelukkes effekter hos spesielt sårbare individer selv ved nivåer under anbefalte luftkvalitetskriterier.

Anbefalte luftkvalitetskriterier for NO₂ overskrides i sentrum i flere norske byer hovedsakelig på grunn av utslipp fra biltrafikken. I forskriftene til forurensningsloven er det fremmet forslag om tilleggskriterier for å ta hensyn til graden av overskridelser på timebasis:

Kartleggingsverdi: 200 µg NO₂/m³

Tiltaksverdi: 300 µg NO₂/m³

Det henvises til SFTs rapport når det gjelder bakgrunnen for retningslinjene og SFTs vurderinger (SFT, 1992). Se for øvrig vedlegg A: Generelt om luftforurensning fra trafikk.

Vegdirektoratet (1988) har vedtatt grenseverdier for CO og NO_x i veitunneler. Grenseverdiene er:

CO : 250 mg/m³ (200 ppm)

NO_x : 28,0 mg/m³ (15 ppm) tilsvarer ca. 2,8 mg/m³ (1,5 ppm) som NO₂.

Vegdirektoratets verdier gjelder ved den munningen der ventilasjonsluften tas ut. For tunneler med tverrslag og langslufting er grenseverdiene henholdsvis 100 ppm CO og 7,5 ppm NO_x ved halv tunnellengde.

5. Utslipp

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

1. Maksimal trafikkintensitet.
2. Tunneldata (lengde, tverrsnittsareal og stigning).
3. Tungtrafikkandel (10%).
4. Kaldstartandel (5%).

Beregningene er utført basert på at 60% av trafikken kjører i en retning og at 40% kjører i motsatt retning. Det er beregnet utslipp for ulike kjørehastigheter 40-80 km/h for å vise variasjonen i utslippene. Utslippene av CO og NO₂ avtar 25-30% når kjørehastighetene øker fra 40 til 60 km/h. ved høyere kjørehastigheter øker utslippet av nitrogen derfor svakt. CO utslippene reduseres. En lavere dieselandel vil gi mindre utslipp av NO_x, men større utslipp av CO.

Tabell 1: Trafikkintensitet og utslipp for de enkelte tunnelalternativer. Utslipp er beregnet på grunnlag av rushtidstrafikk om formiddagen og om ettermiddagen.

Alternativ	ÅDT biler/døgn	L m	Hastighet km/h	CO (g/s)	NO ₂ (g/s)
C	7300	480	60	0,25	0,12
D	3400	1400	60	0,37-0,41	0,20-0,24
E	9500	2670	60	1,24-1,14	0,74-0,63
3	9500	1180	60	0,93-0,82	0,55-0,44
5	8900	590	60	0,43-0,38	0,26-0,21
II	6800	700	60	0,36-0,43	0,21-0,28

Beregningene viser lave utslipp fra tunnelene og at Vegdirektoratets krav til luftkvalitet i tunnelene vil overholdes i samtlige alternativer med en ventilasjonshastighet over 0,6 m/s. Vanligvis er ventilasjonshastighetene over 1 m/s. De høyeste konsentrasjonene utenfor tunnelen finner en når det blåser svak og vedvarende vind fra tunnelmunningene mot et område.

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

6. Resultater fra spredningsberegningene

NO₂- og CO-konsentrasjoner i ventilasjonsluften i munningene er beregnet for prognoserte trafikkmengder og hastigheter i begge kjøreretninger. Tabell 2 viser resultatet av beregningene. Det er tatt utgangspunkt i gjennomsnittlig kjørehastighet 60 km/h, men beregninger er også utført for 40 og 80 km/h for å vise variasjon i munningskonsentrasjonene og nødvendig ventilasjonshastighet som følge av endret utslipp.

Tabell 2: Maksimale munningskonsentrasjoner ved rushtidstrafikk.

Tunnelmunning	Kjørehastighet (km/h)	Nøvendig ventilasjonshastighet* (m/s)	Munningskonsentrasjoner	
			CO (mg/m ³)	NO ₂ (µg/m ³)
Alternativ C Formiddag og ettermiddag	40	0,12	55	2 800
	60	0,09	58	2 800
	60	2,00	1	61
	80	0,09	47	2 800
Alternativ D Formiddag	40	0,16	59	2 800
	60	0,14	52	2 800
	60	2,00	4	210
	80	0,15	43	2 800
Ettermiddag	40	0,19	56	2 800
	60	0,17	49	2 800
	60	2,00	4	252
	80	0,17	41	2 800
Alternativ E Formiddag	40	0,59	54	2 800
	60	0,52	47	2 800
	60	2,00	13	785
	80	0,54	39	2 800
Ettermiddag	40	0,51	58	2 800
	60	0,45	51	2 800
	60	2,00	12	671
	80	0,47	42	2 800
Alternativ 3 Formiddag	40	0,44	54	2 800
	60	0,39	48	2 800
	60	2,00	13	623
	80	0,40	39	2 800
Ettermiddag	40	0,36	60	2 800
	60	0,31	52	2 800
	60	2,00	9	501
	80	0,32	43	2 800
Alternativ 5 Formiddag	40	0,20	54	2 800
	60	0,18	47	2 800
	60	2,00	5	292
	80	0,19	39	2 800
Ettermiddag	40	0,17	60	2 800
	60	0,14	52	2 800
	60	2,00	4	234
	80	0,15	43	2 800
Alternativ II Formiddag	40	0,16	60	2 800
	60	0,15	49	2 800
	60	2,00	4	235
	80	0,15	40	2 800
Ettermiddag	40	0,21	53	2 800
	60	0,20	43	2 800
	60	2,00	5	318
	80	0,20	36	2 800

