

NILU : OR 47/95
REFERANSE : O-95061
DATO : OKTOBER 1995
ISBN : 82-425-0708-21

**Tunneler Møhlenpris-
Nygårdstangen**
Vurdering av luftforurensning

**Knut Erik Grønskei, Ivar Haugsbakk og
Frederick Gram**

Innhold

	Side
Sammendrag	3
1. Innledning	7
2. Metoder og forutsetninger	7
3. Tunnel- og trafikkdata	8
4. Anbefalte luftkvalitetskriterier og krav til tunnelluft	11
5. Målinger av forurensningskonsentrasjoner i Bergen	12
6. Utslipp	13
7. Resultater fra spredningsberegningene	14
7.1 Forurensning ved tunnelmunningene.....	14
7.2 Forurensning fra veisystemet utenfor tunnelmunningene.....	21
7.3 Totalbelastning ved tunnelmunningene	21
8. Rensing av tunnelluften	24
9. Framtidig utvikling	25
10. Referanser	25
Vedlegg A Problembeskrivelse	27
Vedlegg B Resultater av målinger i Bergen	35
Vedlegg C Trafikktall for veisystemet utenfor tunnelmunningene	43

Sammendrag

Norsk institutt for luftforskning (NILU) har på oppdrag fra Statens Vegvesen Hordaland utført beregninger av luftforurensning vedrørende planlagte tunneler i området Møhlenpris-Nygårdstangen i Bergen. Det er utført beregninger av forurensningsbelastningen i området nær munningene. Beregningene er utført for trafikksituasjoner i rushtiden, med trafikkflyt i begge retninger.

Videre er krav til ventilasjon og behov for utlufting og tilførsel av ventilasjonsluft beregnet for de samme trafikksituasjoner. Forurensningsbelastningen (maksimal forurensningsgrad) ved tunnelmunningene er beregnet for karbonmonoksid (CO), nitrogendioksid (NO₂) og svevestøvkonsentrasjoner (PM₁₀). Oppvirvling av veistøv (som gir svevestøv, PM₁₀ i luft) og utslipp av nitrogenoksider i bileksosen gir de høyeste forurensningskonsentrasjoner i forhold til anbefalte luftkvalitetskriterier. Anbefalte luftkvalitetskriterier for uteluft og grenseverdier for tunnelluft er vist i tabell 1.

Tabell 1: Forslag til luftkvalitetskriterier utenfor tunnelene (uteluft) og i tunnelene (tunnelluft).

Uteluft (SFT, 1992)	CO	1 time 8 timer:	25 mg/m ³ 10 mg/m ³
	NO ₂	1 time 24 timer	100 µg/m ³ 75 µg/m ³
	PM ₁₀	24 timer	70 µg/m ³
Tunnelluft (Vegdirektoratet, 1988)	CO	Maksverdi	250 mg/m ³
	NO _x	Maksverdi	28,2 mg/m ³
	NO ₂	Maksverdi	2,8 mg/m ³

I beregningene er det benyttet de samme metoder som er benyttet ved tilsvarende tunneler i andre byer. Beregningsmetodene er basert på teori og målinger (Iversen, 1982; Larssen og Iversen, 1984; Larssen, 1987; Tønnesen, 1988).

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

1. Maksimal trafikkintensitet (antall og hastighet) (8-10% av ÅDT).
2. Tunneldata (lengde, tverrsnittsareal, stigning).
3. Tungtrafikkandel (10%).
4. Kaldstartandel (25%).

PM₁₀-konsentrasjonene er estimert hovedsakelig på grunnlag av målinger som er utført i og ved Vålerengatunnelen i Oslo (Larssen, 1990). Tunnelen er av samme størrelse som den planlagte tunnelen mellom Møhlenpris og Nygårdstangen i Bergen.

Forurensning ved tunnelmunningene

CO, NO₂ og PM₁₀ konsentrasjoner i ventilasjonsluften i munningene er beregnet for prosjekterte trafikkmengder og ulike hastigheter i begge kjøreretninger. Tabell 2 viser resultatet av beregningene for kjørehastighet 50 km/h, men beregninger er også utført for 40 og 60 km/h for å vise variasjonen i munningskonsentrasjonen. Det er ikke regnet med noen pumpevirkning som følge av trafikken i busstunnelen og tunnelavkjøringen til Prof. Hansteens gate ved Møhlenpris. Tabell 2 viser resultat av konsentrasjonsberegningene for tunnelmunningene ved maksimal trafikkintensitet om ettermiddagen.

Pumpevirkningen som følge av biltrafikken gjennom enveiskjørte tunneler gir tilstrekkelig ventilasjon av hovedtunnelene når kjørehastigheten er 50 km/time. Ventilasjonsvifter er nødvendige for å opprettholde ventilasjonen ved stagnerende trafikk.

Tabell 2: Maksimale munningskonsentrasjoner ved rushtidstrafikk (kjørehastighet 50 km/time).

Tunnel	Ventilasjons- hastighet (m/s)	Pumpe- virkning (m/s)	Munningskonsentrasjoner			
			CO (mg/m ³)	NO ₂ (µg/m ³)	PM ₁₀ (µg/m ³)	PM ₁₀ -rensing (µg/m ³)
Møhlenpris - 1 felt	0,5	0	9	213	243	-
Møhlenpris - 2 felt	4,6	4,6	21	601	319	128
Nygårdstangen	3,6	3,6	9	205	291	116
Busstunnel	0,5	0	2	432	~150*	-

* Ventilasjonsretningen i busstunnelene varierer med tiden.

CO- og NO₂-konsentrasjonen vil reduseres med økende avstand fra tunnelmunningene. Det er regnet at NO₂-andelen av NO_x i utslippet fra tunnelmunningene er 10%. I beregningene er det tatt hensyn til bakgrunnsnivå av luftforurensninger. Bakgrunnskonsentrasjonen representerer i dette tilfelle en maksimal konsentrasjon som skyldes andre kilder i og utenfor Bergen enn de aktuelle tunnelene og veiene som det er gjort beregninger for. Ved Møhlenpris/Nygårdstangen har vi regnet med et bakgrunnsnivå på 7 mg CO/m³, 39 µg NO₂/m³ og 100 µg PM₁₀/m³.

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



Vi har derfor lagt til et totalt bakgrunnsnivå på 99 µg NO₂/m³ (dette er inkludert i beregnede konsentrasjoner som sammenlignes med anbefalte luftkvalitetskriterium på 100 µg/m³).

Målinger i Bergen sentrum i vinterhalvåret 1994/95 viser timevise NO_2 -konsentrasjoner over $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ved svak vind og dårlige spredningsforhold.

På Møhlenpris vil $300 \mu\text{g NO}_2/\text{m}^3$ overskrides hovedsakelig ved tunnelmunningene og langs hovedveiene som vist i figur 4. $200 \mu\text{g NO}_2/\text{m}^3$ kan overskrides i et område med radius ca. 80 m.

På Nygårdstangen er området hvor en kan finne overskridelser mindre enn på Møhlenpris på grunn av trafikkintensitet og kjøreforhold. Tunnelen faller mot munningen, og NO_x -utslippet er vesentlig mindre i unnabakke enn i oppoverbakke.

PM_{10} -konsentrasjonene er som nevnt estimert på grunnlag av resultater fra målinger i Vålerenga-tunnelen i Oslo, kombinert med spredningsforholdene på Møhlenpris og Nygårdstangen.

Maksimalt døgnmidlere konsentrasjoner i tunnelmunningen er vist i tabell 2. Spredningsberegninger indikerer at ca. 70 m fra munningen vil tunnelbidraget til PM_{10} være like stort som bakgrunnskonsentrasjonene ($\sim 100 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Målinger i Bergen sentrum i vinterhalvåret 1994/95 viste overskridelser av forslag til luftkvalitetskriteriene for PM_{10} i trafikkerte gater (Nygårdsgaten) men ikke i sentrumsområdet som helhet ("Fengslet"). Bakgrunnskonsentrasjonene i beregningsområdet er sannsynligvis lavere enn $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Konsentrasjonsnivået vil bli klarlagt ved målinger.

Ved rensing av tunnelluften vil bakgrunnskonsentrasjonene få større betydning for totalbelastningen. Ved 60% rensing av tunnelluften vil bidraget fra tunnelen utgjøre mindre enn 35% av totalbelastningen i forurensningsepisoder når avstanden fra munningen er større enn 70 m.

Ved 40% rensing av tunnelluften vil bidraget fra tunnelen utgjøre mindre enn 40% av totalbelastningen når avstanden fra utslippsområdet er større enn 70 m. Gevinsten av rensing er større nærmere munningen.

PM_{10} -målinger som er utført i Bergen sentrum viser høye konsentrasjoner 3-10 dager på årsbasis. Ved "Den Nationale Scene" forekommer det PM_{10} -konsentrasjoner over $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Når trafikkerte veier forekommer maksimalverdier over $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Eksisterende forurensninger ved de planlagte tunnelmunningene på Møhlenpris bør klarlegges ved målinger dersom spesielle skadevirkninger skal vurderes.

Tunneler Møhlenpris-Nygårdstangen

Vurdering av luftforurensning

1. Innledning

Norsk institutt for luftforskning (NILU) har på oppdrag fra Statens Vegvesen Hordaland utført beregninger av luftforurensning vedrørende planlagte tunneler i området Møhlenpris-Nygårdstangen i Bergen. Det er utført beregninger av forurensningsbelastningen i området nær munningene. Beregningene er utført for trafikksituasjoner i rushtiden, med:

- ♦ Trafikkflyt i begge retninger,
- ♦ tre ulike kjørehastigheter.

Videre er krav til ventilasjon og behov for utlufting og tilførsel av ventilasjonsluft beregnet for de samme trafikksituasjoner. Forurensningsbelastning ved enkeltveier og ved veisystemet utenfor tunnelen er vurdert på grunnlag av maksimale CO, NO₂ og svevestøvkonsentrasjoner (PM₁₀). Forurensningsbelastningen ved tunnelmunningene er beregnet for karbonmonoksid (CO), nitrogendioksid (NO₂) og svevestøvkonsentrasjoner (PM₁₀). NO₂ i bileksosen gir de høyeste forurensningskonsentrasjoner i forhold til anbefalte luftkvalitetskriterier for timeverdier (NO₂ og CO) og døgnmiddelverdier (PM₁₀) i uteluft og grenseverdier for luftkvalitet i tunneler. Anbefalte luftkvalitetskriterier for uteluft og grenseverdier for tunnelluft er omtalt i kapittel 4.

2. Metoder og forutsetninger

I beregningene har vi benyttet de samme metoder som tidligere benyttet for tilsvarende tunneler (Larssen og Iversen, 1984; Larssen, 1987; Tønnesen, 1988).

For å kontrollere beregningsmetoden er det utført målinger blant annet ved tunneler i Bergen (Gotaas, 1981).

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 har vi 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). Konsentrasjoner ble beregnet for ulike ventilasjonshastigheter, for å illustrere ventilasjonshastighetens betydning for forholdene utenfor tunnelen.
4. Utslipp og beregningene av maksimalkonsentrasjonene ved åpne veier er utført ved hjelp av NILUs beregningsprosedyrer (VLUFT 3.0).

4. Utslipp og beregningene av maksimalkonsentrasjonene ved åpne veier er utført ved hjelp av NILUs beregningsprosedyrer (VLUFT 3.0).
5. Beregnete konsentrasjoner av CO og NO₂ fra munningene og veiene er sammenlignet med anbefalte retningslinjer for luftkvalitet for CO og NO₂, se kapittel 4.

Når det gjelder PM₁₀, finnes det i dag ikke program som beregner svevestøv-konsentrasjoner i tunneler. Vi har tatt utgangspunkt i svevestøvmålinger i og ved Vålerengatunnelen (850 m) i Oslo og årsdøgntrafikken der (15 000 ÅDT). Dette er kombinert med spredningsforholdene på Møhlenpris og Nygårdstangen, og beregningsresulater for CO og NO₂ til å gi beregnete PM₁₀-konsentrasjoner. Disse er så sammenlignet med anbefalte retningslinjer for luftkvalitet for PM₁₀. Det er regnet med at svevestøvkonsentrasjonene er proporsjonale med tunnallengder og trafikkbelastning (trafikkarbeidet).

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 gir at 65% av bilene i 2000 har katalysator. Det antas at bilsalget nødvendigvis må ta seg opp etter en tid, slik at tilnærmevis alle bensindrevne biler har katalysator innen år 2010. Katalysatorens betydning for NO₂-belastningen er mindre enn for CO-belastningen, 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 allerede i 1990. Først noen år etter innføringen vil dette ha en merkbar innvirkning på det totale NO_x-utslippet fra dieserbiler.

