

NILU: OR 17/99
REFERANSE: O-96138
DATO: APRIL 1999
ISBN: 82-425-1068-7

**Skansentunnelen,
Bergen**
Vurdering av luftforurensning

**Knut Erik Grønskei, Ivar Haugsbakk og
Jan F. Henriksen**

Innhold

	Side
Sammendrag.....	3
1 Innledning.....	7
2 Metoder og forutsetninger	7
3 Tunnel- og trafikkdata	8
4 Anbefalte luftkvalitetskriterier og krav til tunnelluft	13
5 Luftkvaliteten i Bergen sentrum vinteren 1997/98	15
5.1 Målte konsentrasjoner.....	15
5.2 Utslipp av forurensninger i Bergen sentrum og virkninger av avlastningstunnelen.....	18
6 Utslipp	18
7 Resultater fra spredningsberegningene	20
7.1 Resultatet av beregninger for Skansentunnelen.....	20
7.2 Fløyfjellstilknytning.....	26
8 Effekter av trafikkbelastningen på Mariakirken og andre historiske bygninger	27
8.1 Trafikkrelaterte belastningsfaktorer.....	27
8.2 Risikoområde ved Mariakirken	27
9 Tiltak for å redusere forurensningsbelastning.....	28
9.1 Valg av ventilasjonsretning	28
9.2 Rensing av tunnelluften	28
9.3 Utslipp av ventilasjonsluft fra tunnelen gjennom vertikale sjakter	29
9.4 Framtidig utvikling	29
10 Referanser.....	30
Vedlegg A Spredning av utslipp i ventilasjonssjakt fra Løvestakktunnelen.....	33
Vedlegg B Generelt om luftforurensning fra trafikk.....	37

Sammendrag

Norsk institutt for luftforskning (NILU) har på oppdrag fra Statens vegvesen Hordaland utført beregninger av luftforurensing fra planlagt avlastningstunnel i Bergen sentrum (Skansentunnelen). Det er utført beregninger av produksjon av nitrogenoksider (NO_x) og karbonmonoksid (CO) i 4 alternative tunneler, samt spredning av forurensninger fra tunnelmunninger. Svevestøv er ikke tatt med i beregningene, da det ikke finnes ferdigutviklet programverktøy for å beregne produksjon og spredning av svevestøv fra tunneler. Vurdering av støvforurensningene (PM_{10}) er basert på målinger ved tilsvarende tunneler og på eksisterende data for utslipp.

Beregningene er utført for trafikksituasjoner i rushtiden, med redusert trafikkflyt i begge retninger. Videre er krav til ventilasjon 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 tunnelluft er vist i tabell A. I tillegg er beregnede konsentrasjoner sammenlignet med eksisterende målinger fra Bergen.

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

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
	PM ₁₀	24 timer	35 µg/m ³
Nasjonale mål (Dep 1998)	NO ₂	1 time	150 µg/m ³
		overskrides max.	8 timer pr år innen 2010
	PM ₁₀	24 timer	50 µg/m ³
		overskrides max.	25 dager pr. år i 2005
			7 dager pr. år i 2010
Tunnelluft (Vegdirektoratet, 1988)	CO	Maksverdi*	250 mg/m ³
	NO _x	Maksverdi*	28 200 µg/m ³
	NO ₂	Maksverdi*	2 800 µg/m ³

* Øyeblikksverdi.

Ved fastsettelsen av de anbefalte luftkvalitetskriteriene er det anvendt en usikkerhetsfaktor på ca. 5 for NO₂ og CO og 2 for PM₁₀. Det betyr at eksponeringsnivåene må opp i 5 (2) 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

NILUs undersøkelser i Oslo tyder på sammenheng mellom eksponering for NO₂ samt finfraksjonen av partikkelforurensning og sannsynligheten for symptomer på helseeffekter. Resultatene i denne undersøkelsen tyder på at forurensningssituasjonen i Bergen sentrum medfører en fordobling av sannsynligheten for symptomer (fra 0,2 til 0,4) sammenlignet med ren luft. Symptomene (tretthet, hoste, hodepine, nervøsitet og åndenød) forekommer både i Bergen sentrum og i omgivelsene av Bergen, og kan ha andre årsaker enn luftforurensning. Det er sannsynlig at forurensningssituasjonen er medvirkende til økningen av frekvensen av symptomer på helsevirkninger (Clench-Aas, 1998).

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 (Gotaas, 1981; Iversen, 1982; Larssen og Iversen, 1984).

Utslipp av karbonmonoksid (CO) og nitrogenoksider (NO_x) er beregnet for år 2005 for tiden med størst trafikkbelastning, dvs. rushtid om ettermiddagen med følgende inngangsdata:

1. Maksimal trafikkintensitet
2. Tunneldata
3. Tungtrafikkandel (8%).
4. Kaldstartandel (43%).

Forurensning ved tunnelmunningene

CO- og NO₂-konsentrasjoner i ventilasjonsluften i munningene er beregnet for prosjekterte maksimale trafikkmengder og estimerte kjørehastigheter i "rushtiden". Tabell B viser resultatet av beregningene. Munningskonsentrasjoner er beregnet for ventilasjonshastighet 2 m/s. Konsentrasjonsverdiene er betydelig lavere enn grenseverdiene for tunnelluft.

Tabell B: Maksimale munningskonsentrasjoner som følge av utslipp i tunnelen ved rushtidstrafikk. Ventilasjonshastighet: 2m/s.

Alt./munning	Kjørehastighet (km/h)	Munningskonsentrasjon		
		CO (mg/m ³)	NO ₂ (µg/m ³)	PM ₁₀ ¹⁾ (µg/m ³)
Christies gt/Bontelabo	36	126,9	1358	42,5
Allehelgens gt./Bontelabo	36	87,2	991	31,8
(Fløyfjellstunnelen/Bontelabo) ²⁾	(42)	(60,1)	(773)	(30,3)
Christies gt/Sandbrugt,	36	126,9	1388	41,6

1) 24 timers middelerverdier.

2) I tunnelalternativet Fløyfjellstunnelen-Bontelabo vil forurensningsutslippet skje gjennom eksisterende sjakter i Fløyfjellet og i Sandviksfjellet. Beregningsverdiene er derfor satt i parentes.

Ved normal trafikkavvikling er NO_x-utslippene avgjørende for ventilasjonshastighet i tunnelsystemet. Nitrogenoksidverdiene (NO₂-konsentrasjonene) kan videre benyttes til å karakterisere luftkvaliteten utenfor tunnelen ved å sammenligne

konsentrasjonene med luftkvalitetskriterier og nasjonale mål vist i tabell A. I køsituasjoner vil CO-produksjonen bli avgjørende.

CO- og NO₂-konsentrasjonen reduseres med økende avstand fra tunnelmunningene. Det antas at NO₂-andelen av NO_x i utslippet fra tunnelmunningene er 10 %. I beregningene er det tatt hensyn til virkninger av utslipp i tunnelen. Bakgrunnskonsentrasjonen representerer en maksimal konsentrasjon som skyldes andre utslipp i byområdet. I området der tunnelen er planlagt, er det beregnet et bakgrunnsnivå for 2005 på 5 mg CO/m³, 36 µg NO₂/m³ og 50 µg PM₁₀/m³. Det estimerte bakgrunnsnivået for PM₁₀-konsentrasjonene skyldes hovedsakelig vedfyring og andre utslipp når bilene går uten piggdekk.

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



Tabell C viser spredningsavstander fra tunnelmunningen for å komme ned på gitte konsentrasjoner av CO og NO₂ som følge av utslippene i tunnelen.

Det vil være mye NO i luften ved tunnelmunningene. All Ozon vil gå over til NO₂, og det er nødvendig å ta hensyn til en bakgrunnsverdi på 96 µg NO₂/m³ i 2005 ved tunnelmunningene når forurensningskonsentrasjonene skal sammenlignes med luftkvalitetskriteriene i tabell A.

Tabell C viser at konsentrasjoner over ca 300 µg/m³ kan forekomme når avstanden er mindre enn ca. 40 m fra munningen der utslippet skjer. Når avstanden fra tunnelmunningene er over 100-150 m er konsentrasjonsbidraget som skyldes utslipp i tunnelen mindre enn 50 µg NO₂/m³.

Bakgrunnskonsentrasjonen og bidraget fra veien vil være mindre enn 150 µg NO₂/m³ når lokalbidraget er mindre enn 50 µg NO₂/m³ i samsvar med de nasjonale mål for forurensning i norske byer.

Tiltak for å redusere forurensningsbelastningen ved tunnelmunningene

- Utslipp ved Bontelabo eller gjennom vertikalsjaktene fra Fløyfjellstunnelen vil belaste luftkvaliteten i Bergen mindre enn dersom utslippet skjer gjennom munningen i Christies gt. eller Allehelgens gt.
- Overskridelser av luftkvalitetskriteriene kan unngås ved å rense ventilasjonsluften for partikler og NO₂. Det refereres til erfaring fra samarbeid mellom Vegdirektoratet og ABB-miljø i forbindelse med NO₂-rensing.
- Utslipp av ventilasjonsluften i en vertikal sjakt nær tunnelmunningen vil føre til bedre spredning av forurensningene og redusere forurensningsbelastningen ved munningen betydelig.

Tabell C a: Nødvendig spredningsavstand fra tunnelmunnings for at konsentrasjoner av CO, NO₂ og PM₁₀ er redusert til gitte nivåer. Nivåene er angitt i parentes for hver komponent. Enhet: m.

Tunnelmunning	Kjørehastighet km/t	Nødvendig spredningsavstand (m) fra tunnelmunnings for at konsentrasjoner av CO, NO ₂ og PM ₁₀ er redusert til gitte nivåer. Ventilasjonshastighet: 2 m/s							
		CO - 1 time verdi		NO ₂ - 1 time verdi				PM ₁₀ - 24 timer verdi	
		(25 mg/m ³)	(10 mg/m ³)	(300 µg/m ³)	(200 µg/m ³)	(100 µg/m ³)	(50 µg/m ³)	(30 µg/m ³)	(10 µg/m ³)
Christies gt- Bontelabo	36 50	43 28	88 64	39 38	56 55	96 92	148 145	7	36
Allehelgens gt- Bontelabo	36 50	29 18	68 48	28 25	42 38	73 68	118 110	1	27
Christies gt- Sandbrugt.	36 50	44 28	89 64	39 38	56 55	93 92	147 146	7	36
Bakgrunnsverdi 2005 ytre sone		3 mg CO/m ³		96 µg NO ₂ /m ³				50 µg PM ₁₀ /m ³	

Tabell C b: Spredningsavstand fra tunnelmunningen for at NO₂-konsentrasjonene ved Bontelabo skal være under oppgitte grenseverdier. Det er tatt hensyn til bakgrunnsverdiene i 2005. Kjørehastighet i 36 km/time. Enhet: m.