Beregningene er utført med 10% tungrafikkandel. Dersom tungrafikkandelen skulle bli lavere vil en få noe høyere CO-konsentrasjoner ved samme trafikkmengde totalt.

Det er beregnet ved hvilken avstand fra tunnelmunningene konsentrasjoner av CO og NO₂ er redusert til et nivå lik de anbefalte luftkvalitetskriteriene for uteluft. Det er regnet at NO₂-andelen av NO_x i utslippet fra tunnelmunningene er 7,5% i tunnel oppover og 20% i tunnel nedover. I beregningene er det også tatt hensyn til bakgrunnsnivå av forurensninger. Bakgrunnskonsentrasjoner representerer i dette tilfellet en maksimal konsentrasjon som skyldes andre kilder utenfor tunnelmunningen. Vi har regnet med et bakgrunnsnivå på 1 mg CO/m³ og 5 µg NO₂/m³ som timemiddel.

Det er også regnet med et bakgrunnsnivå av ozon (O₃) på 60 µg/m³. Ozon reagerer med nitrogenmonoksid (NO) og danner oksygen (O₂) og nitrogendioksid (NO₂) etter ligningen:



Vi har derfor lagt til et totalt bakgrunnsnivå på 65 µg NO₂/m³ (dette er inkludert i beregnede konsentrasjoner som sammenlignes med anbefalt luftkvalitetskriterium på 100 µg/m³). Se for øvrig Tabell 3.

Tabell 3: Anbefalte verdier for bakgrunnsnivå av CO, NO₂-PM₁₀ og regionalt ozon, gitt som timemiddelverdier avhengig av områdetype og innbyggertall i tettstedet (Torp, Tønnesen og Larssen, 1994).

Innbyggertall	CO (mg/m ³)			NO ₂ (µg/m ³)-PM ₁₀ (µg/m ³)			O ₃ (µg/m ³) Alle områdetyper
	Tett bebyggelse (OTY 3)	Middels tett bebyggelse (OTY 2)	Spredt bebyggelse (OTY1)	Tett bebyggelse (OTY 3)	Middels tett bebyggelse (OTY 2)	Spredt bebyggelse (OTY1)	
<50 000	4	3	1	27-80	17-40	5-30	60
50-200 000	7	4	1	39-100	25-50	5-30	60
>200 000	11	7	1	68-120	43-60	5-30	60

Det er ellers ikke tatt hensyn til bidrag fra andre veier i nærheten eller andre forurensningskilder fordi disse bidragene inngår i bakgrunnsnivået.