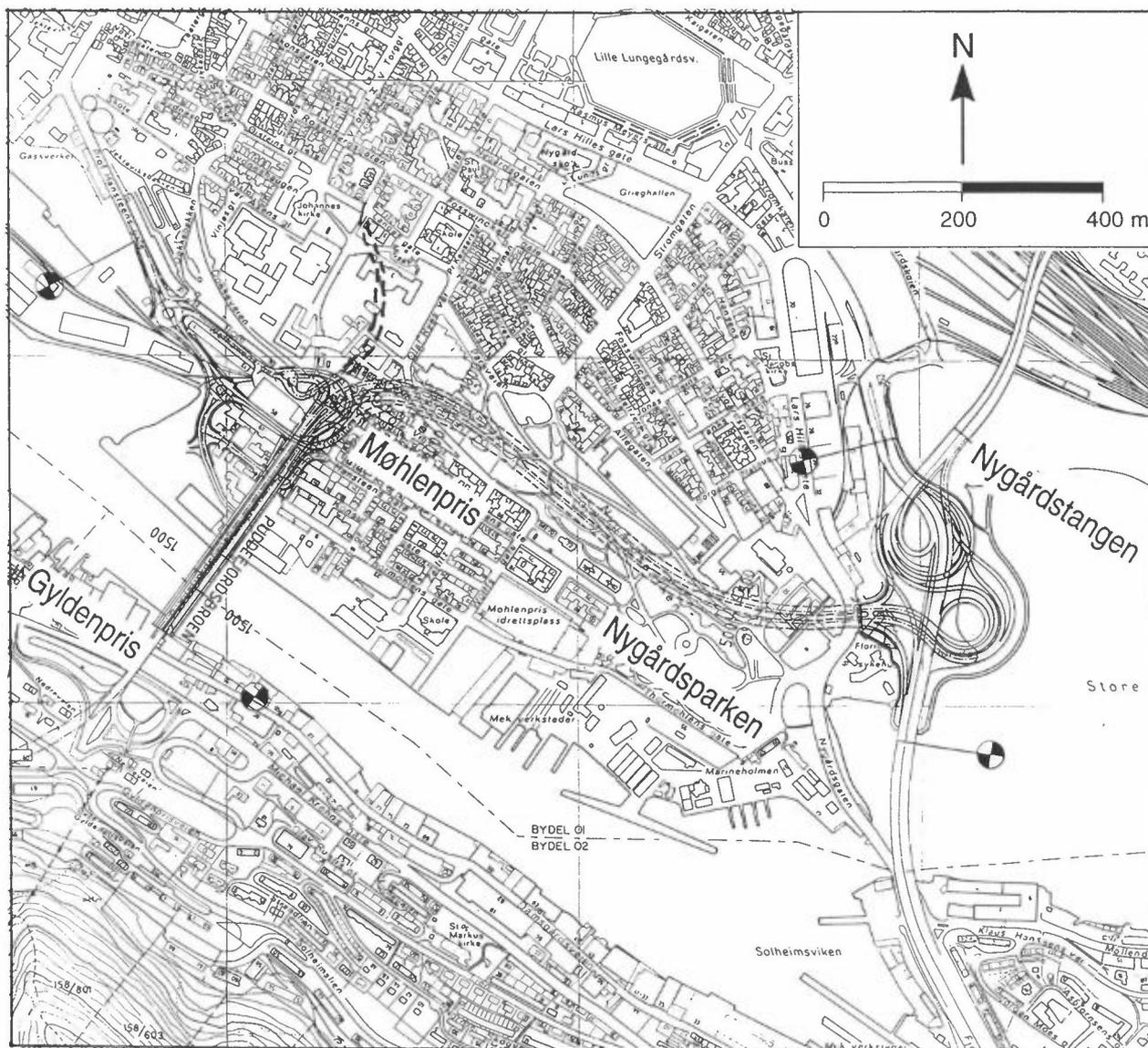
3. Tunnel- og trafikkdata

Statens Vegvesen Hordaland ønsker å utrede konsekvenser av bygging av tunneler i området Møhlenpris-Nygårdstangen.

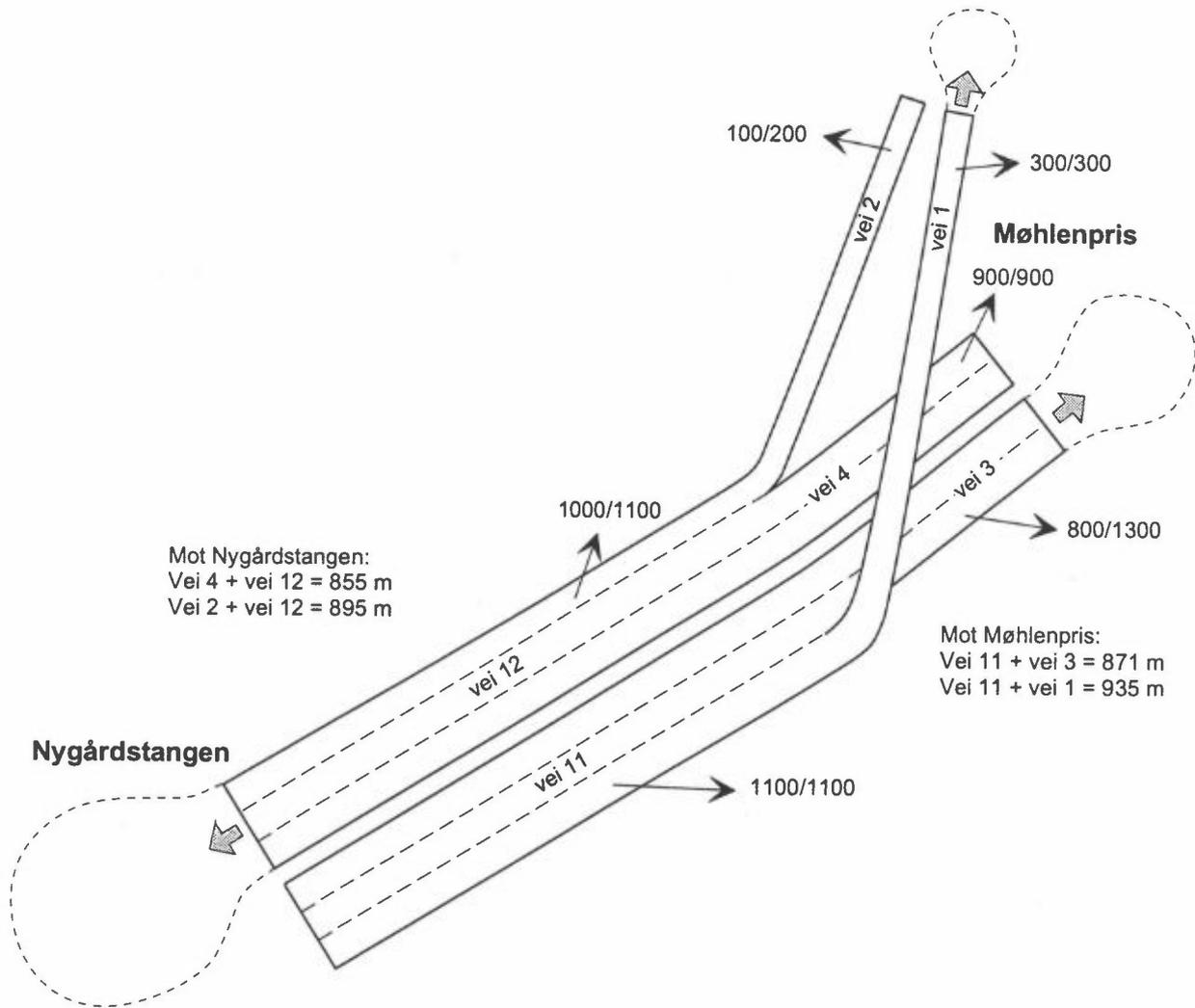
Det er planlagt separate enveiskjorte tunneler til/fra Møhlenpris/Nygårdstangen. Begge tunnelene har en munning på Nygårdstangen og to munninger på Møhlenpris. Begge tunnelene har tre kjørefelt og munn ut i en tunnel med ett kjørefelt og en tunnel med to kjørefelt på Møhlenpris. Tunnelen fra Møhlenpris mot Nygårdstangen er 855 m eller 895 m avhengig av valgt innkjøringstunnel. Tunnelen fra Nygårdstangen er 871 m eller 935 m avhengig av valgt utkjørings-tunnel. Figur 1 viser en skisse av tunnelene.

Det er også beregnet utslipp fra eksisterende buss- og taxitunnel fra Olav Kyrresgt. med tunnelmunning på Møhlenpris.

Nødvendig tallmateriale angående veigeometri, trafikkintensitet og tunnelkonstruksjon er levert av Statens Vegvesen Hordaland. De planlagte tunneler, samt området omkring, er vist i figur 2.



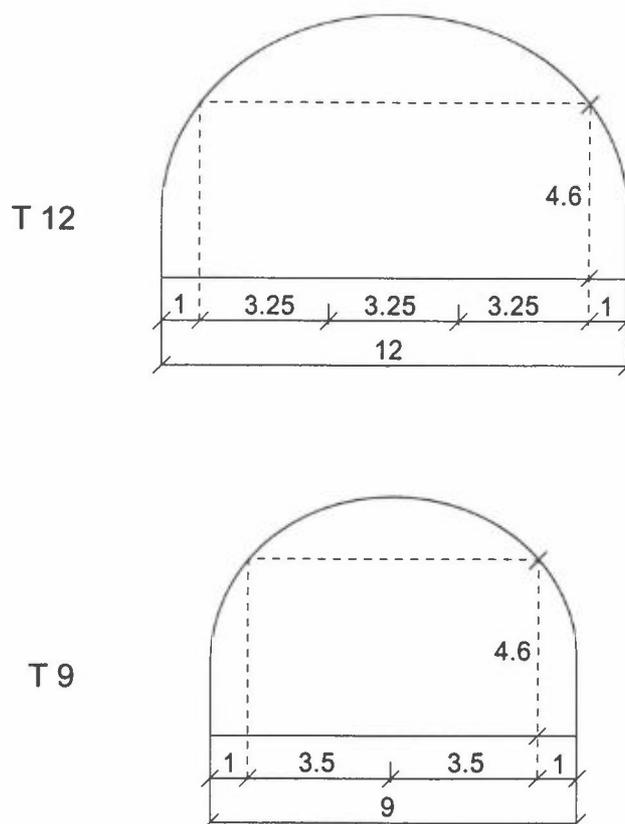
Figur 1: Kart over planlagte tunneltraséer for tunneler i området Møhlenpris-Nygårdstangen.



Figur 2: Skisse av planlagte 3-felts tunneler til/fra Møhlenpris/Nygårdstangen. Veinr. og maksimal trafikkbelastning morgen/ettermiddag som timemiddel er tegnet inn.

Trafikkprognose for 2005 i makstime morgenrush/ettermiddagsrush er beregnet til 1000/1100 mot Nygårdstangen og 1100/1600 mot Møhlenpris. Tungtrafikkandelen er anslått av Statens Vegvesen Hordaland til 10% av totaltrafikken. Vektfordelingen av tungtrafikken innbyrdes er av NILU anslått til 30% mindre enn 10 tonn, 30% mellom 10 og 20 tonn, og 40% større enn 20 tonn totalvekt. Se ellers vedlegg C angående trafikk tall utenfor tunnelmunningene.

Tunnelmunningene med tre kjørefelt vil få tunnelprofil T12 og tunnelmunningene med to kjørefelt vil få tunnelprofil T9 som vist i figur 3. Tunnelmunning mot Møhlenpris med ett kjørefelt vil få et munningsareal på 44,5 m², mens tunnelmunning fra Møhlenpris med ett kjørefelt vil få et munningsareal på 31 m².



Figur 3: Aktuelle tunnelprofiler Møhlenpris-Nygårdstangen

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
PM ₁₀	Døgnmiddelverdi	: 70 µg/m ³

Det henvises til SFTs rapport når det gjelder bakgrunnen for retningslinjene og SFTs vurderinger (SFT, 1992).