	300 µg/NO ₂ /m ³	150 µg NO ₂ /m ³
Christies gt-Bontelabo	55	144
Allehelgensgt.-Bontelabo	41	114
Christies gt.-Sandbrugt.	55	143

Skansentunnelen, Bergen

Vurdering av luftforurensning

1 Innledning

Norsk institutt for luftforskning (NILU) har på oppdrag fra Statens vegvesen Hordaland utført beregninger av luftforurensninger fra planlagt tunnelforbindelse mellom Bontelabo/Sandbrugaten og veikrysset Christiesgate/Allehelgens gate i Bergen (Skansentunnelen). 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 redusert trafikkflyt 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 anbefalte luftkvalitetskriterium og avgjørende for krav til ventilasjonsluft. Anbefalte luftkvalitetskriterier 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 forurensningskonsentrasjon i tunnelen beregnet og nødvendig ventilasjonshastighet for å overholde grenseverdier for NO₂ og CO i tunneler er vurdert.
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 2005. 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

Tre alternativer for Skansentunnelen er vist i figurene 1-4. Nødvendige tegninger og tallmateriale angående veigeometri, trafikk tall og trafikksammensetning er levert av Interconsult og Asplan. Trafikkprognoser for år 2005 er benyttet. Beregningene er utført for ettermiddagsrushet karakterisert av stor trafikk ut fra sentrum. Tabell 1 viser årsdøgntrafikken og maksimal timetrafikk i rushtiden.

Tungtrafikkandelen er anslått til 8% og kaldstartandelen er 43%. Vektfordelingen av tungtrafikken er av NILU anslått til ca. 25% under 10 tonn, ca. 25% mellom 10 og 20 tonn og ca. 50% over 20 tonn totalvekt. Normal kjørehastighet vil bli 50 km/time, og i rushtiden vil det være ca. 50 m kø i tunnelene.

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

Tabell 1: Trafikkintensitet og kjørehastighet i rushtiden i Skansentunnelen (4 alternativer).

Alternativ	Kjt/ÅDT	Trafikkintensitet		Hastighet Rushtid km/t	L* km	A** kjt km/døgn
		Mot N kjt/time	Mot S kjt/time			
Christies gt.-Sandbrugt.	11 000	710	400	36	1,65	18,3·10 ³
Christies gt.-Bontelabo	11 100	710	400	36	1,685	18,7·10 ³
Alle Helgens gt.-Bontelabo	10 200	620	390	36	1,37	13,97·10 ³
Fløyfjellstun.-Bontelabo	9 500	610	350	42	1,40	13,3·10 ³

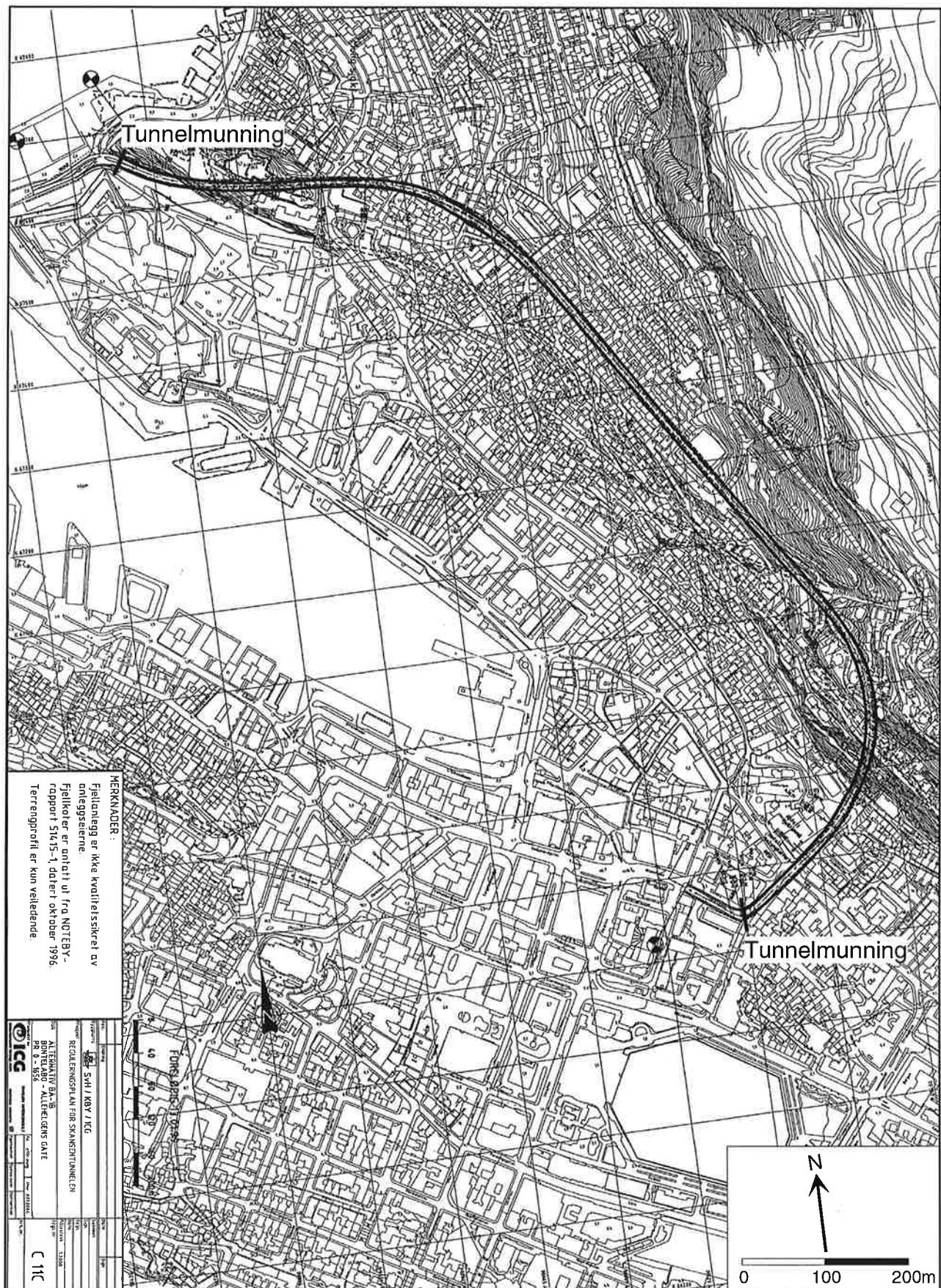
* Lengden av tunnelen

**Trafikkarbeidet

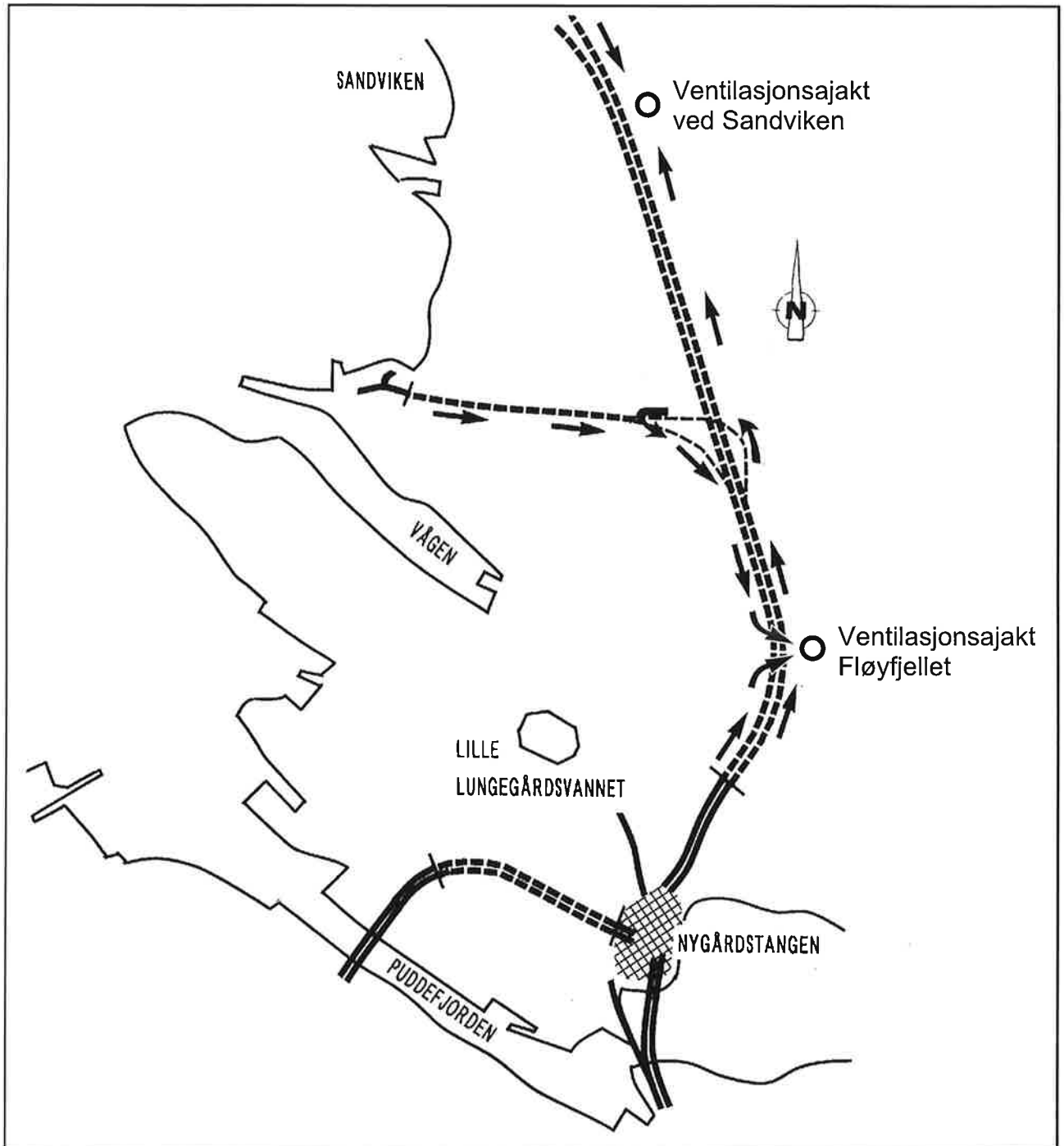
Tunnelmunningene vil få tunnelprofil T9. Dette gir munningsareal på 50,45 m² (se Figur 5).