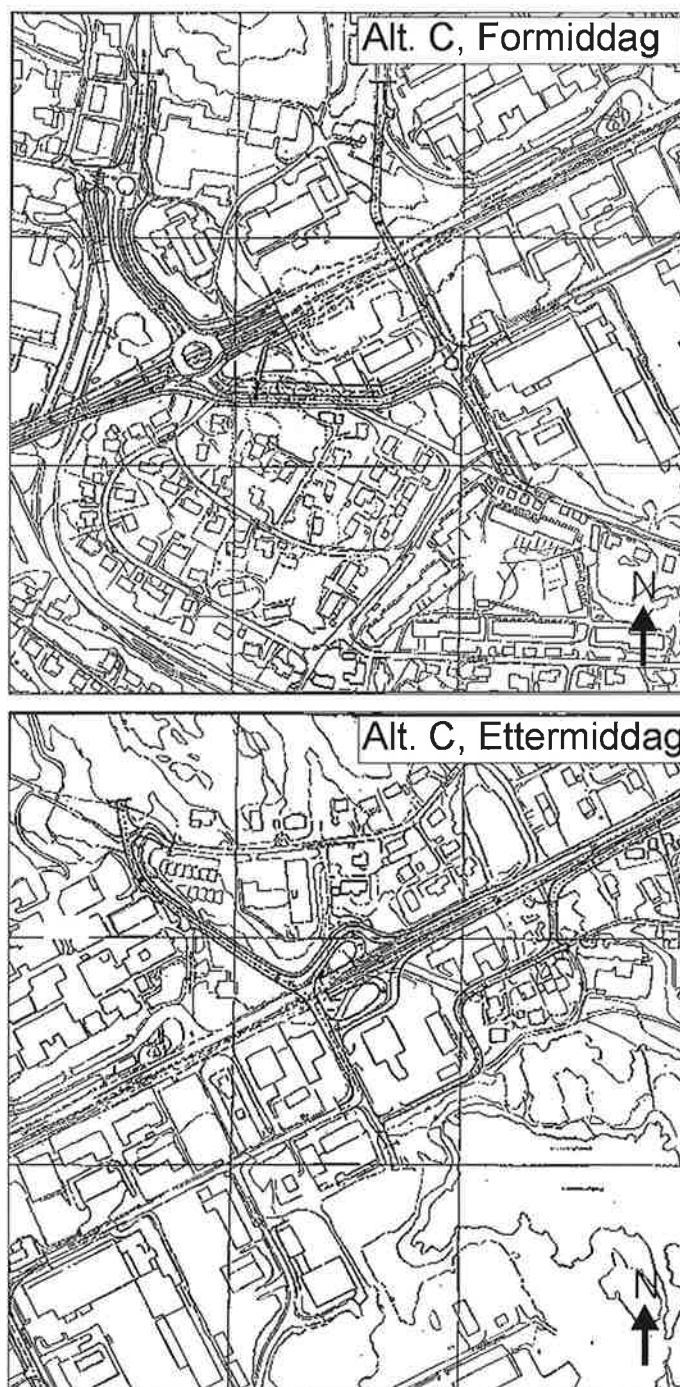
Resultatet av beregningene av konsentrasjoner **utenfor** tunnelmunningene er vist i Tabell 4. Utstrekningen av soner hvor det forekommer overskridelser av angitte konsentrasjoner er vist i figurene 3a-f.

Tabell 4: Nødvendig spredningsavstand fra tunnelmunninger for at konsentrasjoner av CO og NO₂ er redusert til gitte nivåer ved hastighet 60 km/h og ventilasjonshastighet 2,0 m/s.

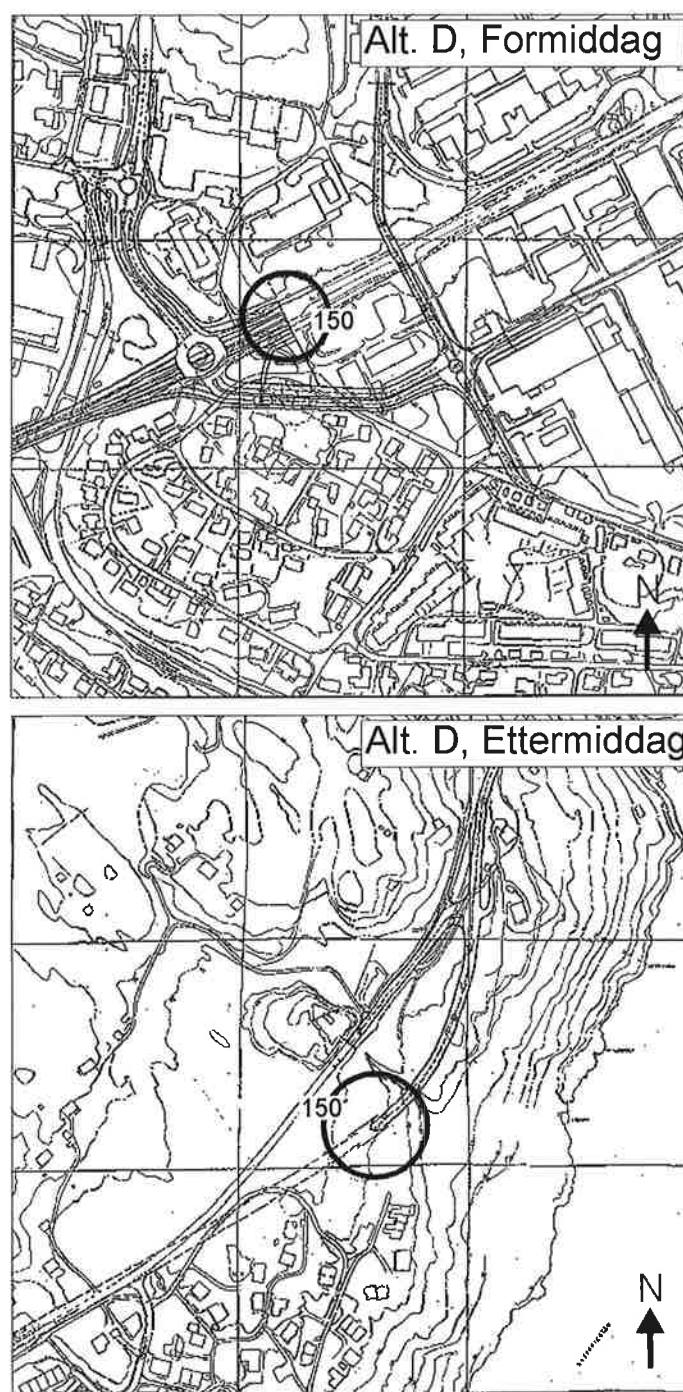
Tunnelmunning	Nødvendig spredningsavstand for å komme ned på gitte luftkvalitetsnivå (m)				
	CO (25 mg/m ³)	NO ₂ (150 µg/m ³)	NO ₂ * (200 µg/m ³)	NO ₂ (250 µg/m ³)	NO ₂ ** (300 µg/m ³)
Alternativ C					
Formiddag	0	-	-	-	-
Ettermiddag	0	-	-	-	-
Alternativ D					
Formiddag	0	18	9	2	-
Ettermiddag	0	23	11	5	-
Alternativ E					
Formiddag	0	66	45	33	26
Ettermiddag	0	57	39	29	21
Alternativ 3					
Formiddag	0	53	35	25	19
Ettermiddag	0	44	29	19	14
Alternativ 5					
Formiddag	0	26	14	7	3
Ettermiddag	0	20	9	3	-
Alternativ II					
Formiddag	0	20	9	3	-
Ettermiddag	0	29	16	9	5