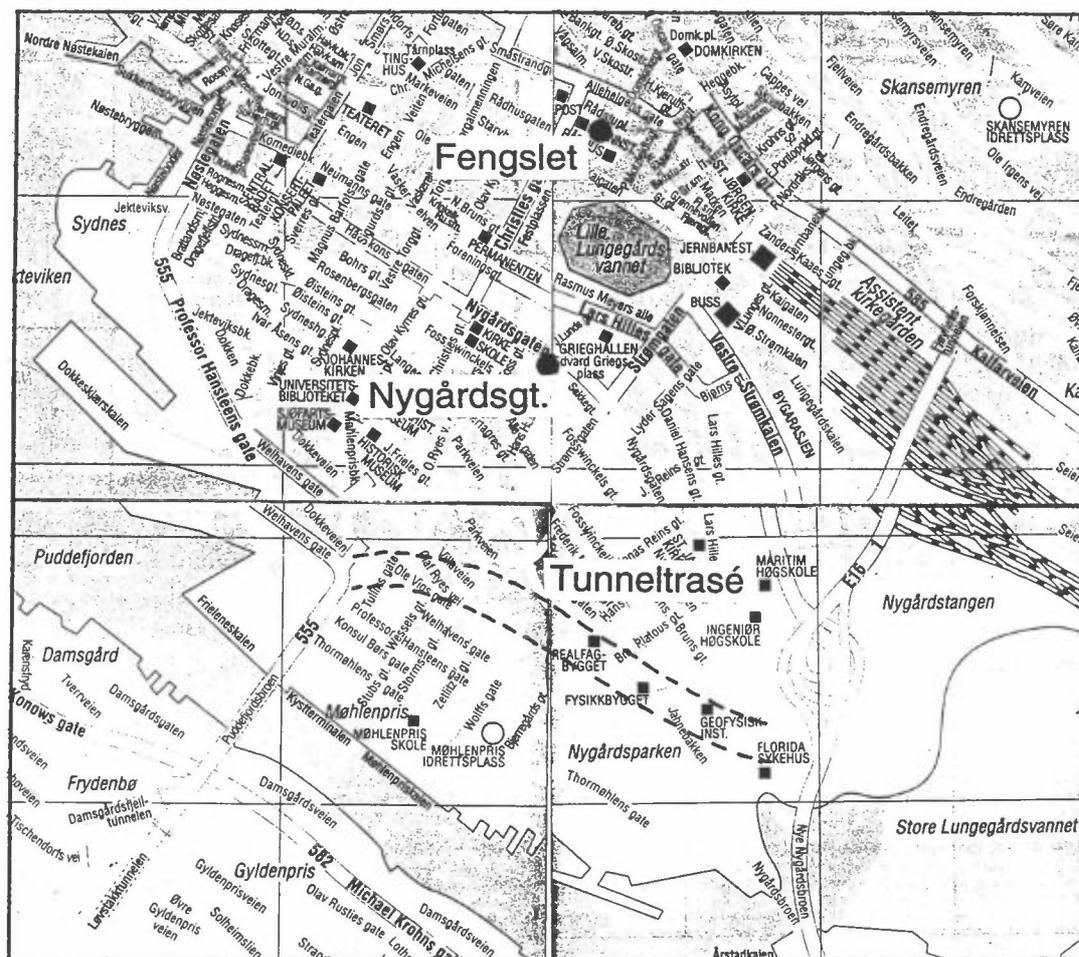
Vegdirektoratet (1988) har vedtatt grenseverdier for CO og NO_x i veitunneler. Grenseverdiene er:

CO	: 250 mg/m ³	(200 ppm)
NO _x	: 28,2 mg/m ³	(15 ppm) tilsvare ca. NO ₂ : 2,8 mg/m ³ (1,5 ppm).

Verdiene 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. Målinger av forurensningskonsentrasjoner i Bergen

For å belyse hyppigheten av høye bakgrunnsverdier i Bergen sentrum er målinger av døgnmidlere PM₁₀-konsentrasjoner og timemidlere NO₂-konsentrasjoner vist for stasjoner som er avmerket i figur 4.



Figur 4: Stasjoner for registrering av PM₁₀ og NO₂. Målestasjonen "Fengslet" er ikke påvirket av nærliggende utslipp. Stasjonen er opprettet for å registrere konsentrasjonsnivået som forekommer over hele sentrumsområdet.

I vedlegg B er timevise målinger av NO₂-konsentrasjoner og døgnmiddelverdier for PM₁₀-konsentrasjoner vist for perioden oktober 1994-april 1995. Ved Fengslet er PM₁₀ målt med forskjellige målemetoder, TEOM og Dicho.

Timevise NO₂-konsentrasjoner over luftkvalitetskriteriene for uteluft (100 µg/m³) ved svak vind og inversjon forekommer over Bergen sentrum. Av hensyn til lokaliseringen av vårt vurderingsområde bør forurensningsnivået ved vind fra Bergen sentrum kontrolleres ved målinger som planlagt.

Målte døgnverdier av PM₁₀-konsentrasjoner overskrider luftkvalitetskriteriene for uteluft (70 µg/m³) i Nygårdsgaten, men ikke ved "Fengslet". Overskridelsene forekommer vanligvis i tørre perioder i vårmånedene (mars og april). Bakgrunnsverdiene som velges for PM₁₀-konsentrasjonene ved tunnelmunningene bør kontrolleres ved målinger. En har ikke luftkvalitetskriterier for PM₁₀ på timebasis, men målingene i Nygårdsgaten vinteren 1994/95 viste timeverdier av PM₁₀ over 100 µg/m³ 38 ganger, med høyeste verdi 186,5 µg/m³. Forurensningsmålinger i Bergen utført som en del av basisundersøkelsen i perioden 1983-1985, viste overskridelser av luftkvalitetskriteriene for NO₂ og partikler (Larssen, 1986).

6. Utslipp

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

1. Trafikktall (antall og hastighet).
2. Tunneldata (lengde, tverrsnittsareal, stigning).
3. Tungtrafikkandel (10%).
4. Kaldstartandel (25%).

Resultatet av beregningene er vist i tabell 1. Tabellen viser også nødvendig luftstrømhastighet for å overholde grenseverdier for tunnelluft.

Tabell 1: Utslipp (g/s) av CO og NO_x i tunnelene, og nødvendig luftstrømhastighet for å overholde grenseverdier for luftkvalitet i tunneler.

Tunnel (Se figur 1)	Diesel- andel (%)	Trafikkens hastighet (km/h)	Utslipp		Lufthastighet i tunnel	
			(g/s)		(m/s)	
			CO	NO _x	Pumpevirkning	Nødvendig
Vei 1	10	40	0,90	0,19	0	0,5
	10	50	0,75	0,19	0	0,5
	10	60	0,67	0,19	0	0,5
Vei 3	10	40	5,24	1,24	3,7	1,0
	10	50	4,42	1,25	4,6	1,0
	10	60	3,98	1,26	5,5	1,0
Vei 12	10	40	2,72	0,51	2,9	0,5
	10	50	2,27	0,51	3,6	0,5
	10	60	1,97	0,51	4,3	0,5
Busstunnel	100	50	0,09	0,20	0	0,5

* Det anbefales ikke lavere utluftningshastighet enn 0,5 m/s.

En større dieselandel vil gi større utslipp av NO_x, men mindre utslipp av CO. Tabellen viser at det er liten forskjell i NO_x-utslipp med trafikkhastighet i området 40-60 km/h. Vanligvis vil det være NO_x-utslippene som avgjør nødvendige luftstrømhastigheter for å overholde grenseverdier for luftkvalitet i tunneler. Ved dårlig trafikk-avvikling eller sammenhengende kø i tunneler vil det være CO-utslippene som vanligvis er avgjørende for nødvendig utlufting av tunnelene. Tabellen viser at pumpevirkningen fra trafikken er rikelig for å overholde grenseverdier for luftkvalitet i tunnelen fra Møhlenpris mot Nygårdstangen. Det samme er tilfelle for tofelts tunnel mot Møhlenpris. Enfelts tunnel mot Møhlenpris må ha viftekapasitet som minst gir 0,5 m/s effektiv lufthastighet i denne tunnelen.

Vi har ikke tatt hensyn til at forurenset luft trekkes inn i tunnelen fra omgivelsene. Dette vil i liten grad påvirke konsentrasjonen i tunnelen, slik at ventilasjonskapasiteten på vifteanlegget maksimalt vil måtte økes med 10%. Dette ligger innenfor usikkerheten i beregningene.

7. Resultater fra spredningsberegningene

7.1 Forurensning ved tunnelmunningene

CO, NO₂ og PM₁₀ konsentrasjoner i ventilasjonsluften i munningene er beregnet for prosjekterte trafikkmengder og ulike hastigheter i begge kjøreretninger. Tabell 2 viser resultatet av beregningene. Det er tatt utgangspunkt i kjørehastighet 50 km/h, men beregninger er også utført for 40 og 60 km/h for å vise variasjonen i munningskonsentrasjonen. Tunnelmunning fra enfelts vei mot Møhlenpris har ingen pumpevirkning, og tabellen gir resultater for tre kjørehastigheter og tre ventilasjonshastigheter.

Det er viktig å merke seg at beregningene er utført med 10% tungtrafikkandel. Dersom tungtrafikkandelen skulle bli mindre vil en få en noe høyere CO-konsentrasjoner ved samme trafikkmengde totalt.

Vi har beregnet på hvilken avstand fra tunnelmunningene konsentrasjoner av CO og NO₂ er redusert til et nivå lik de anbefalte luftkvalitetskriterier for uteluft. Det er regnet at NO₂-andelen av NO_x i utslippet fra tunnelmunningene er 10%. I beregningene er det tatt hensyn til bakgrunnsnivå av forurensete komponenter. Bakgrunnskonsentrasjoner representerer i dette tilfellet en maksimal konsentrasjon som skyldes andre kilder i og utenfor Bergen enn de aktuelle tunnelene og veisystemet rett utenfor. Ved Møhlenpris/Nygårdstangen har vi regnet med et bakgrunnsnivå på 7 mg CO/m³, og 39 µg NO₂/m³ og 100 µg PM₁₀/m³.

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



Tabell 2: Maksimale munningskonsentrasjoner for forskjellige kjørehastigheter ved rushtidstrafikk.

Tunnel	Trafikkens hastighet (km/h)	Ventilasjons- hastighet (m/s)	Pumpe- virkning (m/s)	Munnings- konsentrasjoner		
				CO (mg/m ³)	NO ₂ (µg/m ³)	PM ₁₀ (µg/m ³)
Vei 1	40	0,5	0	40	844	
	40	1,0	0	20	422	
	40	2,0	0	10	211	
	50	0,5	0	34	849	
	50	1,0	0	17	425	
	50	2,0	0	9	213	243
	60	0,5	0	30	849	
	60	1,0	0	15	425	
	60	2,0	0	7	213	
Vei 3	40	3,7	3,7	32	747	
	40	4,6	3,7	25	596	
	50	4,6	4,6	21	601	319
	60	5,5	5,5	16	504	
	60	4,6	5,5	19	605	
Vei 12	40	2,9	2,9	19	256	
	40	3,6	2,9	15	205	
	50	3,6	3,6	9	205	291
	60	4,3	4,3	9	172	
	60	3,6	4,3	11	206	
Busstunnel	50	0,5	0	2	432	~150

Vi har derfor lagt til et totalt bakgrunnsnivå på 99 µg NO₂/m³ (dette er inkludert i beregnede konsentrasjoner som sammenlignes med anbefalte luftkvalitetskriterium på 100 µg/m³). Se for øvrig tabell 3.

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

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

Det er ellers ikke tatt hensyn til andre bidrag fra veier i nærheten, eller andre forurensningskilder fordi disse bidragene inngår i bakgrunnsnivået. Resultatet av beregningene er vist i tabell 4.

Vi ser da av tabell 4 at NO₂-nivået blir avgjørende for nødvendige avstander fra tunnelmunninger for å komme ned på et forurensningsnivå som er lavere enn anbefalte retningslinjer for uteluft. Vi ser av tabellen at bakgrunnsnivået for NO₂ er 39 µg/m³, og for ozon er 60 µg/m³. Tilsammen gir dette et bakgrunnsnivå på 99 µg/m³. Det lar seg således ikke gjøre å komme ned på anbefalt retningslinje på 100 µg/m³ utenfor tunnelmunningene.

Tabell 1 viser at for planlagte tunneler er det kun enfelts tunnelen mot Møhlenpris som ikke har pumpevirkning fra gjennomgående trafikk, og som dermed trenger ekstra ventilasjon. Tabell 2 viser at ved å øke denne ventilasjonshastigheten fra nødvendige 0,5 m/s til 2,0 m/s, vil dette redusere munningskonsentrasjonen med ca. 75%. Tofelts tunnelmunning mot Møhlenpris og trefelts tunnelmunning mot Nygårdstangen vil ved maksimal timetrafikk i rushtiden ha en pumpevirkning som langt overstiger nødvendig ventilasjonshastighet (se tabell 1). Ved rushtidstrafikk og trafikkhastighet på 50 km/h vil NO₂-konsentrasjoner på 200 µg/m³ rekke 10-15 meter utenfor tunnelmunningen fra enfelts tunnelen mot Møhlenpris (ved ventilasjonshastighet 2,0 m/s). Tilsvarende for tofelts tunnelen blir 100-105 meter. For tunnelmunningen mot Nygårdstangen vil 200 µg/m³ rekke 40-45 meter ut fra tunnelmunningen.

For enfelts tunnel mot Møhlenpris og busstunnel mot Møhlenpris vil ikke PM₁₀-forurensning være noe stort problem. For tofelts tunnel mot Møhlenpris vil PM₁₀-konsentrasjoner på 200 µg/m³ kunne observeres opptil 70 m fra tunnelmunningen. For trefelts tunnel mot Nygårdstangen vil PM₁₀-konsentrasjoner på 200 µg/m³ kunne observeres opptil 60 m fra tunnelmunningen.