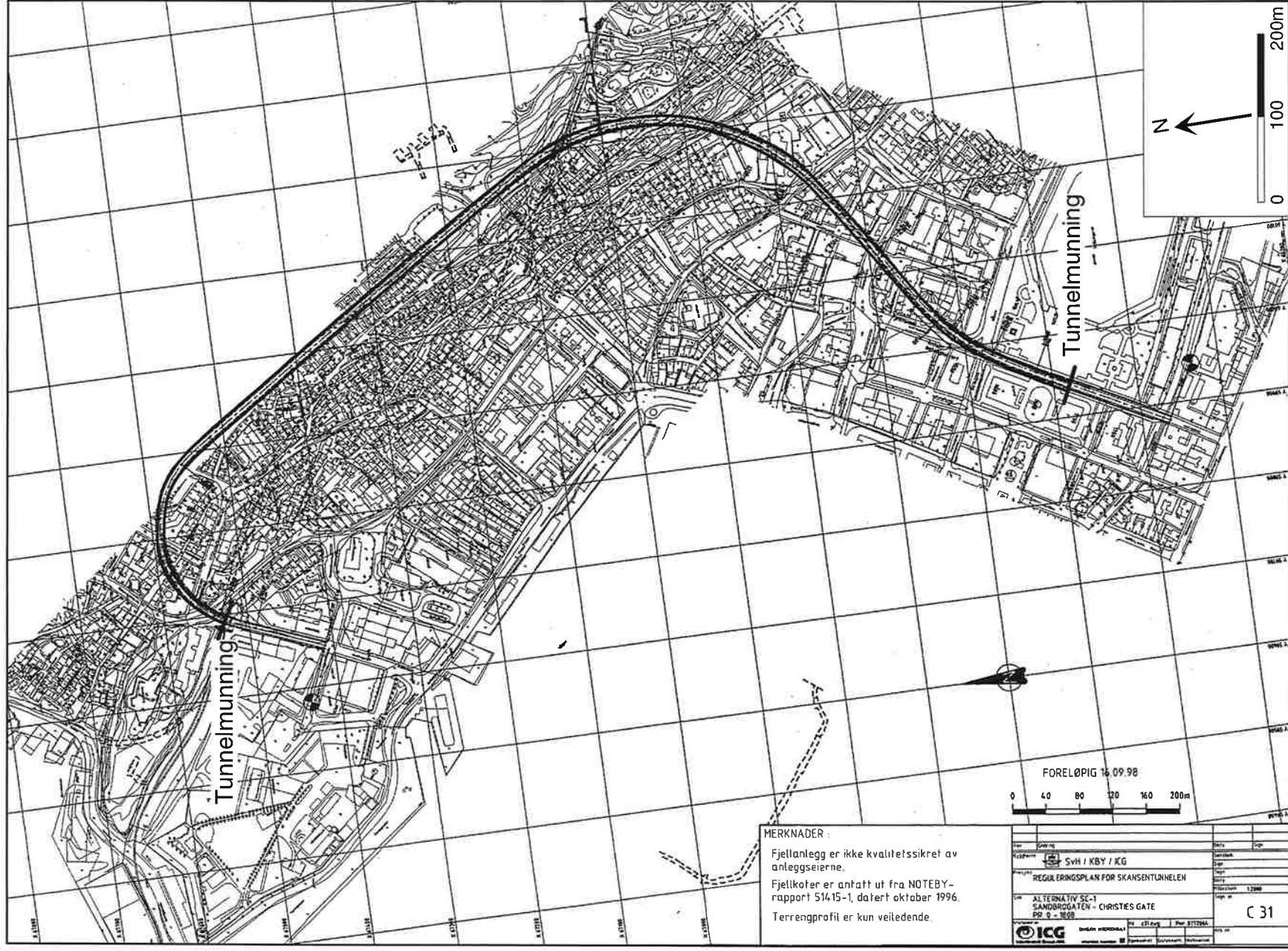
Figur 1: Tunneltrasé, Skansentunnelen. Alternativ Christies gt.-Bontelabo.



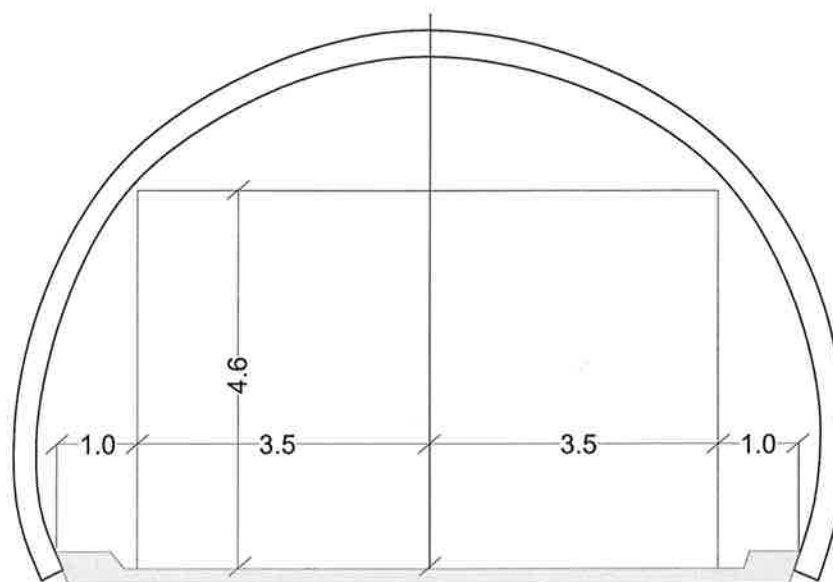
Figur 2: Tunneltrasé, Skansentunnelen. Alternativ Allehelgens gt.-Bontelabo.



Figur 3: Tunneltrasé, Skansentunnelen. Alternativ Bontelabo-Fløyfjellstunnelen.



Figur 4: Tunneltrasé, Skansentunnelen. Alternativ Christies gt. - Sandbrugt.



Figur 5: Munningsprofil Skansentunnelen (T9).

4 Anbefalte luftkvalitetskriterier og krav til tunnelluft

Ved vurdering av luftkvaliteten i et område er det vanlig å sammenligne målte eller beregnede konsentrasjoner med grenseverdier for luftkvalitet. I denne rapporten er målte konsentrasjoner sammenlignet med verdier gitt i SFTs rapport (Andersen et al., 1998).

Forskriftene gjelder luftkvaliteten ved

- helårsboliger
- barnehager
- utdanningsinstitusjoner
- helseinstitusjoner

Forskriften gjelder ikke for

- fritidsboliger
- arbeidsplasser
- oppholds- og rekreasjonsområder
- sentrumsområder og handlegater uten beboere

I denne rapporten vurderes spesielt forurensning som følge av utslipp fra veitrafikken, og spesielt tunnelmunningen på Fløyfjellsalt. Det er også nødvendig å vurdere forurensningene i Bergen sentrum som helhet.

Når det gjelder generell byforurensning i Bergen og lokalt bidrag fra veitrafikk, er det tilstrekkelig å vurdere NO_2 og svevestøv (PM_{10}). Forskriftene operer med tre sett grenseverdier som medfører varierende krav om tiltak. Forskriftene opererer

også med SFTs anbefalte luftkvalitetskriterier, og det er et langsiktig mål å redusere luftforurensningene under kriteriene i norske byer.

Tabell 2 viser grenseverdier og luftkvalitetskriterier for nitrogendioksid (NO₂) og svevestøv (PM₁₀).

Tabell 2: SFTs anbefalte luftkvalitetskriterier, forurensningslovens tiltaks- og kartleggingsgrenser og EU-kommisjonens forslag til grenseverdier for luftkvalitet med hensyn til virkning på helse. Grenseverdiene er gitt i $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Stoff	Midlingstid	1 time	24 timer	6 mnd	År
NO ₂	SFTs anbefalte luftkvalitetskriterier	100	75	50	
	Nasjonale mål Antall tillatte overskridelser	150 8 timer pr år i 2010			
	Forurensningslovens tiltaksgrense	300 ²⁾			
	Forurensningslovens kartleggingsgrense	200			
	EUs forslag til nye grenseverdier (og antall tillatte overskridelser)	200 ¹⁾ (8 pr år)			40 ¹⁾
PM ₁₀	SFTs anbefalte luftkvalitetskriterier		35	Ny verdi skal utarbeides	
	Nasjonale mål Antall tillatte overskridelser		50 25 pr år i 2005 7 pr år i 2010		
	EUs forslag til nye grenseverdier (og antall tillatte overskridelser)		50 ²⁾ (25 pr. år) 50 ¹⁾ (7 pr. år)		30 ²⁾ 20 ¹⁾
	Forurensningslovens tiltaksgrense		300 ²⁾		
	Forurensningslovens kartleggingsgrense		150		
PM _{2,5}	SFTs anbefalte luftkvalitetskriterier		20	Ny verdi skal utarbeides	
	EUs forslag til "Action level" (og antall tillatte overskridelser)		40 ²⁾ (14 pr. år)		20 ²⁾

- 1) Skal overholdes innen 1.1.2010.
- 2) Skal overholdes innen 1.1.2005

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 : 250 000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (200 ppm)
 NO_x : 28 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (15 ppm) fører til ca. 2 800 $\mu\text{g NO}_2/\text{m}^3$ (1,5 ppm).

Vegdirektoratets verdier gjelder ved den munningen der ventilasjonsluften tas ut. For tunneler med tverrslag og langslufting er grenseverdiene henholdsvis 125 000 $\mu\text{g CO}/\text{m}^3$ CO og 14 100 $\mu\text{g NO}_x/\text{m}^3$ ved halv tunnallengde.

5 Luftkvaliteten i Bergen sentrum vinteren 1997/98

5.1 Målte konsentrasjoner

Tabell 4 og Tabell 5 viser resultatet av konsentrasjonsmålinger i Bergen sentrum i seks vintermåneder 1997-1998.

Det ble ikke registrert overskridelser av tiltaksgrenser eller kartleggingsgrenser for PM₁₀ på noen målestasjoner i Bergen i måleperioden (se Tabell 4). Den nasjonale målsetning når det gjelder PM₁₀-konsentrasjoner i 2005 tilfredsstilles også.

Målingene ved Fengslet er representative for konsentrasjonsverdiene i Bergen sentrum som helhet. Målingene fra Michael Krohnsgt. viser konsentrasjonsverdier fra sterkt trafikkerte gater i Bergen hvor dagens forurensninger er høyere.

Når det gjelder NO₂-forurensningene, viser Tabell 5 at det forekom overskridelser av nasjonale grenseverdier for kartlegging og utredning. Det ble registrert hyppigere overskridelser ved Fengslet enn ved målestasjonene på Møhlenpris (Dokkeveien og Olaf Ryes vei) som ligger i utkanten av Bergen sentrum, på samme måten som Bontelabo. Lokale utslipp har mindre betydning for NO₂ enn for PM₁₀ siden NO₂ dannes i atmosfæren også som følge av kjemiske reaksjoner mellom NO og O₃.

Målingene ved Olaf Ryes vei viste konsentrasjoner over 100 µg NO₂/m³ 0-3,8% av tiden. Når nye utslipp i Bontelabo-området skal vurderes er estimatet av bakgrunnsverdiene i området passende bare i forurensningsepisodene som forekommer få prosent av tiden.

Tabell 3 viser typiske estimatverdier for PM₁₀ og NO₂ i Bergen sentrum som kan benyttes i konsentrasjonsutredninger. Verdiene er estimert ved hjelp av bakgrunnsatlaset i V-luft i samråd med Asplan-Viak.

Tabell 3: Estimerte konsentrasjonsverdier i Bergen sentrum 1993 og 2005.