* Kartleggingsverdi

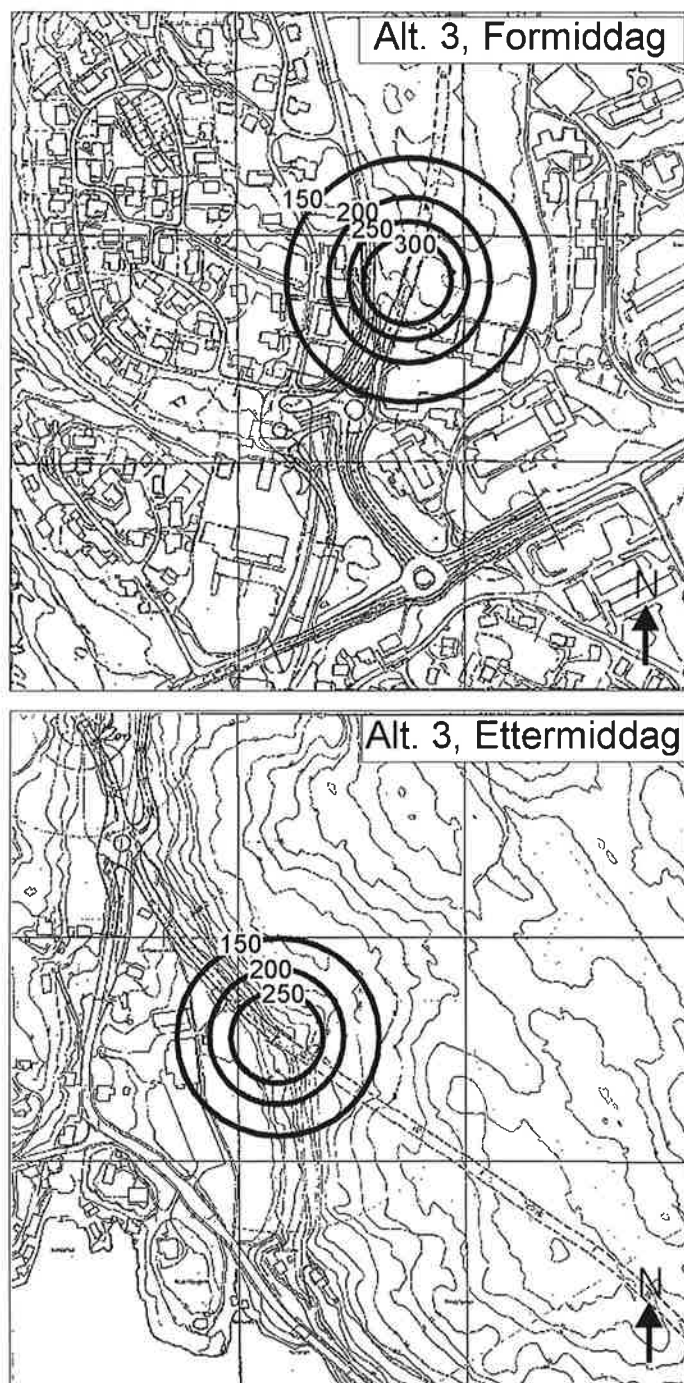
** Tiltaksverdi



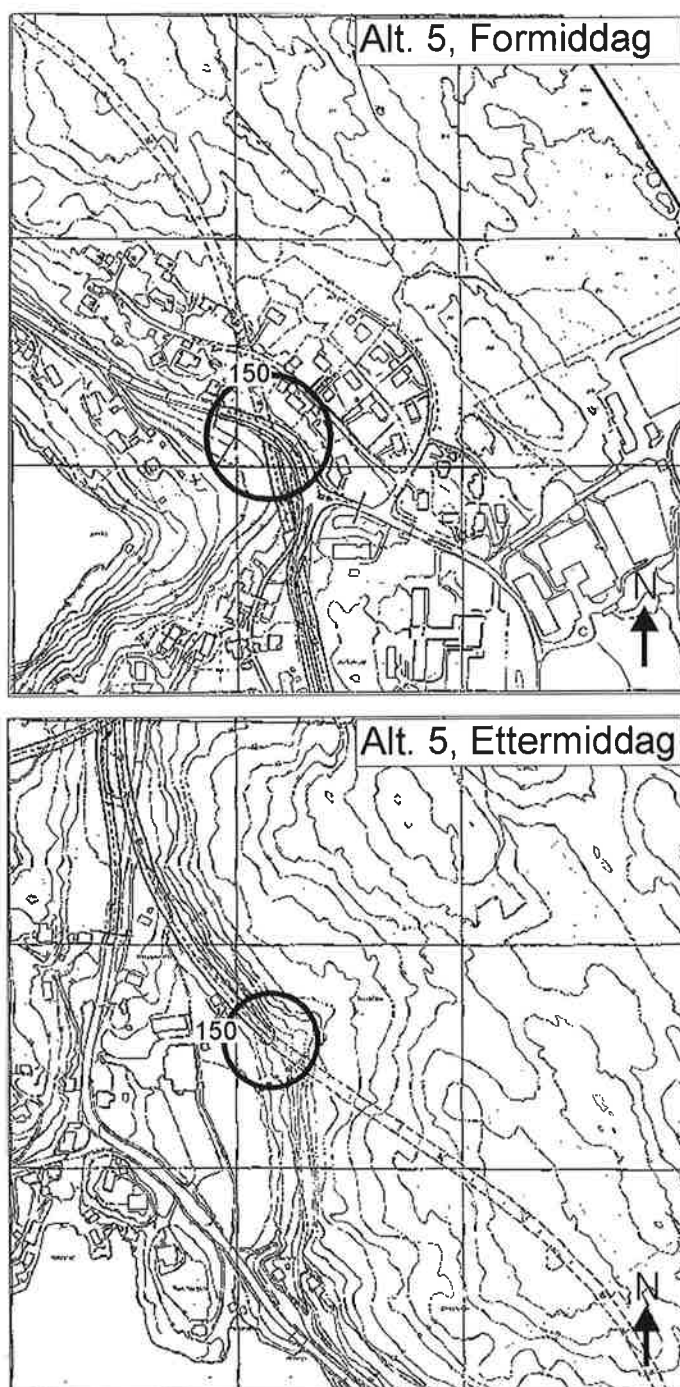
Figur 3a: Munningen til tunneltrasé C, RV1. Maksimale NO_2 -konsentrasjoner