Maksimalkonsentrasjonene vil forekomme ved stor trafikk (i rushtiden) og ved dårlige spredningsforhold. Dårlige spredningsforhold kan forekomme i ca. 10% av dagene ved svak vind og inversjon (stabil temperatursjiktning). Se for øvrige beskrivelsen av vind og stabilitetsforhold i vedlegg A for vurdering av vindfrekvensen i ulike sektorer.

Vindmålingene fra Florida på Nygårdshøyden viser at frekvensen av svak vind og dårlige spredningsforhold i de enkelte 30-graders sektorene maksimalt forekommer 3-4% av tiden. Det betyr at maksimalkonsentrasjoner forekommer i rushtiden maksimalt 3-4% av dagene i året.

Tabell 4: Nødvendig spredningsavstand fra tunnelmunninger for at konsentrasjoner av CO og NO₂ er redusert til et angitt nivå. Skravert tilfelle er gjengitt i figur 5 og 6.

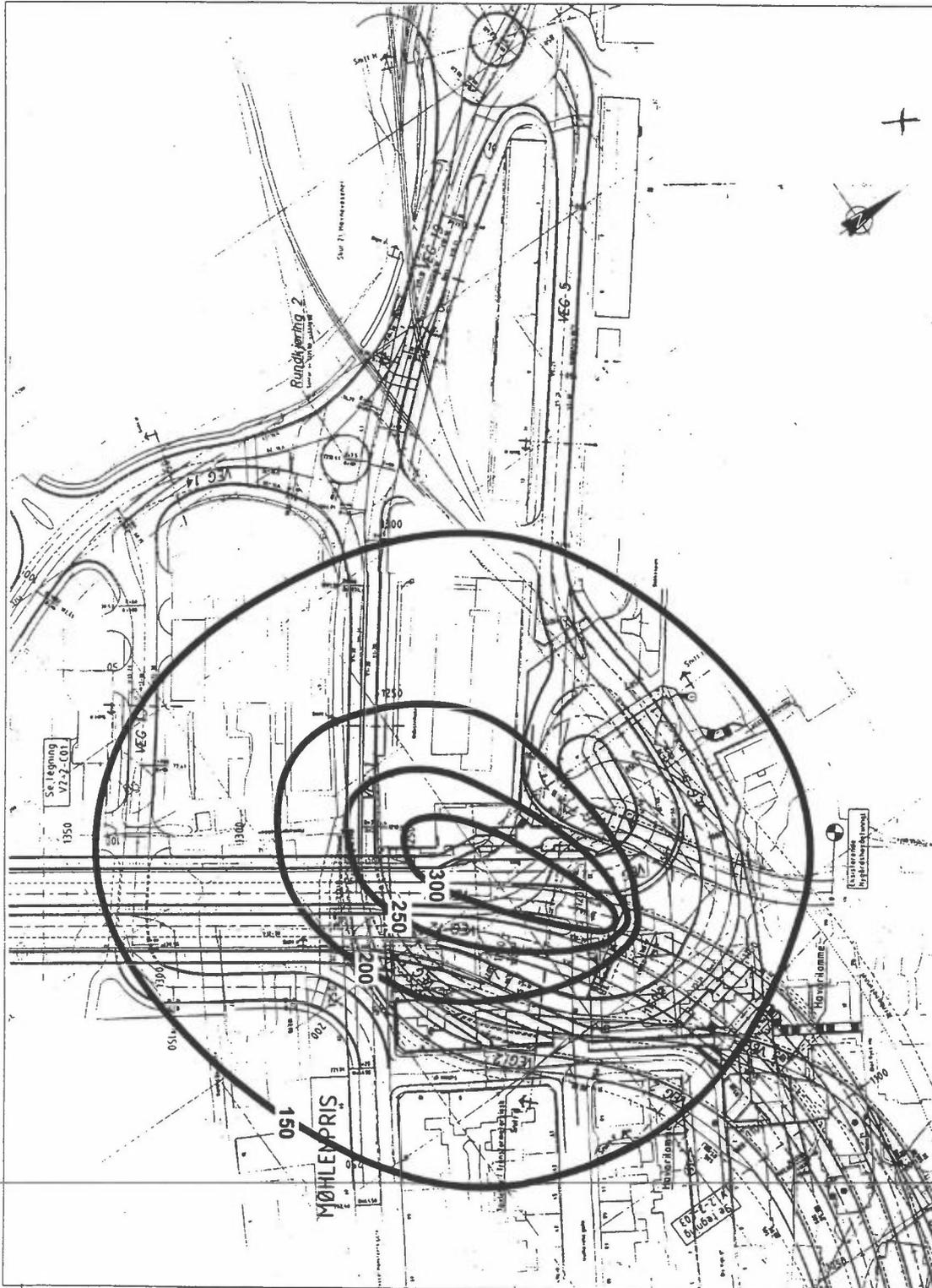
Tunnel	Trafikkens hastighet (km/h)	Ventilasjons-hastighet (m/s)	Lengde av jettfase (m)	Nødvendig spredningsavstand for å komme ned på gitte luftkvalitetsnivå (m)						
				CO (25 mg/m ³)	NO ₂ (150 µg/m ³)	NO ₂ (200 µg/m ³)	NO ₂ (250 µg/m ³)	NO ₂ (300 µg/m ³)	NO ₂ (360 µg/m ³)	PM ₁₀ (200 µg/m ³)
Vei 1	40	0,5	0	<5	50-55	30-35	20-25	15-20	10-15	
	40	1,0	0	-	40-45	20-25	15-20	10-15	5-10	
	40	2,0	0	-	30-35	10-15	5-10	<5	-	
	50	0,5	0	<5	50-55	30-35	20-25	15-20	10-15	
	50	1,0	0	-	40-45	20-25	15-20	10-15	5-10	
	50	2,0	0	-	30-35	10-15	5-10	<5	-	15-20
	60	0,5	0	<5	45-50	30-35	20-25	15-20	10-15	
	60	1,0	0	-	40-45	20-25	15-20	10-15	5-10	
	60	2,0	0	-	30-35	10-15	5-10	<5	-	
Vei 3	40	3,7	47	-	145-150	95-100	75-80	55-60	50-55	
	40	4,6	61	<5	150-155	100-105	70-75	65-70	55-60	
	50	4,6	61	-	150-155	100-105	80-85	65-70	55-60	70
	60	5,5	67	-	155-160	105-110	80-85	70-75	55-60	
	60	4,6	61	-	150-155	100-105	80-85	65-70	55-60	
Vei 12	40	2,9	35	-	65-70	35-40	15-20	5-10	-	
	40	3,6	57	-	75-80	40-45	15-20	<5	-	
	50	3,6	57	-	75-80	40-45	15-20	<5	-	60
	60	4,4	71	-	85-90	40-45	10-15	<5	-	
	60	3,6	57	-	75-80	40-45	15-20	<5	-	
Buss-tunnel	50	0,5	0	-	30-35	15-20	<5	-	-	<5

Når tungtrafikkandelen er mindre enn 10% fører det til mindre område med NO₂-belastning over akseptabelt forurensningsnivå.

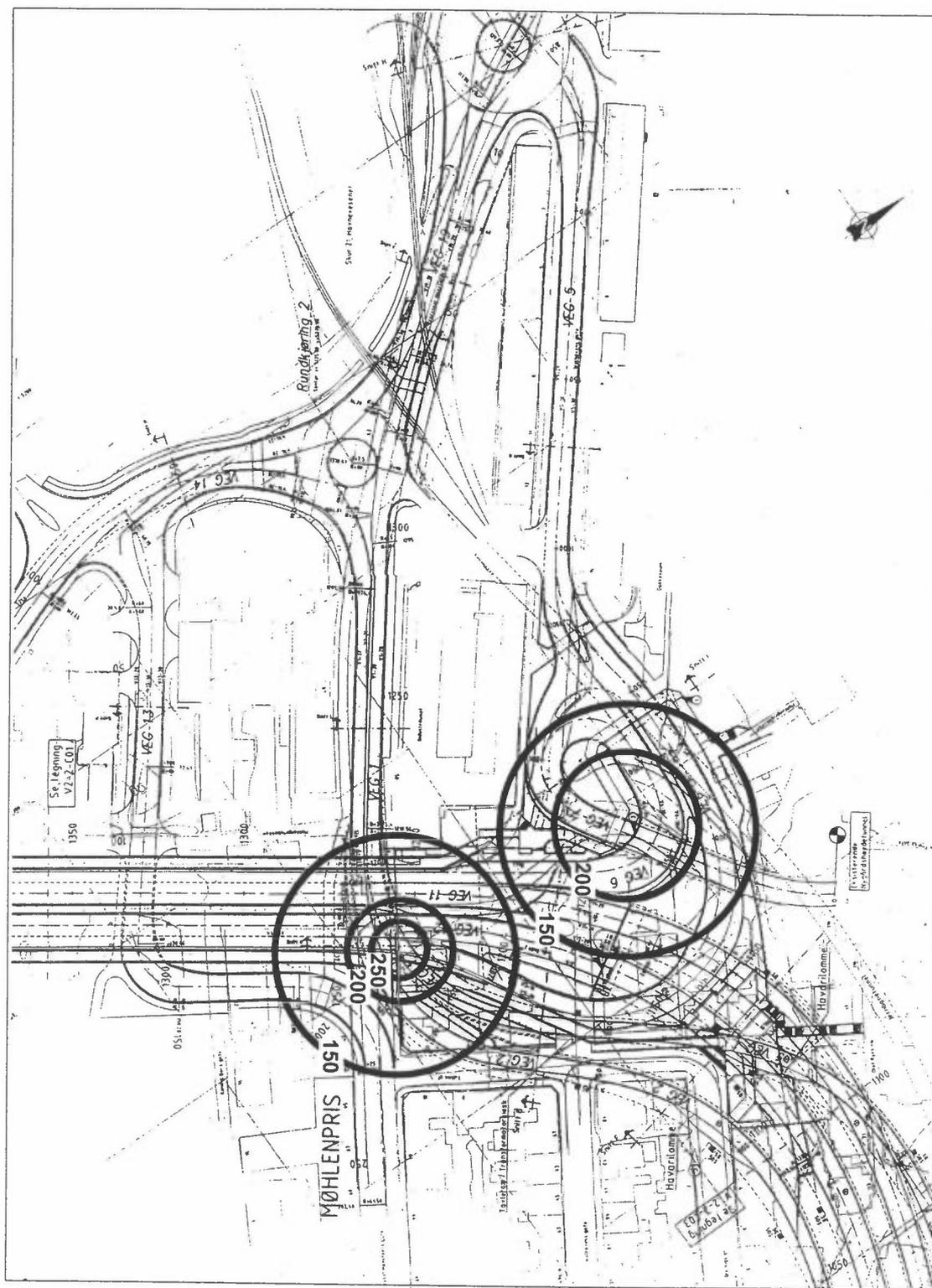
Det kan ikke ses bort fra at utslipp fra tunnelene kan bidra til luktplager i tunnelmunningenes umiddelbare nærhet ved normal trafikk-avvikling. Erfaringsmessig vil eksosluft kunne merkes på større avstand enn der NO₂-konsentrasjonen er 200 µg/m³.

Figurene 5 og 6 viser områder belastet av NO₂ ved rushtrafikk. Ved rimelig god trafikk-avvikling uten stillestående køer vil NO₂ være et problem, og dersom det oppstår stillestående køer i begge retninger vil også CO være et problem i de samme områder. Når konsentrasjonene er over 200 µg/m³ kan det også forekomme svevestøvkonsentrasjoner (PM₁₀) over grenseverdiene. Tabell 4 viser også at en økning av ventilasjonshastigheten utover det nødvendige (vei 1) for å overholde grenseverdier for luftkvalitet i tunnelene, vil gi et mindre område med forurensningsbelastning over anbefalt nivå i uteluft.