	CO (1 h) mg/m ³	O ₃ (1 h) µg/m ³	NO ₂ (1 h) µg/m ³	NO ₂ ⁺ * (1 h) µg/m ³	PM ₁₀ (24 h) µg/m ³
Indre sone 1993	11	60	68	128	100
Ytre sone 1993	7	60	43	103	50
Indre sone 2005	5	60	57	117	60
Ytre sone 2005	3	60	36	96	50

* [NO₂]⁺ = [O₃] + [NO₂]

Målingene vinteren 97/98 antyder at de estimerte verdiene er rimelige anslag for typiske maksimalverdier. Konsentrasjonsverdiene forekommer i Bergen av og til som følge av det samlede utslippet i byområdet.

Tabell 4: Måleresultatene for PM₁₀ i Bergen 6 vintermåneder 1997-1998. Månedsmiddelverdier beregnet på grunnlag av få observasjoner er merket med parenteser. Enhet: µg/m³.

Stasjon	Periode	Middel verdi	Maks. døgn	Ant. døgn	>35	>50	>70	Maks time	Ant. time	Antall > 100	timer > 200
Dokkeveien	Januar 97	(25,0)	(48,9)	15	(2)	0	0	100,6	357	1	0
	Februar	19,5	64,9	28	1	1	0	132,2	670	4	0
	Mars	24,8	45,0	31	4	0	0	157,7	744	5	0
	April	16,5	25,4	27	0	0	0	52,0	646	0	0
	November	(41,4)	(94,3)	18	(11)	(8)	(4)	203,1	416	43	2
	Desember	24,8	74,8	31	7	4	1	161,7	738	13	0
	Januar 98	20,7	85,8	27	2	1	1	215,3	641	11	1
Fengslet	Januar 97	23,7	59,5	31	4	1	0	195,5	727	9	0
	Februar	17,4	37,6	28	1	0	0	80,6	660	0	0
	Mars	21,0	34,3	31	0	0	0	121,3	741	2	0
	April	15,2	23,8	28	0	0	0	41,5	666	0	0
	November	28,9	73,5	30	8	5	2	165,1	712	19	0
	Desember	21,6	62,4	31	7	4	0	139,4	731	6	0
	Januar 98	15,5	53,1	31	1	1	0	128,9	716	2	0
Brann stadion	Januar 97	18,4	37,3	16	1	0	0	64,7	393	0	0
	Februar	16,4	32,5	28	0	0	0	90,2	661	0	0
	Mars	17,9	33,8	31	0	0	0	96,3	738	0	0
	April	14,3	26,0	25	0	0	0	66,2	597	0	0
Michael Krohns gt.	November 97	47,1	103,4	30	19	13	6	233,9	711	97	2
	Desember	28,4	90,0	31	11	4	1	219,4	736	21	1
	Januar 98	23,4	82,4	30	3	3	1	158,8	716	14	0

Tabell 5: Måleresultater for NO₂ i Bergen 6 vintermåneder 1997-1998. Månedsmiddelverdier beregnet på grunnlag av få observasjoner er merket med parenteser. Enhet: µg/m³.

Stasjon	Periode	Middel verdi	Maks. døgn	Ant. døgn	>50	> 75	>100	Maks time	Ant. time	timer > 100	timer > 150	timer > 200
Dokkeveien	Januar 97	(34,5)	(57,0)	15	3	0	0	110,3	345	1	0	0
	Februar	25,4	74,6	28	1	0	0	120,8	667	8	0	0
	Mars	24,4	45,9	31	0	0	0	98,4	738	0	0	0
	April	27,2	51,4	24	2	0	0	86,3	646	0	0	0
	November	(48,4)	(84,2)	18	9	3	0	137,7	434	33	0	0
	Desember	38,4	97,5	31	10	3	0	214,8	739	32	6	1
	Januar 98	29,5	67,5	28	5	0	0	128,9	654	4	0	0
Olaf Ryes vei	Januar 97	(32,5)	(52,7)	14	2	0	0	103,8	342	1	0	0
	Februar	22,5	66,6	28	1	0	0	118,9	664	5	0	0
	Mars	18,0	39,8	31	0	0	0	83,7	735	0	0	0
	April	18,4	46,1	27	0	0	0	83,4	643	0	0	0
	November	(40,0)	(73,9)	19	6	0	0	132,1	435	12	0	0
	Desember	35,3	94,2	31	9	3	0	209,2	737	28	3	1
	Januar 98	23,5	57,1	28	3	0	0	100,4	655	1	0	0
Fengslet	Januar 97	47,3	133,7	31	12	3	1	271,6	737	35	15	7
	Februar	29,7	69,7	28	3	0	0	131,2	666	8	0	0
	Mars	28,3	43,4	31	0	0	0	102,5	739	1	0	0
	April	27,2	51,9	28	1	0	0	91,3	665	0	0	0
	November	45,8	92,4	30	11	3	0	193,9	714	30	4	0
	Desember	43,2	117,5	31	9	3	2	232,1	737	50	14	2
	Januar 98	33,1	61,1	31	4	0	0	109,6	735	1	0	0
Brann stadion	Januar 97	26,5	50,3	16	0	0	0	84,8	371	0	0	0
	Februar	17,0	52,1	28	1	0	0	123,2	668	2	0	0
	Mars	14,2	38,7	31	0	0	0	94,7	737	0	0	0
	April	16,0	45,7	25	0	0	0	84,6	594	0	0	0
Michael Krohns gt.	November 97	52,6	92,4	30	16	4	0	145,7	713	39	0	0
	Desember	46,4	97,8	31	10	3	0	161,8	736	44	4	0
	Januar 98	37,5	65,9	31	8	0	0	103,5	736	3	0	0

5.2 Utslipp av forurensninger i Bergen sentrum og virkninger av avlastningstunnelen

Data fra byundersøkelsene i Bergen viser at midlere utslipp av NO_x i hver km^2 -rute i indre sone i Bergen sentrum er 6-17 kg/km^2 time.

Utslippene fra tunnelmunningene ved Bontelabo er 3-5 kg/time . Sjaktene fra Fløyfjellstunnelen slipper ut forurenset ventilasjonsluft over inversjonslaget i forurensningssituasjoner, og eksosutslippene fra tunnelene vil ikke belaste Bergen sentrum.

Utslippene fra avlastningstunnelen er av samme størrelse som utslipp i en km^2 -rute i Bergen sentrum. Lokalutslippet vil derfor påvirke luftkvaliteten både lokalt og på km^2 -skala i Bergen sentrum. På den andre siden vil avlastningstunnelen føre til redusert trafikkarbeid og forurensningsutslipp i flere sentrumsgater.

En studie utført i Oslo (Kolbenstvedt, 1998, Bartonova et al., 1998) har undersøkt konsentrasjonene av NO_2 og partikler ved boliger i området hvor to tunneler ble tatt i bruk. Ved å ta tunnelene i bruk, omfordelte man forurensningene i området. Detaljerte spredningsberegninger viste at midlere og maksimal forurensningsbelastning ble redusert for de fleste boligene. Samtidig fikk området tett ved munningene en større maksimalbelastning. Totalt var antallet undersøkte boligadresser med overskridelser av luftkvalitetskriteriene redusert.

6 Utslipp

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

1. Maksimal trafikkintensitet
2. Tunneldata
3. Tungtrafikkandel (8%).
4. Kaldstartandel (43%).

Beregningene er utført basert på prosjekterte trafikkmengder, og det er beregnet utslipp for normal kjørehastighet i tunnelene (50 km/time) og for rushtidshastighet (36-42 km/time) for å vise variasjonen i utslippene med variasjoner i kjørehastigheten. Resultatet av utslippsberegningene for normale kjørehastigheter er vist i Tabell 6.

Tabell 6: Produksjon (g/s) av CO og NO_x fra biltrafikken i de planlagte tunnelene ved normale kjørehastigheter i rushtiden

Alternativer	Kjørehast. km/time	Utslipp (g/s)	
		CO	NO _x
Christies gt.- Sandbrugt.	50 36	8,36 12,8	1,38 1,40
Christies gt- Bontelabo	50 36	8,36 12,8	1,37 1,41
Allehelgens gt- Bontelabo	50 36	5,82 8,82	0,93 1,00
Fløyfjellstunnelen- Bontelabo	50 42	5,068 6,068	0,780 0,816

Tabell 7 viser også nødvendig ventilasjonshastighet for å overholde Vegdirektoratets grenseverdier for tunnelluft når kjørehastigheten reduseres på grunn av uhell eller andre hindringer for trafikken.

Tabell 7: Nødvendig ventilasjonshastighet ved køkjøring og ved stagnasjon av trafikken i tunnelen. Enhet: m/s.

Alternativ/kjørehastighet	10 km/t	Tomgang	20 km/t
Christies gt./Bontelabo	2,9	1,5	1,7
Alle Helgens gt./Bontelabo	2,0	1,2	1,2
Christies gt./Sandbru gt.	2,9	1,5	1,7
Fløyfjellstun. traf. mot Sandviken	7,2	3,3	4,8
Fløyfjellstun. traf. mot Nygårdstangen	3,2	3,3	2,0

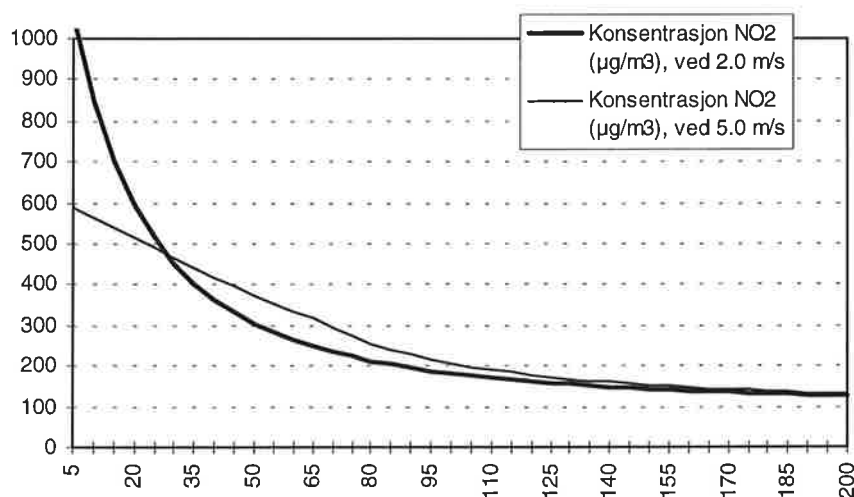
En lavere dieselandel vil gi mindre utslipp av NO_x, men større utslipp av CO. Tabell 6 viser at det er liten forskjell i NO_x-utslipp med ulik hastighet. Forskjellen er større for CO-utslipp. Lavere hastighet gir mindre NO_x-utslipp og større CO-utslipp. Vanligvis vil det være NO_x-utslippene som avgjør nødvendige luftstrøms-hastigheter for å overholde grenseverdier for luftkvalitet i tunneler.

Ved dårlig trafikkavvikling eller sammenhengende kø i tunnelen, vil det være CO-utslippene som er avgjørende for nødvendig utlufting. Ved uhell i tunnelen kan det hende at mange biler blir stående på tomgang i tunnelen. Anbefalt viftekapasitet er beregnet på grunnlag av grenseverdier i tunnelen og når kjørehastigheten er liten (10 km/time og 20 km/time) og dersom den ene kjørefilen i tunnelen er full av biler som går på tomgang.