er lavere enn $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$.



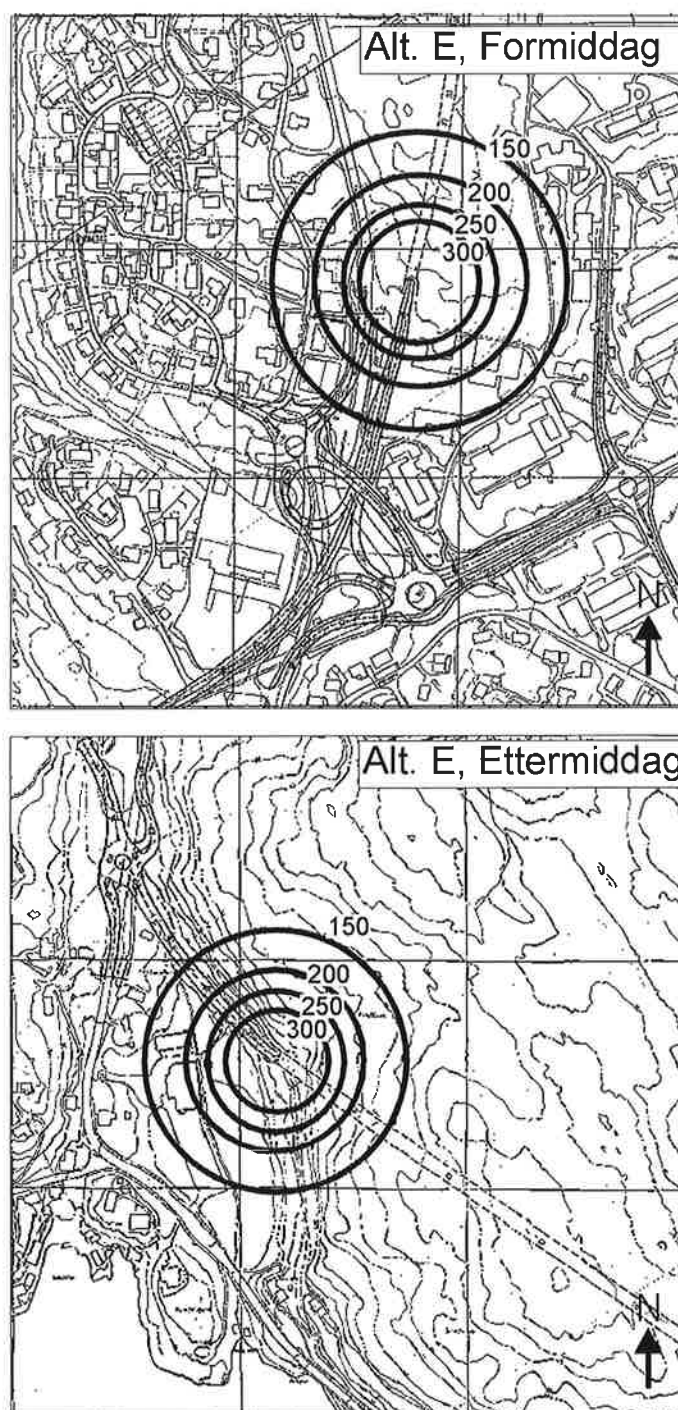
Figur 3b: Overskridelse av NO₂ -konsentrasjoner ved tunneltrasé D, RV1.