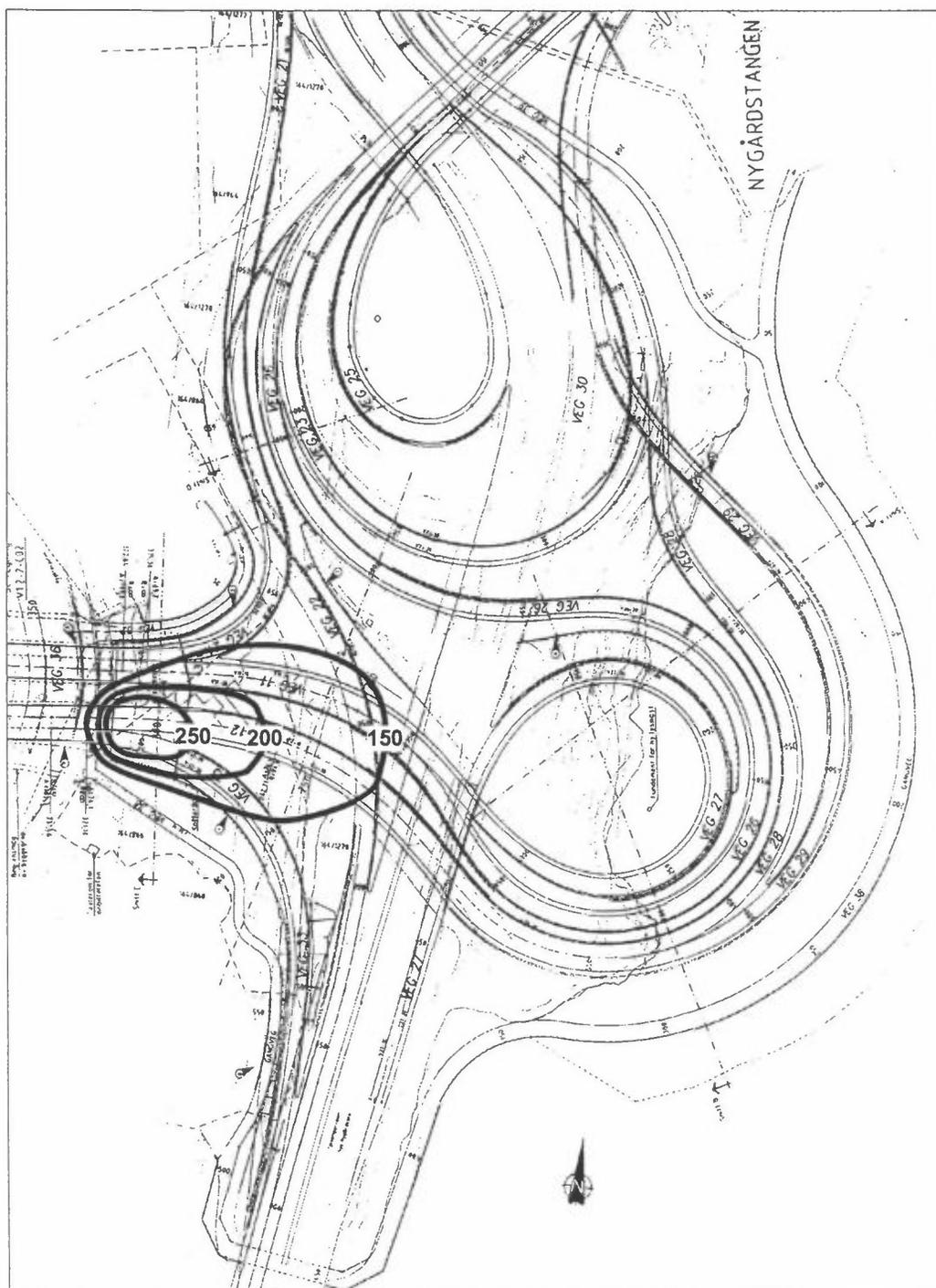
De forurensede sonene ved munningene er vist på figur 5, 6 og 7. Ifølge vindmålinger fra Florida ved Nygårdshøyden er hyppigst forekommende vinder fra nordøst om sommeren og sørvest om vinteren.



Figur 5: Fordelingen av maksimal NO_2 -konsentrasjon ved 2-felts tunnelmunning på Møhlenpris som følge av utslippet i tunnelmunningene.
Enhet: $\mu\text{g NO}_2/\text{m}^3$.



Figur 6: Fordeling av maksimal NO_2 -konsentrasjon på Møhlenpris ved utløpet av 1-felts busstunnel fra Bergen sentrum og fra 1-felts tunneløp fra Nygårdstangen som følge av utslippet i hver av tunnelmunningene. Enhet: $\mu\text{g NO}_2/\text{m}^3$.



Figur 7: Fordelingen av maksimal NO_2 -konsentrasjon på Nygårdstangen ved munningen av 2-felts tunnel fra Møhlenpris som følge av utslipp i tunnel.
 Enhet: $\mu\text{g NO}_2/\text{m}^3$.

7.2 Forurensning fra veisystemet utenfor tunnelmunningene

Veisystemet utenfor tunnelmunningene er brutt opp i segmenter på samme måte som ved NILUs tidligere beregninger for Nygårdstangen (Gram, 1989). For hvert veiselement er det beregnet utslipp ved hjelp av utslippsrutinene som benyttes i VLUFT (NILU, TR 3/94). Dette er kombinert med modellen for spredning ved åpne veier (Tønnesen, 1988) til å gi konsentrasjoner i gitte beregningspunkter ved gitte spredningsforhold.

Ved beregningene er det tatt utgangspunkt i ÅDT-tall oversendt 14.6.95. Beregningene er foretatt for ettermiddagstrafikken, og det er regnet med en timestrafikk på 8% av ÅDT. Det er regnet med en hastighet på 50 km/h for mesteparten av veinettet, 40 km/h ved ramper etc.

Beregningene er foretatt i et nettverk på 50 m ruter, og med enkelte punkter innimellom. Resultatene viser konsentrasjoner for forskjellige vindretninger med vindstyrke 1 m/s og for dårlige spredningsforhold (lett stabilt). For hvert beregningspunkt er forurensningskonsentrasjonene fra trafikken på veiene utenfor tunnelmunningene angitt som funksjon av vindretningen i 30 graders sektorer.

7.3 Totalbelastning ved tunnelmunningene

Totalbelastningen ved tunnelmunningene består av en rekke forurensningskomponenter som er beskrevet i vedlegg A.

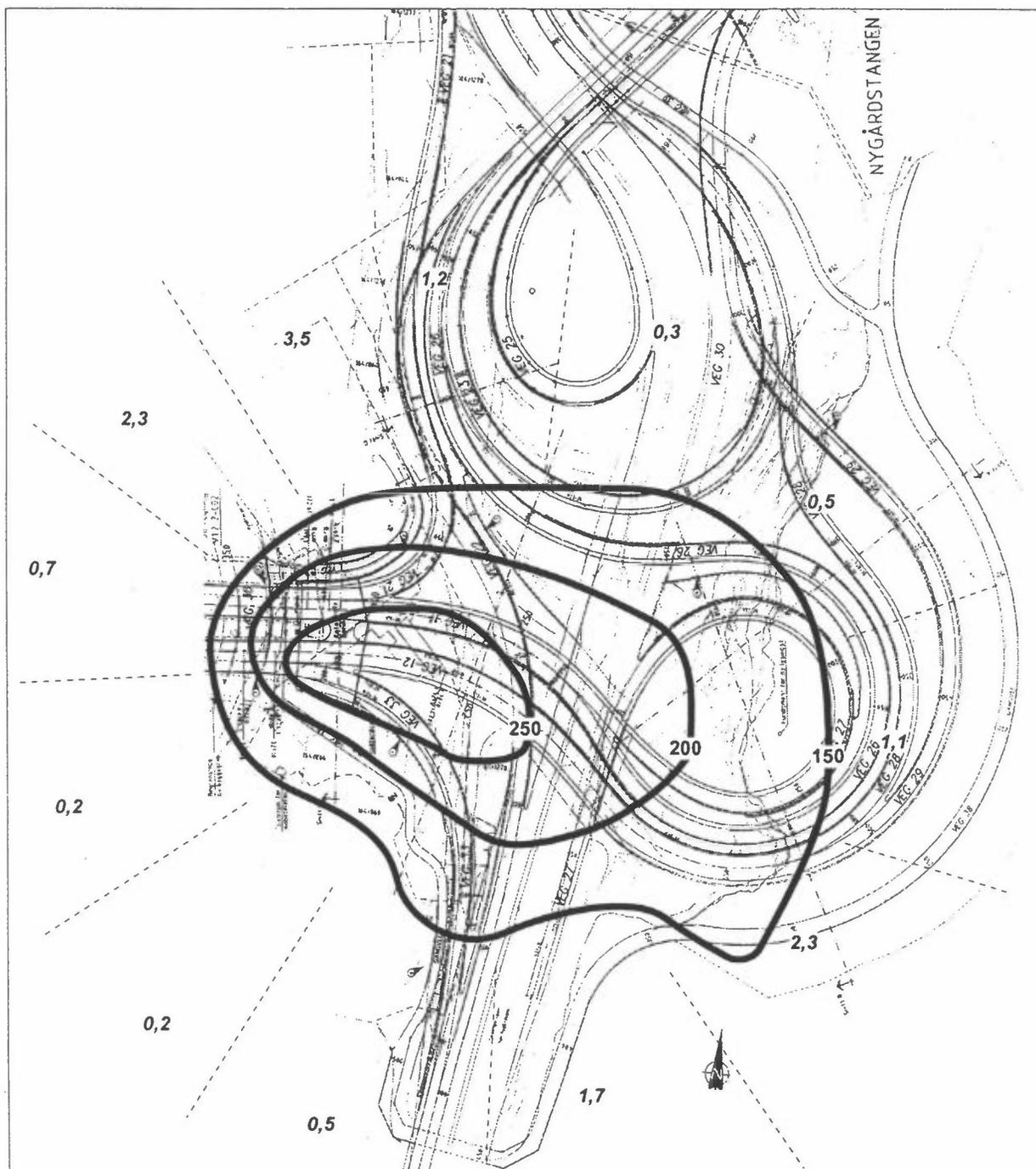
Overskridelsene av luftkvalitetskriteriene for PM_{10} og NO_2 på Møhlenpris og Nygårdstangen ved Bergen sentrum skyldes en kombinasjon av bidraget fra samtlige utslipp i Bergensområdet. Bakgrunnskonsentrasjoner og direktebidraget fra tunnelmunningene og fra veisystemet utenfor tunnelmunningene er vist i vedlegg C.

Maksimalkonsentrasjonene av NO_2 når en tar med bidraget fra de tre kildegruppene er vist i figur 8 og 9.

På grunn av PM_{10} -konsentrasjonene er anslått ut fra vurderinger i stedet for beregninger kan det ikke presenteres tilsvarende konsentrasjonskart for PM_{10} .



Figur 8: Fordelingen av maksimal NO_2 -konsentrasjon som følge av samtlige utslipp fra biltrafikken på Møhlenpris (timemiddelerverdi i rushtiden). Enhet: $\mu\text{g NO}_2/\text{m}^3$.
 Frekvensen av svak vind i 30 graders sektorer fra tunnelmunningene er vist i ytterkanten av figuren. Tallene angir hvor hyppig områdene kan belastes av oppgitte maksimalkonsentrasjoner. Enhet: prosent.



Figur 9: Fordelingen av maksimal NO_2 -konsentrasjon som følge av samtlige utslipp fra biltrafikken på Nygårdstangen.
 Enhet: $\mu\text{g NO}_2/\text{m}^3$.
 Frekvensen av svak vind i 30 graders sektorer fra tunnelmunningene er vist i ytterkanten av figuren. Tallene angir hvor hyppig områdene kan belastes av oppgitte maksimalkonsentrasjoner.
 Enhet: prosent.

8. Rensing av tunnelluften

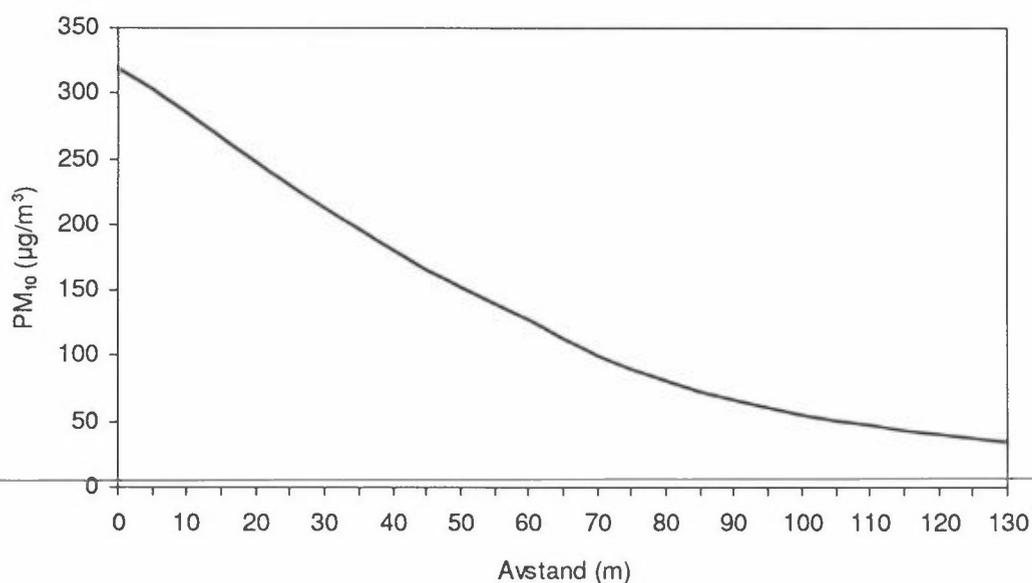
Forventede PM_{10} -konsentrasjoner i tunnelmunningene på Møhlenpris er basert på målinger i og ved Vålerengatunnelen i Oslo (Larssen, 1990). Følgende resonnement ble fulgt: Høyeste munningskonsentrasjon som ble målt i Vålerengatunnelen tilsvarte en døgnmiddelkonsentrasjon på $275 \mu\text{g}/\text{m}^3$.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

Munningskonsentrasjonene i Møhlenpris/Nygårdstangen-tunnelene er skalert i forhold til trafikkarbeidet (trafikkarbeid = tunnallengde \cdot ÅDT). Maksimale døgnmidlere munningskonsentrasjoner er vist i tabell 2. Forurenset tunnelluft spres i omgivelsene, og det er nødvendig at det blåser fra munningene for at et bestemt område skal utsettes for forurenset tunnelluft.