Ved normale kjørehastigheter vil konsentrasjonene i tunnelene være lave sett i forhold til grenseverdiene som gjelder for tunneler.

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

Med toveiskjørt tunnel vil det imidlertid være vanskelig å styre luftstrømmen med så lav ventilasjonshastighet som 1,0 m/s. Dersom ventilasjonshastigheten økes til 2,0 m/s vil dette problemet unngås og munningskonsentrasjonen halveres. Økes ventilasjonshastigheten til 3,0 m/s vil det skapes en jetstrøm ut fra tunnelmunningen, og dette vil føre til forhøyede konsentrasjoner lenger ut fra tunnelmunningen enn hva som ville blitt tilfelle uten jettfase. I Figur 6 er vist forureningskonsentrasjonen som funksjon av avstand fra tunnelmunning for ventilasjonshastigheter 2,0 m/s og 5,0 m/s



Figur 6: Forureningskonsentrasjon som funksjon av avstand (Christies gt.-Bontelabo.) fra tunnelmunning for ventilasjonshastigheter 2,0 m/s og 5,0 m/s. Bakgrunnsbelastning (se kap. 7) er tatt med i beregningene.

7 Resultater fra spredningsberegningene

7.1 Resultatet av beregninger for Skansentunnelen

NO₂- og CO-konsentrasjoner i ventilasjonsluften i munningene er beregnet for prosjekterte trafikkmengder og hastigheter i begge kjøreretninger. Tabell 8 viser resultatet av beregningene. Det er tatt utgangspunkt i kjørehastighet 36 km/h, men beregninger er også utført for 50 km/h for å vise variasjon i munningskonsentrasjoner.

Det er viktig å merke seg at beregningene er utført med 8 % tungtrafikkandel. Dersom tungtrafikkandelen 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 10 %. Bakgrunnskonsentrasjoner som skyldes andre kilder utenfor tunnelmunningen må adderes til de beregnede verdiene. Estimerte bakgrunnsverdier er vist Tabell 3.

Det er også regnet med et bakgrunnsnivå av ozon på $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Ozon reagerer med nitrogenmonoksid og danner oksygen og nitrogendioksid etter ligningen:



Vi kan derfor legge til et totalt bakgrunnsnivå på $96 \mu\text{g NO}_2/\text{m}^3$ når beregnete konsentrasjoner sammenlignes med anbefalte luftkvalitetskriterier og grenseverdier.

Tabell 8: Maksimale munningskonsentrasjoner ved kjørehastighet 36 km/time og 50 km/time. Ventilasjonshastighet: 2 m/s. I tunnelalternativet Fløyfjellstunnelen/Bontelabo vil forurensningsutslippene skje gjennom eksisterende sjakter. Verdiene er derfor merket med parenteser.

Alt./munning	Kjørehastighet (km/h)	Munningskonsentrasjon		
		CO (mg/m ³)	NO ₂ (µg/m ³)	PM ₁₀ * (µg/m ³)
Christies gt/ Bontelabo	36 50	126,9 82,9	1358 1397	42,5 42,5
Allehelgens gt./ Bontelabo	36 50	82,2 57,4	991 891	31,8 31,8
(Fløyfjellstunnelen)/ (Bontelabo)	(42) (50)	(60,1) (58,5)	(773) (809)	(30,3) (30,3)
Christies gt Sandbrugt.	36 50	126,9 82,9	1388 1368	41,6 41,6

* PM₁₀ –konsentrasjonene er beregnet på grunnlag av målinger ved Vålerengatunnelen.

De målte konsentrasjonene er skalert ved hjelp av trafikkarbeidet og på grunn av redusert bruk av piggdekk.

Ventilasjonsluften fra tunnelmunningene transporteres med vinden og forurensningskonsentrasjonene reduseres som følge av spredning og blanding med luften utenfor tunnelen. Konsentrasjonsreduksjonene som funksjon av avstanden er estimert ved hjelp av spredningsberegninger. Tabell 9 viser nødvendig spredningsavstand fra tunnelmunningene for at forurensningskonsentrasjonene er redusert til gitte nivåer. For hver enkelt time kan de beregnede konsentrasjonene forekomme i vindretninger fra tunnelen.

Figurene 7, 8 og 9 viser soner omkring hver av tunnelmunningene hvor oppgitte konsentrasjoner av CO og NO₂ kan forekomme. På grunnlag av vindmålinger om dagen på Florida i Bergen er frekvensen av svak vind fra tunnelmunningene oppgitt.

Tabell 3 viser at estimerte NO₂ –konsentrasjoner i Bergens indre sone som helhet i år 2005 er høyere enn SFTs anbefalte luftkvalitetskriterier (se Tabell 2 og Tabell 5). Hovedsakelig på grunn av den generelle forurensingen i Bergen vil en også finne overskridelser av SFT-kriteriene.

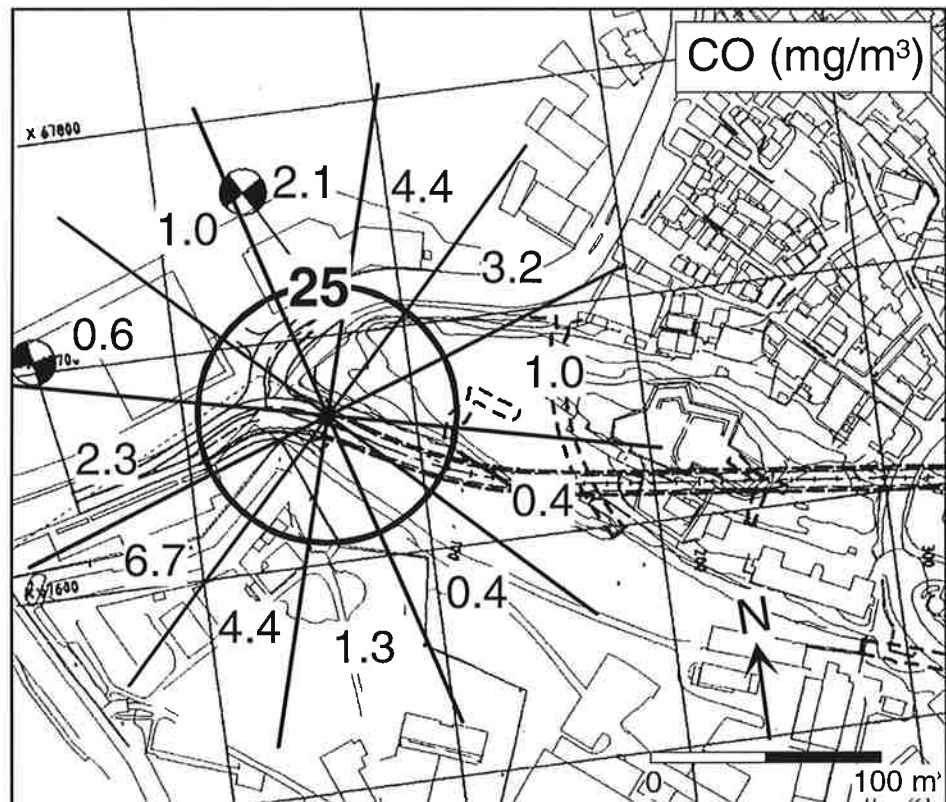
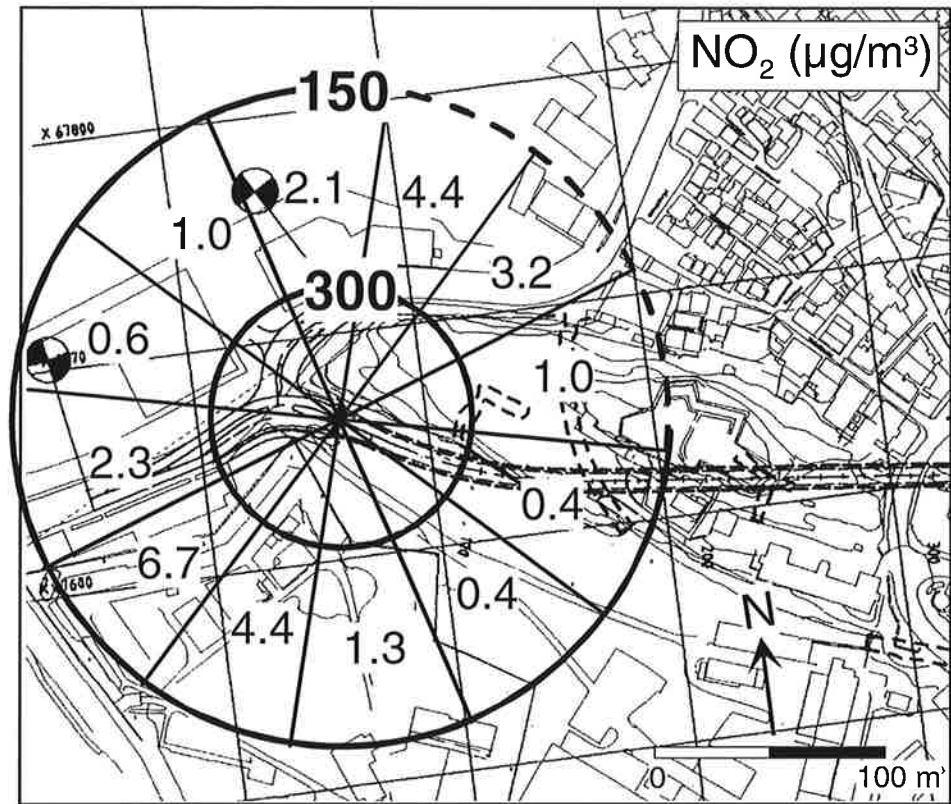
I en trafikkert gate som er skjermet av bygninger forekommer høye konsentrasjoner hyppigere enn i de enkelte vindsektorene ved tunnelmunninger.

Tabell 9 a: Nødvendig spredningsavstand fra tunnelmunninger for at konsentrasjoner som følge av CO-, NO₂- og PM₁₀-utslipp er redusert til gitte nivåer. Nivåene er angitt i parentes for hver komponent. Enhet: m.