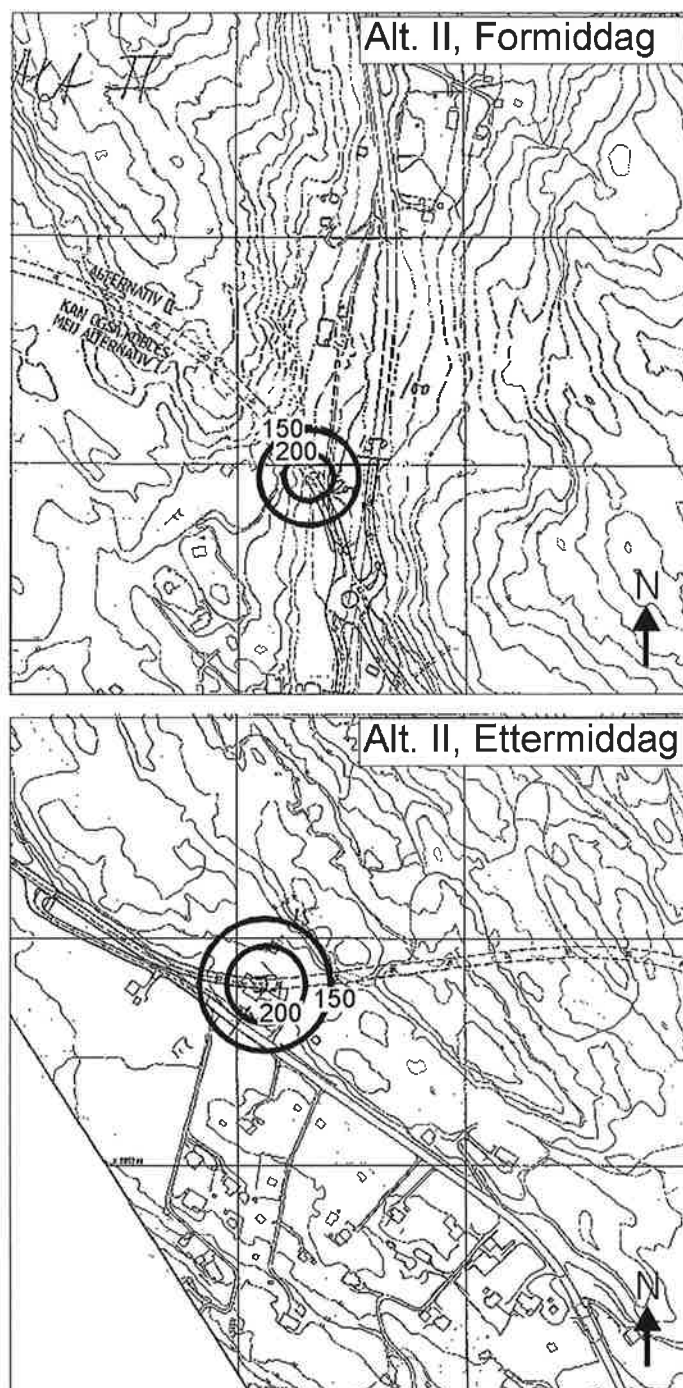
Figur 3c: Overskridelse av NO₂-konsentrasjoner ved tunneltrasé 3, RV57.