Konsentrasjonsreduksjonen som funksjon av avstanden i vindretningen fra munningen er vist i figur 10. Reduksjonen i døgnmiddelkonsentrasjonen med økende avstand vil være noe raskere enn vist på figuren avhengig av hvor ofte vinden blåser i de enkelte vindsektorene.

Det kan være aktuelt å installere et filteranlegg som vil fjerne PM_{10} -partikler. Ved rensing av tunnelluften vil bakgrunnskonsentrasjonene få større betydning for totalbelastningen. Ved 60% rensing av tunnelluften vil bidraget fra tunnelen utgjøre mindre enn 35% av totalbelastningen i forurensningsepisoder når avstanden fra munningen er større enn 70 m.

Ved 40% rensing av tunnelluften vil bidraget fra tunnelen utgjøre mindre enn 40% av total belastning når avstanden fra utslippsområdet er større enn 70 m. Gevinsten av rensing er større nærmere munningen.



Figur 10: Konsentrasjonsreduksjonen som funksjon av avstanden (x) i vindretningen fra munningen på Møhlenpris.

9. Framtidig utvikling

Alle nye biler 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 i dag har vært mye lavere enn antatt. Dette innebærer at i underkant av 65% av bensindrevne biler antagelig vil ha katalysator i 2000, og at tilnærmet alle bilene vil ha katalysator i 2010.

De ventede 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 kunne motvirke en trafikkøkning på anslagsvis 2-3% pr. år.

10. Referanser

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

Gram, F. (1989) Fremtidig luftkvalitet på Nygårdstangen i Bergen. Lillestrøm (NILU OR 16/89).

Grønskei, K.E. (1987) Forurensninger ved munningene av aksialventilerte tunneler langs vestre innfartsåre til Bergen. Lillestrøm (NILU OR 40/87).

Iversen, T. (1982) Forenklet metode for spredningsberegninger ved vegtunneler. Lillestrøm (NILU OR 27/82).

Larssen, S. (1986) Basisundersøkelse av luftkvaliteten i Bergen, 1983-1985. Hovedrapport. Lillestrøm (NILU OR 58/86) (Statlig program for forurensningsovervåking. 236/86).

Larssen, S. (1987) Vålerenga-tunnelen, Oslo. Reviderte beregninger av luftforurensninger ved munningene. Lillestrøm (NILU OR 33/87).

Larssen, S. (1990) Luftkvalitet og utslippsfaktorer fra bileksos i Vålerenga-tunnelen. Lillestrøm (NILU OR 38/90).

Larssen, S. og Iversen, T. (1984) Vurdering av luftforurensning ved veitunneler gjennom Vålerenga og Gamlebyen. Lillestrøm (NILU OR 52/84).

Statens forurensningstilsyn (1986) Avgassbestemmelser for personbiler. Oslo.

Statens forurensningstilsyn (1992) Virkninger av luftforurensninger på helse og miljø. Anbefalte luftkvalitetskriterier. Oslo (SFT-rapport nr. 92:16).

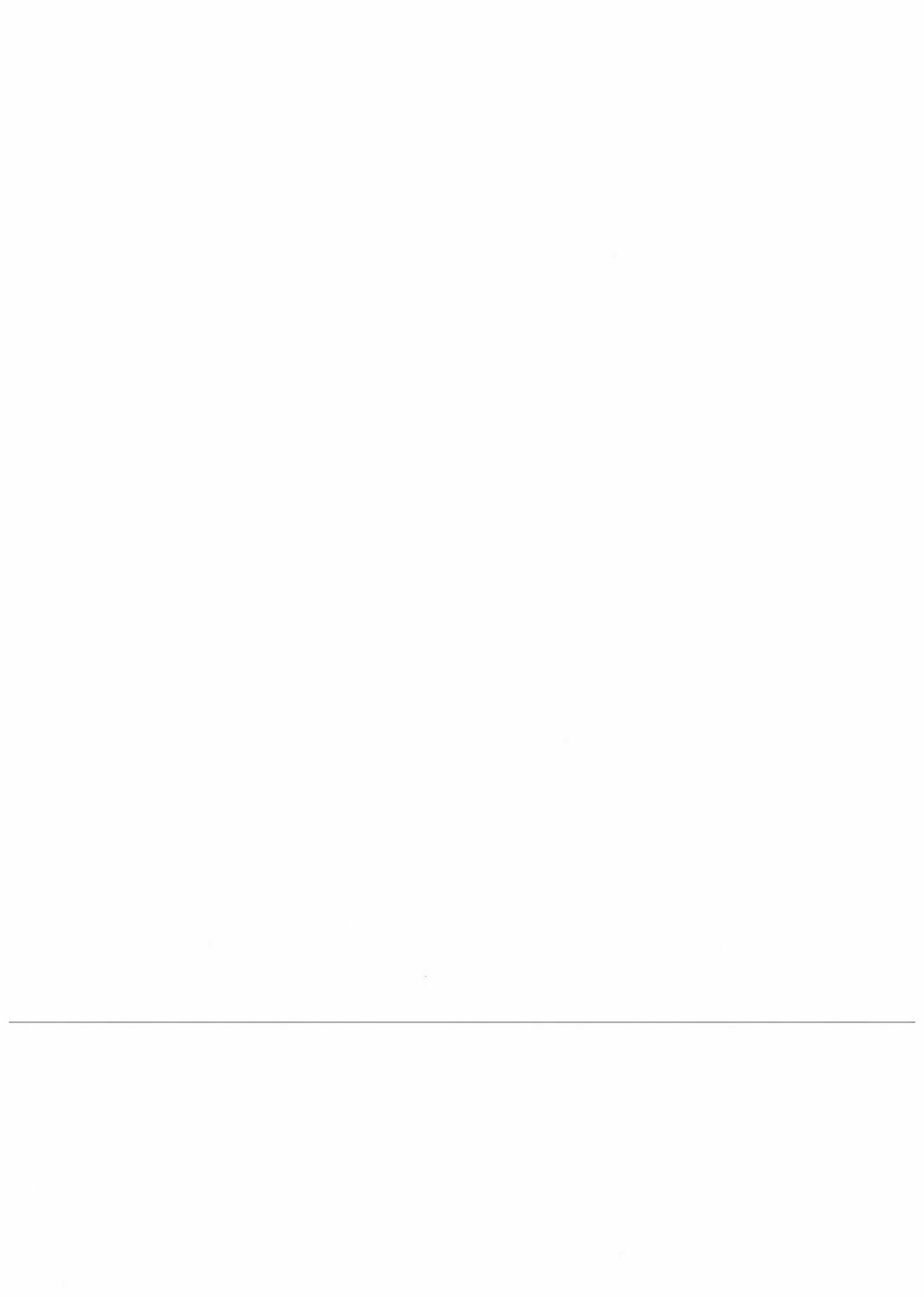
Torp, C., Tønnesen, D. og Larssen, S. (1994) Programdokumentasjon for VLUFFT versjon 3.1. Kjeller (NILU TR 3/94).

Tønnesen, D. (1988) Vurdering av luftforurensning ved Lysakerlokket. Lillestrøm
(NILU OR 14/88).

Vegdirektoratet (1988) Vegdirektoratets anbefalinger for tunnelluft. Oslo.

Vedlegg A

Problembeskrivelse



Generelt om luftforurensning fra trafikk

Oversikt

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

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-nedbryting	N ₂ O

* Partikler med diameter mindre enn 2.5 eller 10 µm.

Biltrafikk og lokal luftforurensning

Generelt

De viktigste lokale luftforurensningsproblemene knyttet til biltrafikk er mulighetene for helseskade ved høye konsentrasjoner av NO₂ og partikler, samt nedsmussing og ubehag knyttet til veistøv. Biltrafikken er den dominerende kilden til stoffer som gir overskridelser av grenseverdier for luftkvalitet, lokalt i gater og

i byer generelt. Dette er dokumentert bl.a. gjennom basisundersøkelser NILU har foretatt i Oslo, Bergen, Drammen og Sarpsborg/Fredrikstad.

Problematikken knyttet til veistøv bør nevnes spesielt. De største partiklene i støvfraksjonen gir nedsmussing og ubehag ("støvnedfall"). Partiklene med mindre diameter (svevestøv) kan gi helseskade. Det er vanlig å inndele (det potensielt helsefarlige) svevestøvet i to fraksjoner; partikler med diameter mindre enn 10 µm (PM₁₀) og 2,5 µm (PM_{2,5}). PM₁₀ kan avsettes i bronkiene og de øvre luftveier, mens PM_{2,5} kan transporteres helt ned i lungealveolene.

PM₁₀ består i hovedsak av partikler fra veidekket, mens PM_{2,5} domineres av eksospartiklene. De maksimale PM₁₀-konsentrasjonene måles i perioder med stor trafikk når veiene tørker opp mot slutten av piggdekkelsesongen. Da vil det være mer veistøv enn eksospartikler i luften.

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 µg/m³.

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 µg/m ³
	NO ₂	Døgn	75 µg/m ³
	PM ₁₀	Døgn	70 µg/m ³
Nær sterkt trafikkerte veier	I tillegg: NO ₂	Halvår	75 µg/m ³
	PM ₁₀	Halvår	40 µg/m ³

Helseeffekter

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

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

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

Undersøkelser av effekten av NO₂ på mennesker i kontrollerte forsøk viser store variasjoner mellom forsøkspersoner. I lungefunksjonstester viser det seg at asmatikere 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 eller lenger.

Epidemiologiske undersøkelser er blitt foretatt på befolkningsgrupper i forurensende 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."

"Svevestøv kan fysikalsk og kjemisk være meget forskjellig, men her omtales hovedsakelig ureaktive partikler. Ut fra mulige helseeffekter er svevestøv mindre en 10 µm (aerodynamisk diameter) mest interessant. Denne fraksjonen kan deles inn i to hovedgrupper, finfraksjon (<1,5 µm) og grovfraksjon (>2,5 µm). Finfraksjonen synes å ha størst betydning fordi mesteparten av disse partiklene kan nå helt ned i lungeblærene.

I dyreforsøk er det vist at karbonstøv i relativt høye konsentrasjoner (1 000-1 500 µg/m³, partikkelstørrelse <1 µm) etter kort tid vil kunne forårsake

strukturelle forandringer i epitelcellene i luftrøret. Eksponering av friske, frivillige personer for 2 000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ plast- og karbon-partikler i 5 timer førte til nedsatt lungefunksjon. I en epidemiologisk undersøkelse av barn som bodde i et område med høyere årsmiddel av totalt svevestøv enn 96 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ble en reduksjon av lungefunksjonen påvist. Forverring av bronkitt ble observert i en undersøkelse med timemiddel av totalt svevestøv i området 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ og årsmiddel på 48 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. I de epidemiologiske studier har det vært vanskelig å skille effekten av partikler fra andre forurensningskomponenter, og det kan derfor ikke utelukkes at andre komponenter kan ha vært medvirkende til effektene. Allergiske reaksjoner etter partikkeleksponering er antydnet både fra dyreforsøk og undersøkelser av støveksponeerte arbeidere. Det er videre rapportert at vanlige, biologiske partikler, f.eks. pollenproteiner, forandres til mer allergifremkallende partikler etter at luftforurensningskomponenter har reagert med dem."

I rapporten "Støv fra Asfaltveger. Vurdering av helsefare." (Veglaboratoriet, 1988) heter det:

"Veistøvdepotet gir et dominerende bidrag til støvforurensningen ved veier, også til inhalerbart støv, når det er tørt. Dette inhalerbare støvet inneholder lite bly, men en del organiske stoffer (PAH) som gir hovedbidraget til PAH i luft ved veien når det er tørt. PAH-stoffene stammer både fra bitumen og fra deponerte bileksospartikler. Oppvirvlet veistøv synes imidlertid å gi et relativt lite bidrag til støvets mutagene egenskaper og evne til celletransformasjon utover det som bileksosen gir. Luftbåret støv ved veier kan i enkelte deler av landet inneholde endel α -kvarts.

Basert på måleresultatene fra Ringveien kan en anslå at oppvirvlet veistøv totalt sett gir et bidrag til inhalerbart partikkelutslipp som kan være opptil samme størrelse som samlet utslipp fra eksospartikler. Konsentrasjonen av inhalerbart støv kan i spesielle situasjoner i tettsteder overskride grenseverdier for luftkvalitet. Ved sterkt trafikkerte veier er imidlertid konsentrasjonene til tider svært høye. Ved Ullevål ble det målt opptil 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ inhalerbar støvkonsentrasjon. Det var ikke mulig i denne undersøkelsen å angi hvor mange mennesker som eksponeres for høye støvkonsentrasjoner langs veier. Intervju-undersøkelser utført i Oslo og Drammen viser imidlertid at 25-30% av befolkningen føler seg plaget av nedsmussing fra veistøv ved sin bolig. En egen kartlegging må gjennomføres av boligens plassering i forhold til veier og av ferdselen langs veier for å komme nærmere et estimat av befolkningseksponeringen til høye veistøvkonsentrasjoner."