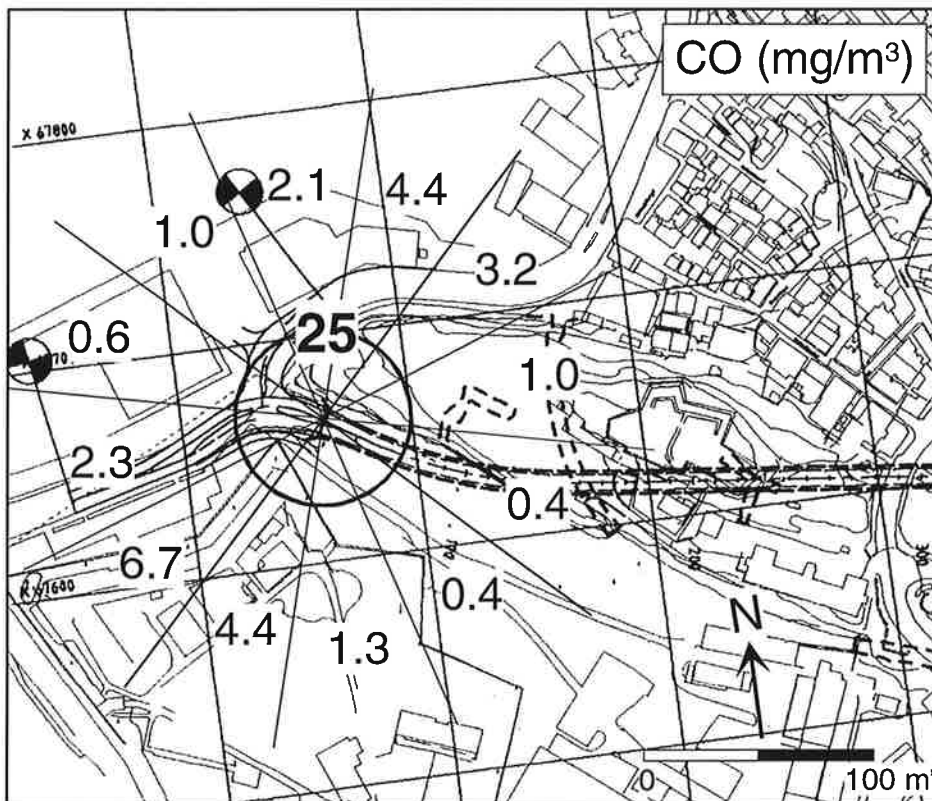
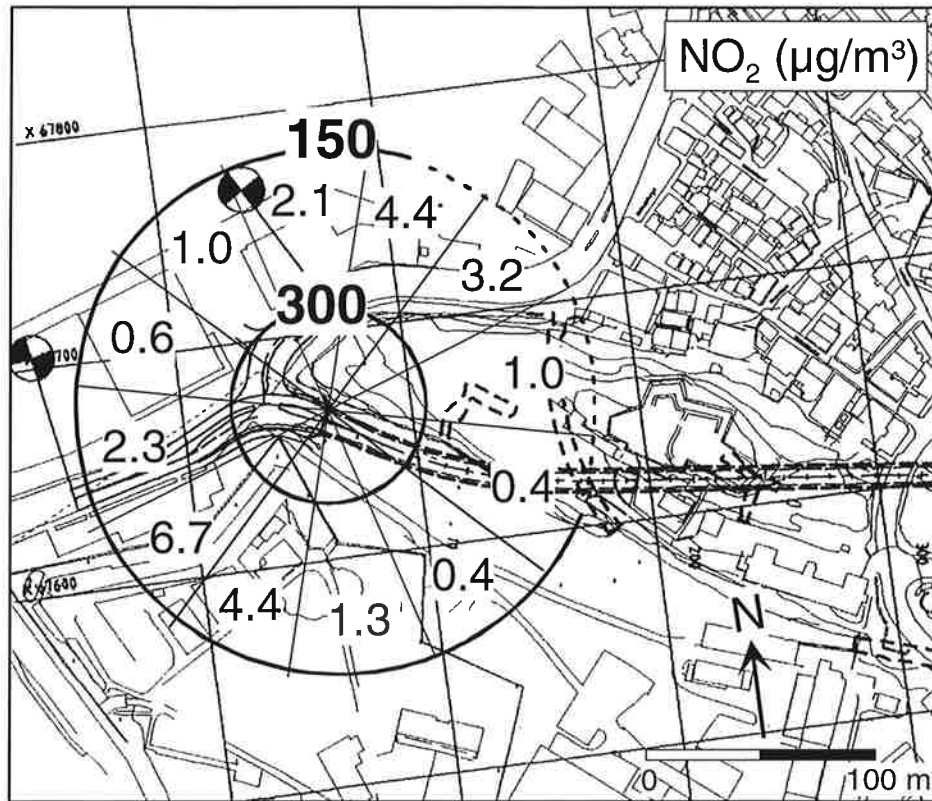
Tunnelmunning	Kjørehastighet km/t	Nødvendig spredningsavstand (m) fra tunnelmunninger for at konsentrasjoner av CO, NO ₂ og PM ₁₀ er redusert til gitte nivåer.							
		Ventilasjons hastighet: 2 m/s							
		CO - 1 time verdi		NO ₂ - 1 time verdi				PM ₁₀ - 24 timer verdi	
		(25 mg/m ³)	(10 mg/m ³)	(300 µg/m ³)	(200 µg/m ³)	(100 µg/m ³)	(50 µg/m ³)	(30 µg/m ³)	(10 µg/m ³)
Christies gt- Bontelabo	36	43	88	39	56	96	148	7	36
	50	28	64	38	55	92	145		
Allehelgens gt- Bontelabo	36	29	68	28	42	73	118	1	27
	50	18	48	25	38	68	110		
Christies gt- Sandbrugt.	36	44	89	39	56	93	147	7	36
	50	28	64	38	55	92	146		
Bakgrunnsverdi 2005 ytre sone		3 mg CO/m ³		96 µg NO ₂ /m ³				50 µg PM ₁₀ /m ³	

Tabell 9 b: Spredningsavstand fra tunnelmunningen for at NO₂-konsentrasjonene ved Bontelabo skal være under oppgitte grenseverdier. Det er tatt hensyn til bakgrunnsverdiene i 2005. Kjørehastighet i 36 km/time. Enhet: m.

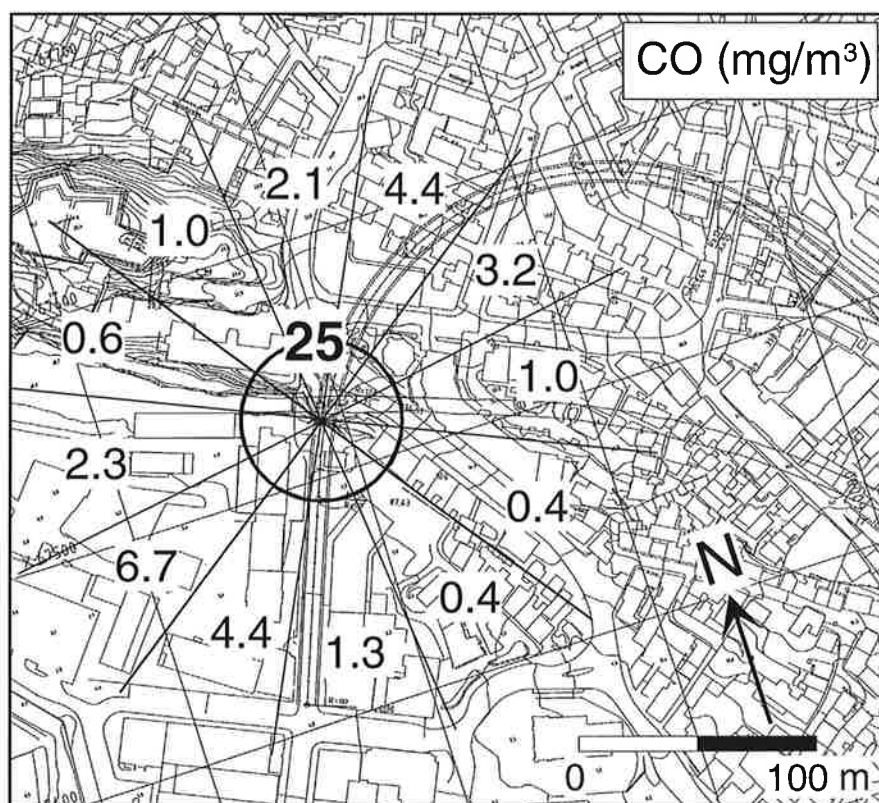
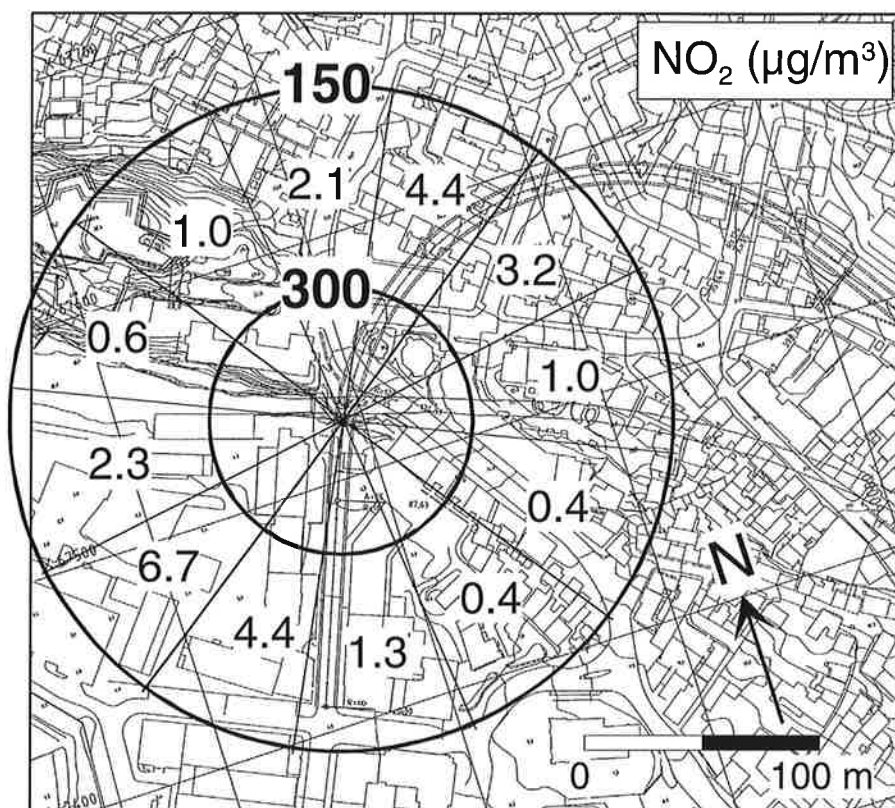
	300 µg/NO ₂ /m ³	150 µg NO ₂ /m ³
Christies gt-Bontelabo	55	144
Allehelgensgt.-Bontelabo	41	114
Christies gt.-Sandbrugt.	55	143



Figur 7: Tunnelalternativ Christies gt.-Bontelabo. Maksimale forurensnings-konsentrasjoner ved munningene. Frekvensen av svak vind (hast. ≤ 2 m/s) i de enkelte 30° sektorene er angitt i prosent.



Figur 8: Tunnelalternativ Allehelgensgate-Bontelabo. Maksimale forurensnings konsentrasjoner ved munningene. Frekvensen av svak vind (hast. ≤ 2 m/s) i de enkelte 30° sektorene er angitt i prosent.



Figur 9: Tunnelalternativ Christiesgate-Sandbrugt. Maksimale forurensnings-konsentrasjoner ved munningene. Frekvensen av svak vind (hast. ≤ 2 m/s) i de enkelte 30° sektorene er angitt i prosent.

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 9.

Tett ved tunnelmunningene (avstanden er mindre enn ca. 50 m) kan det forekomme overskridelser av forurensningslovens grenseverdier (se Tabell 2). Når det ligger boliger eller lignende institusjoner i denne nærheten må en regne med å gjennomføre tiltak for å redusere forurensningene.