Figur 3d: Overskridelse av NO₂-konsentrasjoner ved tunneltrasé 5, RV57



Figur 3e: Overskridelse av NO₂-konsentrasjoner ved tunneltrasé E for riksveiene 1 og 57.



Figur 3f: Overskridelse av NO_2 -konsentrasjoner ved tunneltrasé II, RV 565.

Maksimalkonsentrasjonene forekommer ved størst trafikkbelastning (i rushtiden) og ved dårlige spredningsforhold.

Når tungtrafikkandelen er mindre enn 10% fører det til mindre område med NO_2 -belastning over akseptabelt forurensningsnivå.

7. Partikler i luften ved tunnelmunningene

Forventede PM_{10} -konsentrasjoner i tunnelmunningene er basert på målinger i og ved Vålerengatunnelen i Oslo (Larssen, 1990). Følgende resonnement ble fulgt: Høyeste munningskonsentrasjon som ble målt i Vålerengatunnelen tilsvarte en døgnmiddelkonsentrasjon på $275 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Vålerengatunnelen har en lengde på 850 m og en ÅDT 15 000 i et løp i måleperioden.

Munningskonsentrasjonene i tunnelene er skalert i forhold til trafikkarbeidet (trafikkarbeid = tunnellengde \cdot ÅDT). Maksimale døgnmidlere munningskonsentrasjoner er vist i tabell 5. Forurenset tunnelluft spres i omgivelsene, og det er nødvendig at det blåser fra munningene for at et bestemt område skal påvirkes av forurenset tunnelluft.

Den stiplede kurven viser konsentrasjonsreduksjonen når vinden blåser 50% av tiden fra munningen mot området.

Tabell 5: Maksimale døgnmiddelverdier PM_{10} -konsentrasjoner (C_m) i tunnelmunningene.

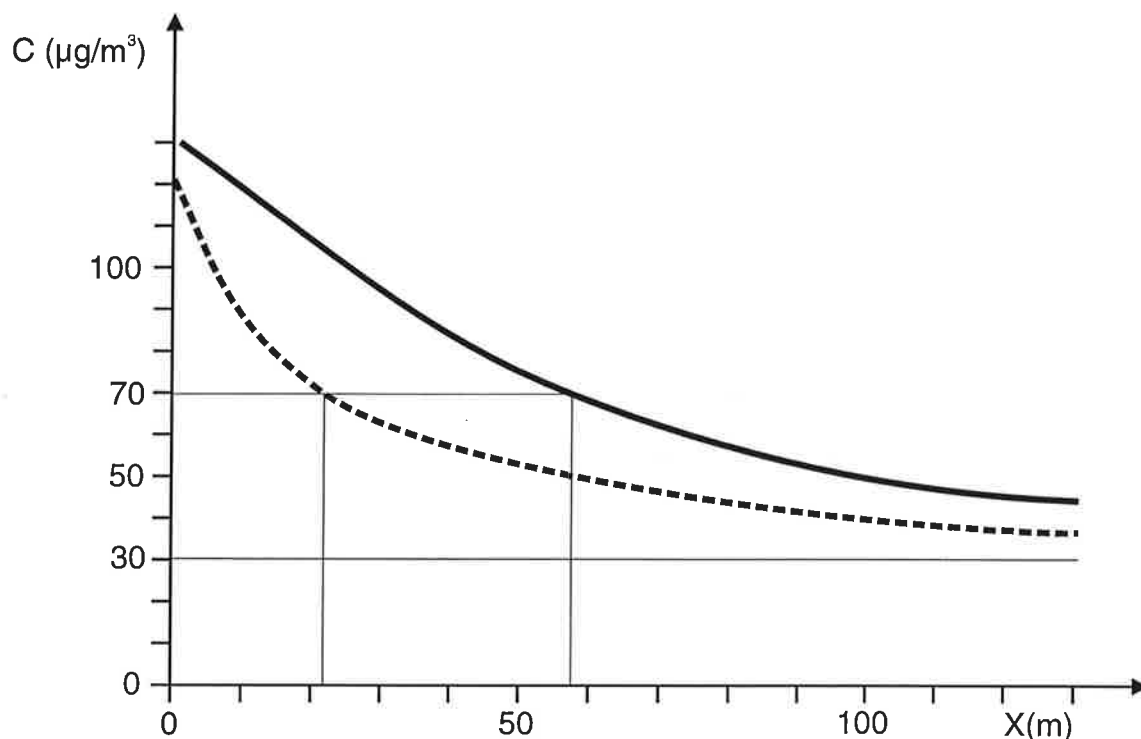
Alternativ	Lengde (km)	ÅDT	C_m ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
RV1-C	0.48	7 300	76
RV1-D	1.4	3 400	103
RV1 og RV57-E	2.7	9.500	(553)
RV57-3	1,28	9 500	262
RV57-5	0,66	8 900	127
RV565-II	0.7	6 800	103
Vålerengatunnelen	0.85	15 000	275

Konsentrasjonen som funksjon av avstanden i vindretningen fra munningen er vist i figur 3. Reduksjonen i døgnmiddelkonsentrasjonen med økende avstand vil være noe raskere enn den heltrukne kurven på figuren avhengig av hvor ofte vinden blåser i de enkelte vindsektorene.