I tillegg til at innåndet svevestøv kan ha fysisk helseeffekter, vil støvnedfall føre til plage som følge av nedsmussing.

Biltrafikk og regional og global luftforurensning

På regional skala fører utslipp fra biler først og fremst til problemer som sur nedbør og dannelse av bakkenært ozon. Sistnevnte kan gi negativ helseeffekt og vegetasjonsskader. På global skala vil enkelte komponenter i avgassene bidra til økt drivhuseffekt.

Forsuring

Surheten i nedbør over Norge skyldes fortsatt hovedsakelig svovelforbindelser, men nitrogenforbindelsenes betydning er økende.

76% av de forsurende stoffene som slippes ut i Norge er nitrogenoksider. Biltrafikken bidrar med omtrent 34% av NO_x-utslippene og 5% av svovelutslippene. Hovedkilden til sur nedbør i Norge er imidlertid langtransportert forurensning. For å vurdere norsk veitrafikks bidrag til forsuring, er det nødvendig å se på avsetning av bilparkens utslipp av NO_x i Norge i forhold til mengdene forsurende stoffer som kommer inn over Norge i luft og nedbør, og som avsettes. Norsk veitrafikks bidrag til forsuring er antagelig lite.

Troposfærisk ozon og skogskader

Nitrogenoksider og hydrokarboner (flyktige organiske forbindelser, VOC) kan reagere i atmosfæren under påvirkning av sollys, og danne fotokjemiske oksidanter som ozon. Høye konsentrasjoner av fotokjemiske oksidanter er derfor et vår- og sommerproblem. Hovedkildene til flyktige organiske forbindelser er bruk og håndtering av petroleumsprodukter og fordampning av løsemidler.

Den viktigste fotokjemiske oksidanten som dannes er ozon, som ved høye konsentrasjoner kan gi skader på helse, vegetasjon og materialer. Dessuten virker ozon som en drivhusgass. Ozon-nivået i troposfæren over Europa er tilnærmet fordoblet i løpet av dette århundre. I tillegg forekommer det hver sommer perioder med høye konsentrasjoner (dvs. konsentrasjoner over de nivåer som gir skader på f.eks. vegetasjon) over mesteparten av Sentral-Europa, men også i Norge er verdiene til tider over aksepterte "tålegrenser".

Sammenhengen mellom utslipp av nitrogenoksider/flyktige organiske forbindelser og ozonkonsentrasjonene, bestemmes av meteorologiske forhold og en lang rekke kjemiske reaksjoner. Sammenhengen er ikke-lineær, det er derfor vanskelig å beregne effekten av utslippsreduksjoner. Sterkt forenklet kan en si at økningen i bakgrunnsnivået av ozon skyldes økt konsentrasjon av nitrogenoksider, mens ozon-konsentrasjonene i de mer ekstreme episodene bestemmes av flyktige organiske forbindelser.

Det hevdes at ozonkonsentrasjonen i luft har sammenheng med registrerte skogskader. Forsøk har vist at ozon kan være skadelig for vegetasjon når konsentrasjonen er større enn:

- 150 µg/m³ som timemiddelverdi
- 50 µg/m³ som 7h-middelverdi, på dagtid i vekstsesongen.

Målinger fra Birkenes på Sørlandet til Svanvik i Øst-Finnmark er nord har vist at dagtidmiddelverdiene i vekstsesongen ofte er høyere enn $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. På stasjonene i Sør-Norge er også timemiddelverdien på $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ overskredet fra 2 til 20 ganger om sommeren.

Drivhuseffekten

Stoffene i bilavgassene som bidrag til økt drivhuseffekt er hovedsakelig CO_2 , CH_4 , N_2O og CO . Både CO og CH_4 vil før eller siden omdannes til CO_2 , men disse reaksjonene er relativt langsomme. Indirekte vil nitrogenoksidene også bidra ved at de inngår ved dannelse av ozon og andre fotokjemiske oksidanter, som også er drivhusgasser.

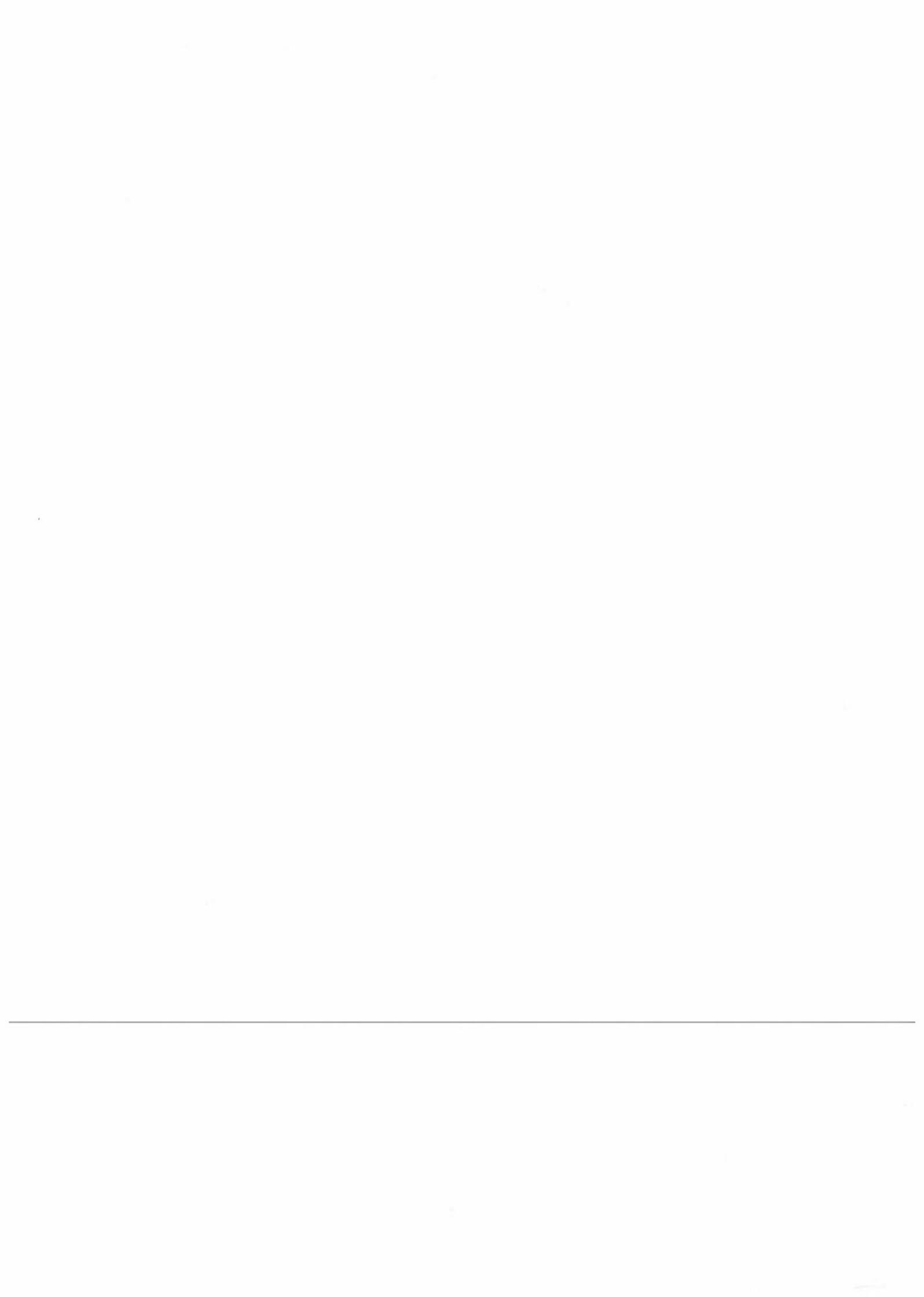
Ved å ta i betraktning mengdene av de nevnte stoffene som slippes ut, ser man at trafikkenes viktigste bidrag til drivhuseffekten skyldes utslippene av CO_2 .