Når avstanden fra tunnelmunningene er større enn 100-150 m vil NO_2 -konsentrasjonen ($50+96$) $\mu\text{g NO}_2/\text{m}^3=146 \mu\text{g NO}_2/\text{m}^3$ tilfredsstille den nasjonale målsetning i år 2005 ($150 \mu\text{g NO}_2/\text{m}^3$). I beregningsområdet vil det være mange trafikkerte gater der forurensningskonsentrasjonene kan være høyere (se Asplan/Viak-rapporten).

Estimerte 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 tilsvarer en døgnmiddelkonsentrasjon på $275 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Vålerengatunnelen har en lengde på 850 m og en ÅDT 15000 i et løp i måleperioden. Munningskonsentrasjonene i tunnelene er skalert i forhold til trafikkarbeidet (trafikkarbeid = tunnellengde · ÅDT). Maksimale døgnmidlere munningskonsentrasjoner er vist i Tabell 8.

Forurenset tunnelluft spres i omgivelsene, og det er nødvendig at det blåser fra munningene for at et bestemt område skal utsettes for forurenset tunnelluft. Munningskonsentrasjonene er videre skalert ned som følge av redusert bruk av piggdekk i år 2005. Verdiene i Tabell 9 viser at luftforurensninger av partikler ved tunnelmunningen får liten betydning når bilene kjører uten piggdekk.

7.2 Fløyfjellstilknytning

Data for trafikkintensiteten i Bergen (Asplan Viak) viser at for dette alternativet er trafikken i Fløyfjellstunnelen anslått til 32 400 kjøretøyer pr. døgn som ÅDT. I tillegg kommer utslippet fra 9 500 biler mellom Bontelabo og Kalfaret ved Nygårdstangen. Tilknytningen til vestre og østre tube er planlagt ca. 1 500 meter fra Kalfaret. I tillegg til utslippet fra Skansentunnelen, må en regne med økt utslipp i Fløyfjellstunnelen. Data for trafikk og utslipp er vist i Tabell 10.

Tabell 10: Data for trafikk og utslipp i Fløyfjellstunnelen og i tunnelgrenen mot Bontelabo.

Tunnelgren	N ^{*1)} biler/time	Hastighet km/time	CO g/s	NO _x g/s	P ^{*2)} m/s
Fløyfjellet østre løp	2010	70	15,69	5,50	6,7
Sentrum-Bontelabo tillegg	610	70	2,15	0,46	-
Samlet verdi ved Sandviken	2160	70	17,84	5,96	6,7
Fløyfjellet, vestre løp	1140	70	6,59	1,53	5,0
Bontelabo-sentrum tillegg	350	70	1,06	0,19	-
Samlet verdi ved Kalfaret	1490	70	7,65	1,72	5,0
Tunnel til Bontelabo	960	42	5,90	0,80	
		50	5,07	0,78	

*1) Maksimal trafikkintensitet om ettermiddagen.

*2) Trafikkens pumpevirking i enveiskjørtede tunneler.

Munningskonsentrasjonene som følge av samlet utslipp og ventilasjon som følge av bilenes pumpevirkning i Fløyfjellstunnelen er vist i Tabell 11.

Tabell 11: Maksimalkonsentrasjoner i Fløyfjellstunnelen kombinert med avlastningstunnelen som følge av samlet utslipp og ventilasjon på grunn av bilenes pumpevirkning. Konsentrasjonene tilfredsstiller kravet om forurensninger i tunnelluft.

	CO mg/m ³	NO _x µg/m ³	NO ₂ µg/m ³
Sandviken	70	18 200	1 820
Sentrum	53	12 500	1 250

Forurensninger fra trafikken til og fra Bontelabo kan slippes ut i tunnellopet mot Kalfaret eller mot Sandviken. Munningskonsentrasjonene beregnet på grunnlag av utslipp og lufthastighet i tunnelene er vist i Tabell 11. Utslipet vil skje gjennom sjaktene ved Fløyfjellet og ved Sandviken.

8 Effekter av trafikkbelastningen på Mariakirken og andre historiske bygninger

8.1 Trafikkrelaterte belastningsfaktorer

Sur forurensning i form av SO₂ og sur nedbør er viktige forurensningsparametere for stein. Andre sure forurensninger som HNO₃ og den totale fuktbelastningen er andre viktige parametere.

I dagens forurensningsbilde er det lite SO₂ igjen i norske byer. Den SO₂ som gjenstår er nærmere 50% relatert til dieseltrafikk. SO₂ adsorberes til stein og vil sammen med kondens og annen fukt danne en sur aggressiv film på overflaten.

I de senere år har det vært betydelig økt interesse for salpetersyre (HNO₃) dannet som en sekundær forurensning fra biltrafikk. Hvor mye HNO₃ som dannes fra NO₂, spesielt i nærvær av ozon, er lite undersøkt. Noen målinger indikerer at konsentrasjonen kan bli over 1 µg HNO₃/m³.

Fukt er viktig for alle nedbrytningsreaksjonene og enhver prosess som øker fukttilgangen til steinoverflaten vil øke nedbrytningen. Ved regn beskytter tak fukt på vegg. Trafikk vil danne en sky av små og store dråper langs veien, avsetning av vannråper og støv vil derfor øke i nærområdet til en vei under regnværperioder. Hvis salting av vei blir benyttet om vinteren, vil det øke fuktbelastningen ytterligere. Salt er hygroskopisk og vil holde veibanen og omgivelsen våt over lengre perioder.

8.2 Risikoområde ved Mariakirken

Økt trafikk rundt Mariakirken vil medføre en økt risiko for nedbrytning av klebersteinen som kirken er bygd av. Asplan Viak har utført beregning av forurensningsnivået rundt kirken før og etter en trafikkreguleringene. Virkningen

fra trafikk i Sandbrugaten er sannsynligvis marginal. Hvis trafikken inn til området ledes via Øvre Dreggs alm. og Øvregt. vil Mariakirken være en del av trafikkvernsnittet. En viss økt belastning fra SO₂ vil være mulig. Mye tyder imidlertid på at økt fuktbelastning som skyldes støv, salter og aerosolpartikler vil være av større betydning for den lokale nedbrytningen. Denne belastningen er lokalisert til det nære området rundt veien, men siden ikke noe skjærer kirken fra trafikken i Øvre Dreggs alm. og Øvregt. vil økt trafikk gi økt nedbrytningsrisiko.

Hvor stor risikoen blir er vanskeligere å anslå. Virkningen av en forandring i SO₂ kan til en viss grad anslås. Effekten av økt fukt er vanskeligere å beregne, da avsetningsforholdene er så lokalt betinget. Feltnmålinger vil kunne øke kunnskapen om disse parametrene.

9 Tiltak for å redusere forurensningsbelastning

9.1 Valg av ventilasjonsretning

Den totale forurensningsbelastningen blir mindre når byttunnel-alternativene ventileres mot Bontelabo.

Forurensede soner ved utslipp fra alternative tunnelmunninger er vist i figurene 6-8.

Krav til viftekapasitet av hensyn til luftkvaliteten i tunnelen er små. Bebyggelsen omkring tunnelmunningene varierer betydelig. Ved Bontelabo ser det ut til at meget få bygninger blir utsatt for ekstra forurensningsbelastning. Siden området er åpent ved sjøen er det sannsynlig at spredningen er bedre i dette området enn i de andre utslippsområdene hvor spredningen blir redusert på grunn av nærliggende bygninger. Forurensningskonsentrasjonene er mindre ved Bontelabo enn ved de andre utslippsområdene både på grunn av mindre lokale utslipp og på grunn av lavere bakgrunnskonsentrasjoner.

9.2 Rensing av tunnelluften

Store mengder ventilasjonsluft fra tunnelene må renses dersom tiltaket skal være effektivt. Dette fører til kostbare renseanlegg både i anskaffelse og drift.

Når det gjelder forurensning av partikler og NO₂ foreligger det imidlertid positive erfaringer med renseanlegg.

Bare NO₂ andelen av NO_x-utslippet i tunnelene fører til overskridelser av luftkvalitetskriteriene ved tunnelmunningene i Bergen. Det foreligger positiv erfaring med bruk av NO₂-renseanlegg i Oslo-tunnelen (ref. samarbeid mellom Vegdirektoratet og O. Bøckmann ABB-miljø). Av hensyn til driften av anlegget må ventilasjonsluften først renses for støv.

9.3 Utslipp av ventilasjonsluft fra tunnelen gjennom vertikale sjakter

Utslipp fra aksialventilerte tunneler fører til de høyeste forurensningene ved tunnelmunningene. I en avstand 50-150 m fra tunnelmunningene vil luftforurensningen være redusert til 1/10 på grunn av blanding med luften utenfor. Denne sonen vil skjermes mot forurensning når utslippet skjer i en sjakt. Forurensningene fra sjakten avtar med økende sjakthøyde og utslippshastighet.

For å dokumentere effekten av dette tiltaket og for å kontrollere beregningsmetodene utførte NILU spredningsforsøk for Hordaland Vegkontor. Sporstoff ble sluppet i sjakt nr. 9 fra Løvestakk-tunnelen, og utbredelsen av sporstoffet ble registrert. Resultatet er vist i Vedlegg A.

Sjakten fra Løvestakk-tunnelen er 4 m høy, og fortynningen ved bakken blir bedre jo høyere sjakten er. Beregningsresultater og andre registreringer viser at sjakten bør ha minst samme høyde som bygningene i nabolaget.

Utslippene fra Fløyfjellstunnelen skjer gjennom to sjakter plassert i Fløyfjellet og Sandviksfjellet. Når avlastningstunnelen kombineres med Fløyfjellstunnelen, vil det samlede utslippet skje gjennom sjaktene i forurensningsepisodene. Ventilasjonsluften vil trekkes inn gjennom tunnelmunningene (se Figur 3).

9.4 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. Dette innebærer antagelig at i underkant av 65 % av bensindrevne biler antagelig vil ha katalysator i 2000. I år 2005 vil det likevel være få bensindreven biler som kjører uten katalysator. Metoden for beregning av fremtidige utslipp er dokumentert (Torp et al., 1994). Internasjonalt aksepterte metoder er benyttet for å beregne endring i utslipp på grunn av aldring og manglende vedlikehold.

Avgasskrav til dieseldrevne lastebiler fra 1994 vil etter hvert redusere NO_x- (og NO₂)-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.

Når motoren er kald virker katalysatorene dårlig, og når det gjelder trafikken i tunnelen, er det regnet med en kaldstartandel på 43%. Utslippene av PM₁₀ fra tunnelen i år 2005 er redusert betydelig fordi det er rimelig å anta at de fleste bilene kjører uten pigger.

Effekten av ytterligere tiltak vurderes for å bedre luftkvaliteten i norske byer i samsvar med SFTs luftkvalitetskriterier og den nasjonale målsetning. Tiltakene kan være:

- Trafikksanering
- Strengere krav til eksosutslipp

- Reduksjon i utslipp som følge av vedfyring
- Utbygging av kollektivtrafikken og reduksjon av trafikkarbeidet.