I hovedvindretningene kan det forekomme konsentrasjoner mellom kurvene. I andre vindsektorer vil reduksjonen av 24-timers PM_{10} -konsentrasjon være raskere enn forløpet av den stiplede kurven. I samsvar med Tabell 3 er det regnet med en PM_{10} -konsentrasjon på $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ i området som skyldes andre utslipp.

Nær tunnelmunningene kan det forekomme PM_{10} -konsentrasjoner over retningslinjene for god luftkvalitet.

Når avstanden er større enn 30-50 m vil det sannsynligvis ikke forekomme overskridelser. I alternativ E hvor trafikken på RV1 og på RV57 kombineres i en tunnel blir belastningen av PM_{10} -konsentrasjonen større enn ved Vålerengatunnelen. På grunn av usikkerheten i beregningsmetoden er den beregnete verdien satt i parentes. Vi antar at en større andel av utslippet kan holdes tilbake i en lang tunnel.



Figur 4: Maksimale døgnmidler PM_{10} -konsentrasjon som funksjon av avstanden fra tunnelmunningen. Kurvene må vurderes som anslag. I områder som ikke påvirkes av utslippet i munningene er det regnet med en PM_{10} -konsentrasjon på $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

—: Vinden blåser i en sektor hele døgnet.

---: Vinden blåser i en sektor 50% av tiden.

8. 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 bilsalget fra 1988 til nå har vært lavere enn antatt. Dette innebærer antagelig at i underkant av 65% av bensindrevne biler antagelig vil ha katalysator i 2000, og 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.

Målinger viser at lokal foruensning av partikler ved sterkt trafikkerte veier vil reduseres med redusert bruk av piggdekk. I fremtiden (2015) vil anvendelsen av piggdekk være redusert.

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. og Iversen, T. (1984) Vurdering av luftforurensning ved veitunneler gjennom Vålerenga og Gamlebyen. Lillestrøm (NILU OR 52/84).
- Statens forurensningstilsyn (1992) Virkninger av luftforurensninger på helse og miljø. Anbefalte luftkvalitetskriterier. Oslo (SFT-rapport nr. 92:16).
- Torp, C., Tønnesen, D. og Larssen, S. (1994) Programdokumentasjon for 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

- A1 Luftforurensningsproblemer og luftforurensning fra biltrafikk**
- A2 Biltrafikk og lokal luftforurensning**
- A3 Helseeffekter**

A1 Luftforurensningsproblemer og luftforurensning fra biltrafikk

De ulike stoffer i bileksos kombinert med det store drivstoff-forbruket i samferdselssektoren 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-nedbrytning	N ₂ O

* Partikler med diameter mindre enn 2.5 eller 10 µm.

A2 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 piggdekkelsesongen. 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 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

A3 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 forurensete 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			



Norsk institutt for luftforskning (NILU)

Postboks 100, N-2007 Kjeller

RAPPORTTYPE Oppdragsrapport	RAPPORT NR. OR 35/97	ISBN 82-425-0887-7 ISSN 0807-7207	
DATO 17/7-97	ANSV. SIGN. P.K.	ANT. SIDER 29	PRIS NOK 45,-
TITTEL Tunneler Knarvik-Isdalstø Vurdering av luftforurensning		PROSJEKTLEDER Knut Erik Grønseki	
		NILU PROSJEKT NR. O-97066	
FORFATTER(E) Ivar Haugsbakk og Knut Erik Grønseki og Knut Erik Grønseki		TILGJENGELIGHET * A	
		OPPDRAAGSGIVERS REF. Kåre Karlsen	
OPPDRAAGSGIVER Statens vegvesen Hordaland Postboks 3645 5033 FYLLINGSDALEN			
STIKKORD Tunnel	Forurensning	Spredningsberegninger	
REFERAT Ulike tunnelalternativ er planlagt i området Knarvik-Isdalstø. Det er beregnet maksimale konsentrasjoner av CO og NO _x i tunnelen og det er beregnet minste tilstrekkelig ventilasjonshastighet i tunnelen for å overholde grenseverdier for luftkvalitet i tunnelen ved ugunstige trafikforhold (rushtrafikk morgen/kveld). Konsentrasjonsreduksjon som funksjon av avstand fra utslippsområdet er vist og konsentrasjonene er sammenlignet med SFTs luftkvalitetskriterier.			
TITLE Air pollution from planned tunnels in the Knarvik-Isdalstø area.			
ABSTRACT			

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