Effekten av ytterligere tiltak og av generell trafikkøkning i Bergen er ikke vurdert i denne rapporten.

10 Referanser

- Bartonova, A., Clench-Aas, J., Gram, F., Guerreiro, C., Larssen, S., Tønnesen, D. og Walker S.-E. (1998) Miljøundersøkelsene hovedveiomlegging Oslo Øst. Beregning av eksponering for luftforurensning knyttet til intervjuundersøkelsen. Kjeller (NILU OR 6/98).
- Glomsrød, S., Godal, O., Henriksen, J.F., Haagenrud, S.E. og Skancke, T. (1996) Luftforurensninger – effekter og verdier (LEVE). Materialkostnader på bygninger og biler i Norge. Oslo (SFT-rapport nr. 96:07).
- Gotaas, Y. (1981) Spredning av sporstoff fra vegtunneler i Bergen. Lillestrøm (NILU OR 37/81).
- Henriksen, J.F., Haagenrud, S.E. og Anda, O. (1983) Forvitring av stein og mulig effekt av luftforurensninger. Lillestrøm (NILU OR 40/83).
- Iversen, T. (1982) Forenklet metode for spredningsberegninger ved vegtunneler. Lillestrøm (NILU OR 27/82).
- Kolbenstvedt, M. (1998) Miljøkonsekvenser av hovedvegomlegging Oslo Øst. Oppsummering av studier 1987-1996. Oslo (TØI rapport 405/1998).
- Kucera, V., Tidblad, J., Henriksen, J., Kreislova, K., Ashall, G. and Stöckle, B. (1996) Dose-response relations from the UN/ECE project as a tool for air pollution abatement strategies. 13th International Corrosion Conference, Sidney, Australia.
- 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 Lysakerløkka. Lillestrøm (NILU OR 14/88).
- Vegdirektoratet (1988) Vegdirektoratets anbefalinger for tunnelluft. Oslo.

Statens forurensningstilsyn (19918) Veiledning til forskrift om grenseverdier for lokal luftforurensning og støy. Oslo (SFT-rapport nr. 98:03).

Slørdal, L.H. og Tønnesen, D. (1998). Partikkelforurensning i Bergen. En tiltaksanalyse for PM_{10} fram mot år 2010. Kjeller (NILU-notat DAT/KAa/O-98096, 3/7-98).

Vedlegg A

Spredning av utslipp i ventilasjonssjakt fra Løvstakktunnelen

Spredning av utslipp i ventilasjonssjakt fra Løvestakktunnelen

A.1 Innledning

For å belyse spredning av utslipp gjennom en ventilasjonssjakt beskrives resultatet av sporstoffundersøkelser ved sjakt 9 fra Løvestakktunnelen. Undersøkelsene ble utført etter oppdrag fra Hordaland Vegkontor i 1981 (Gotass, 1981).

A.2 Beskrivelse av sporstoff, prøvetaking og utslipp i sjakt 9, Løvestakktunnelen

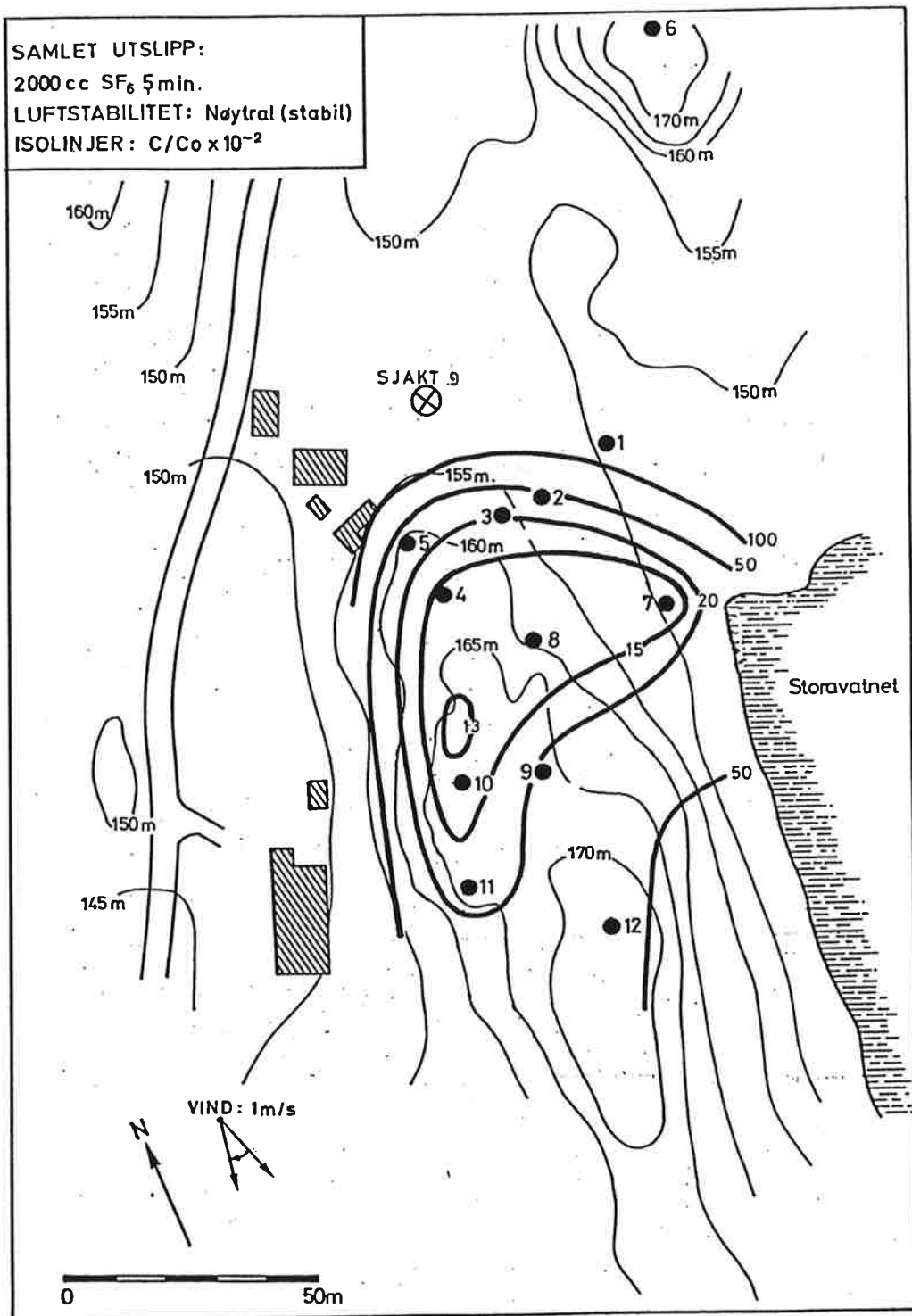
Som sporstoff ble brukt svovelheksafluorid (SF_6). Dette er en luktfri, ufarlig og inert gass som er detekterbar i meget lave konsentrasjoner, i praksis ned til 10^{-11} . Usikkerheten er anslått til $\pm 5\%$. Prøvetakingen foregår ved at luft suges inn i sprøyter. Innsugingen av luft skjer automatisk gjennom 15 minutter. Starttiden er programmert. Analysen skjer ved hjelp av gasskromatograf.

Spredning av forurensninger ved lufting gjennom sjakt ble simulert ved å slippe sporstoff i nedre åpning i sjakt 9, mens viften var igang for full utlufting. Utslipet var gjennom en 4 m høy skorstein med indre tverrsnitt på 22 m^2 . Figur A1 viser terrenget og plassering av prøvetakerne. Spredningen er vist ved isolinjer av fortyningen (konsentrasjon i utslipp/målt konsentrasjon).

A.3 Resultatet av sporstoff-forsøket

Figur A.1 viser fortyningen av utslippet. Minimum fortykning, $F = 13$, inntraff i avstand 70 m. De rådende værforhold må en anta ga relativt høye bakkekonsentrasjoner, slik at $F = 13$ kan være representativ for minimum fortykning under ugunstige forhold ved denne sjakta.

Måleserien (vedlegg B) viser en maksimal øyeblikkskonsentrasjon tilsvarende en øyeblikksfortyning $F = 7$, mens den midlere (15 min) fortykning var $F = 15$. Serien tyder for øvrig på retningsendringer av plumaksen under forsøket.



Figur A.1: Resultatet av spredningsforsøket ved sjakt 9.

Vedlegg B

Generelt om luftforurensning fra trafikk

Generelt om luftforurensning fra trafikk

Oversikt

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.

Utslipet av NO_x og flyktige hydrokarboner (VOC) bidrar til forsurening og dannelse av troposfærisk ozon, som kan gi et bidrag til forekomsten av vegetasjonsskader. Utslipet 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-nedbryning	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, NO₂, PM_{2,5} og PM₁₀ (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 NO₂ er redusert fra 200 til 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Overskridelser av luftkvalitetskriterier for NO₂ og PM₁₀ 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 NO₂ og PM₁₀ har økt i omfang. Overskridelsene av luftkvalitetskriterier for NO₂ og PM₁₀ 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 mottakelighet 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 mottakelighet 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 times-middel). COHb% hos ikke-røykere økte lite i løpet av dagen. Ettermiddagsverdien overskred 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		
CO	mg/m ³	Helse	80	25	10			



Norsk institutt for luftforskning (NILU)

Postboks 100, N-2007 Kjeller

RAPPORTTYPE Oppdragsrapport	RAPPORT NR. OR 17/99	ISBN 82-425-1068-7 ISSN 0807-7207	
DATO 7. april 1999	ANSY. SIGN. <i>Knut Erik Grønskei</i>	ANT. SIDER 42	PRIS NOK 75,-
TITTEL Skansentunnelen, Bergen Vurdering av luftforurensning		PROSJEKTLEDER Knut Erik Grønskei	
		NILU PROSJEKT NR. O-96138	
FORFATTER(E) Knut Erik Grønskei, Ivar Haugsbakk og Jan F. Henriksen		TILGJENGELIGHET * A	
		OPPDRAAGSGIVERS REF.	
OPPDRAAGSGIVER Statens Vegvesen Hordaland Vegkontor Postboks 3645, Fyllingsdalen 5048 BERGEN	Bergen kommune Kommunalavdeling byutvikling Planavdeling Bergen Rådhus 5017 BERGEN		
STIKKORD Tunnel	Forurensning	Spredningsberegninger	
REFERAT Tunnel er planlagt bygget mellom Skuteviken og Bergen sentrum. Det er beregnet maksimale konsentrasjoner av CO og NO _x i 4 tunnelalternativer og det er beregnet minste tilstrekkelig ventilasjonshastighet i tunnelen for å overholde grenseverdier for luftkvalitet i tunnelen ved ugunstige trafikkforhold (rushtrafikk om kvelden). Konsentrasjonsreduksjon som funksjon av avstand fra utslippsområdet er vist og konsentrasjonene er sammenlignet med SFTs luftkvalitetskriterier. Tiltak for å redusere forurensningsbelastningen ved tunnelmunningene er vurdert.			
TITLE Air pollution from traffic in the Skansen tunnel.			
ABSTRACT			

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