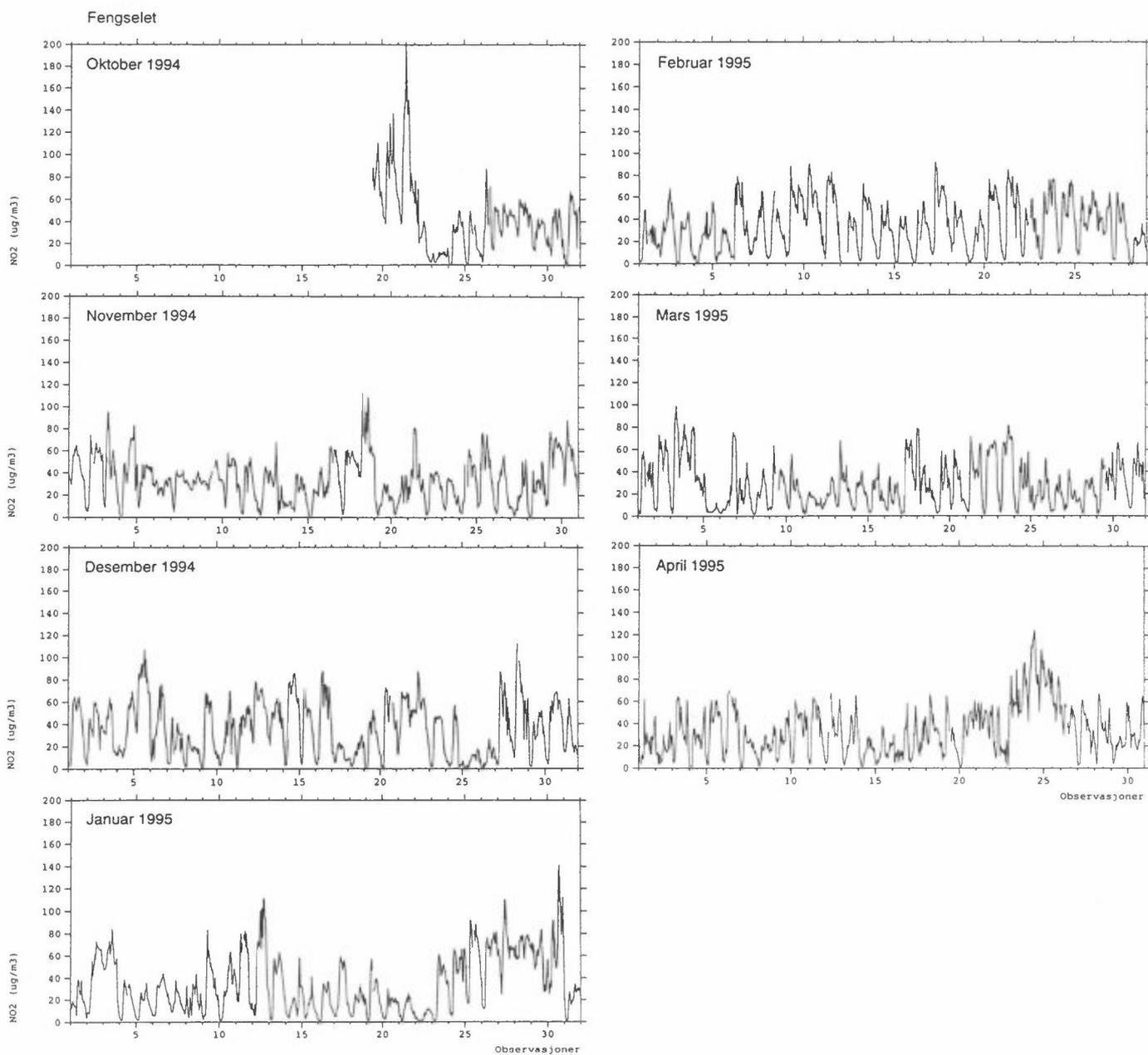
Vedlegg B

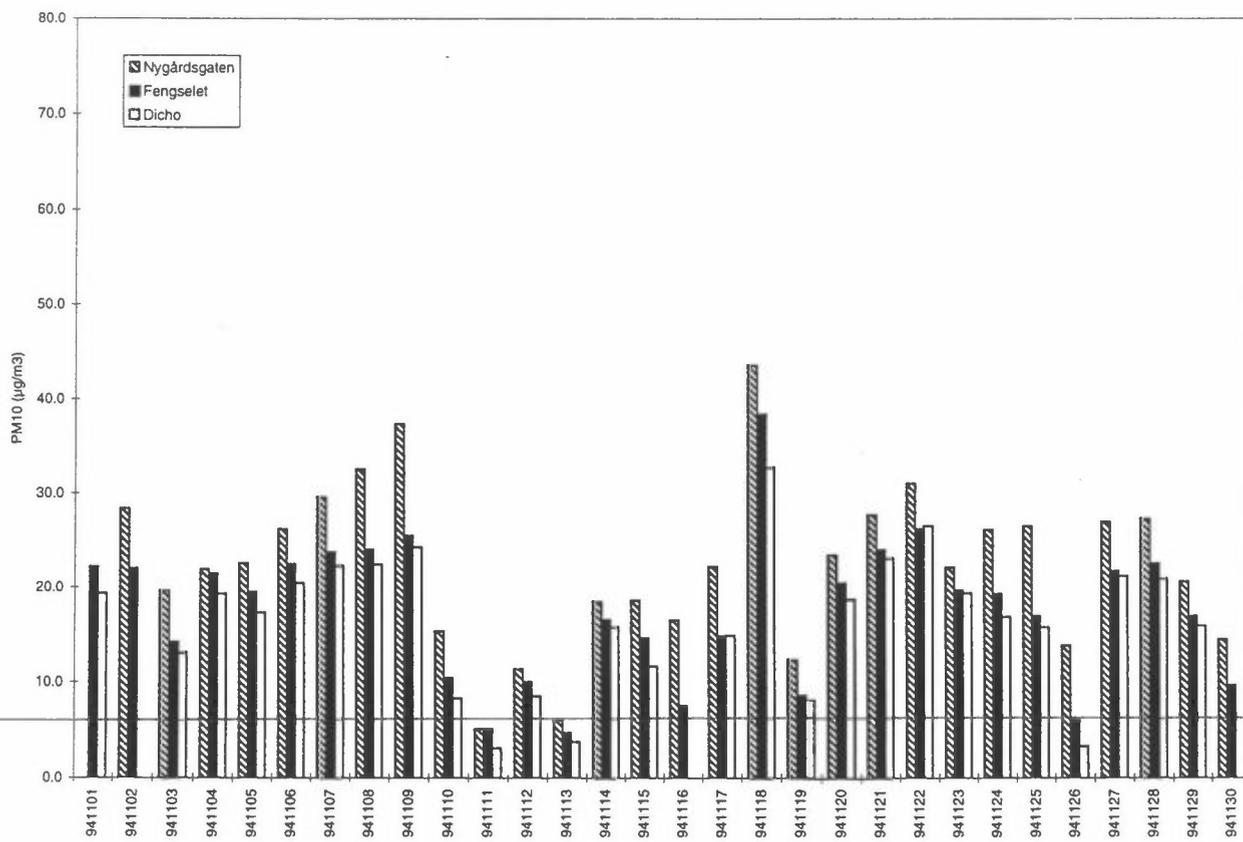
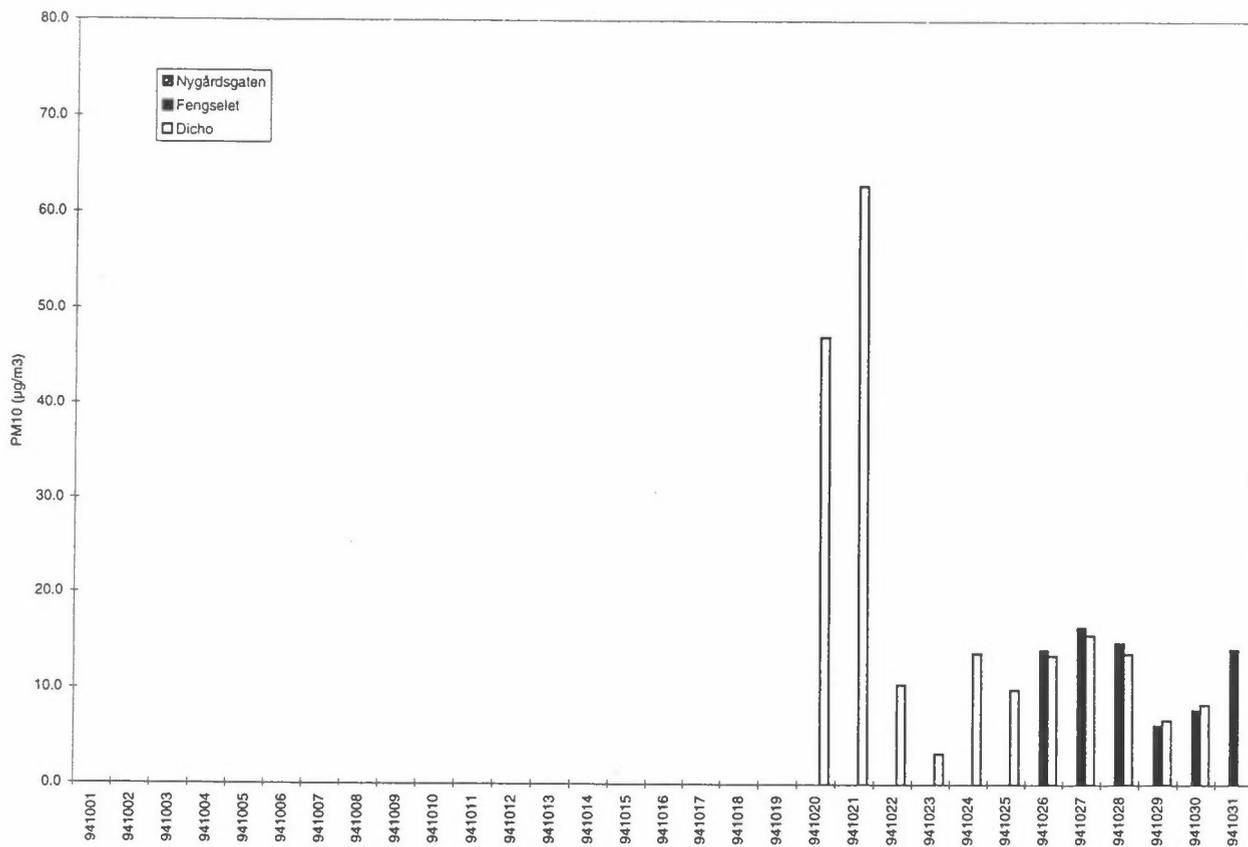
Resultater av målinger i Bergen

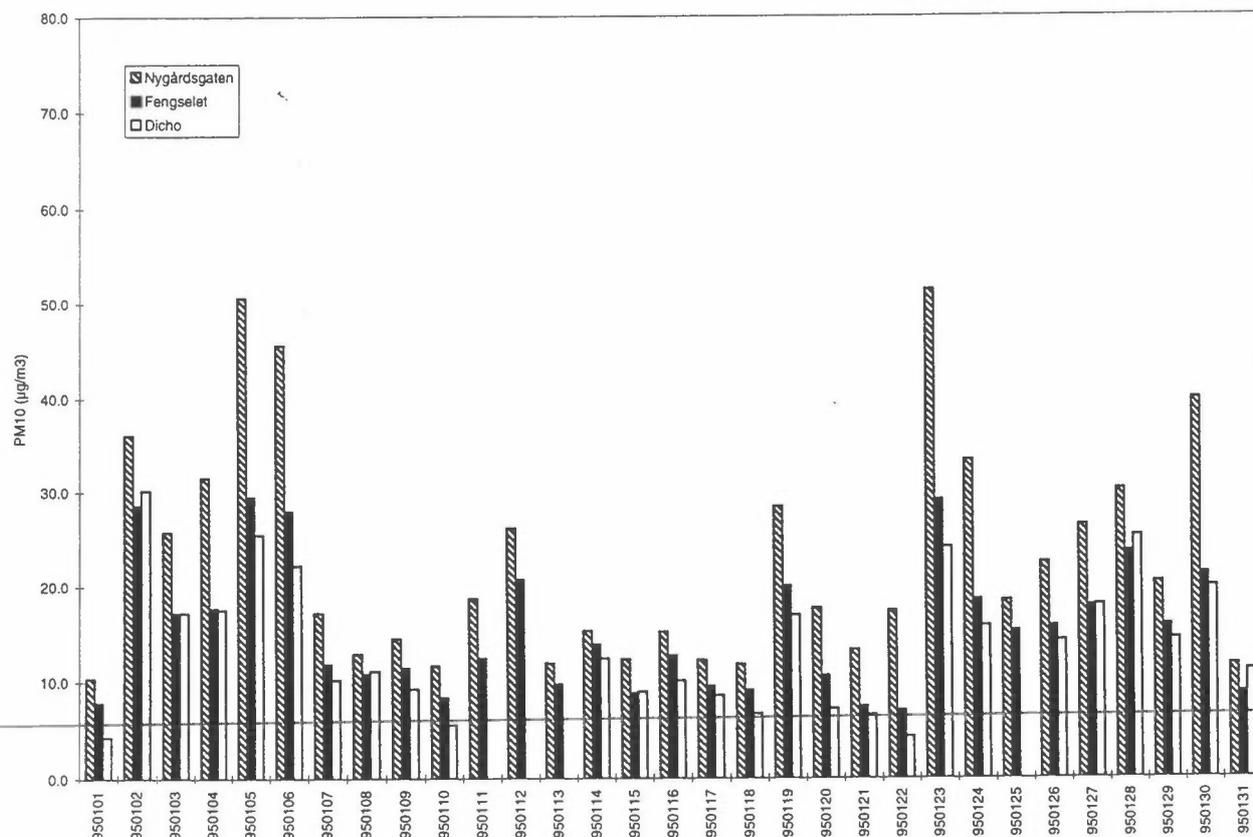
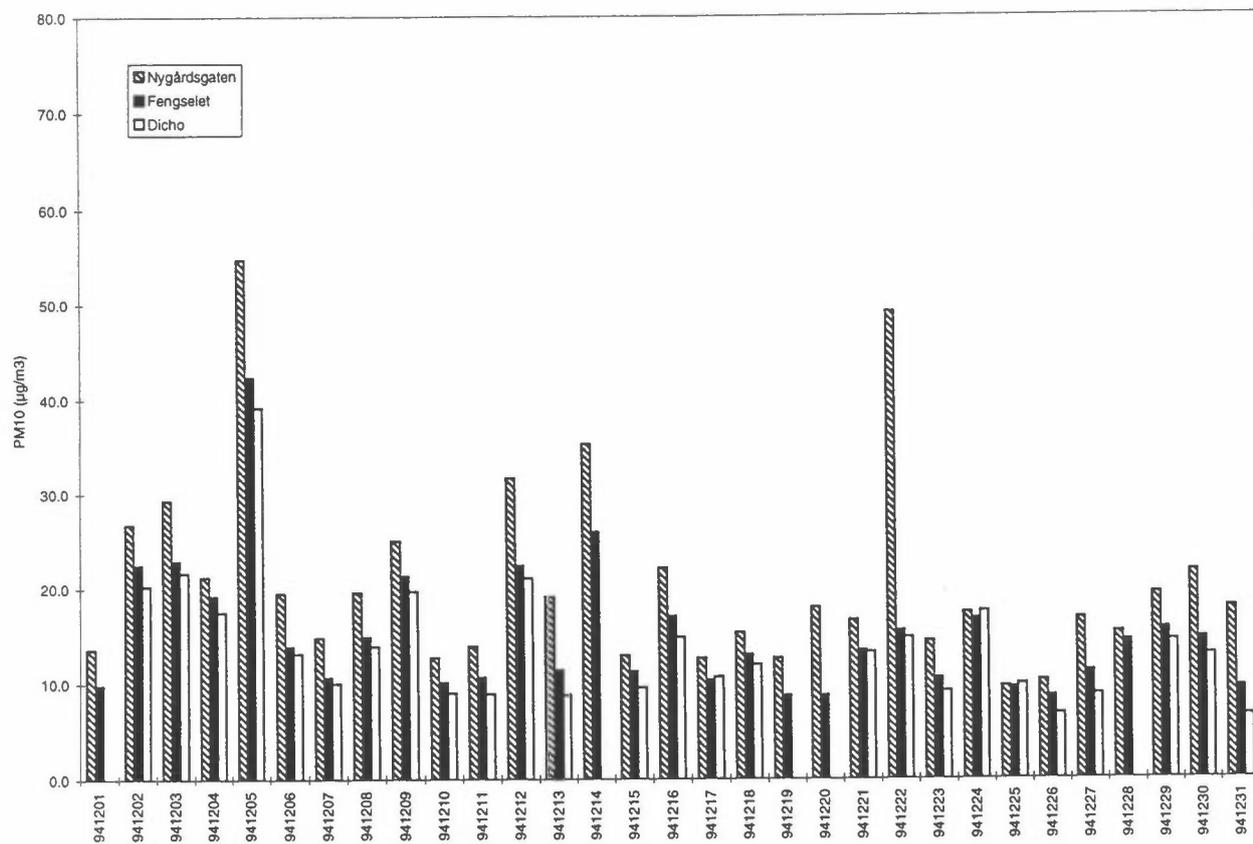
**B1 NO₂- og PM₁₀-konsentrasjoner målt i perioden
19.10.94-30.4.95**

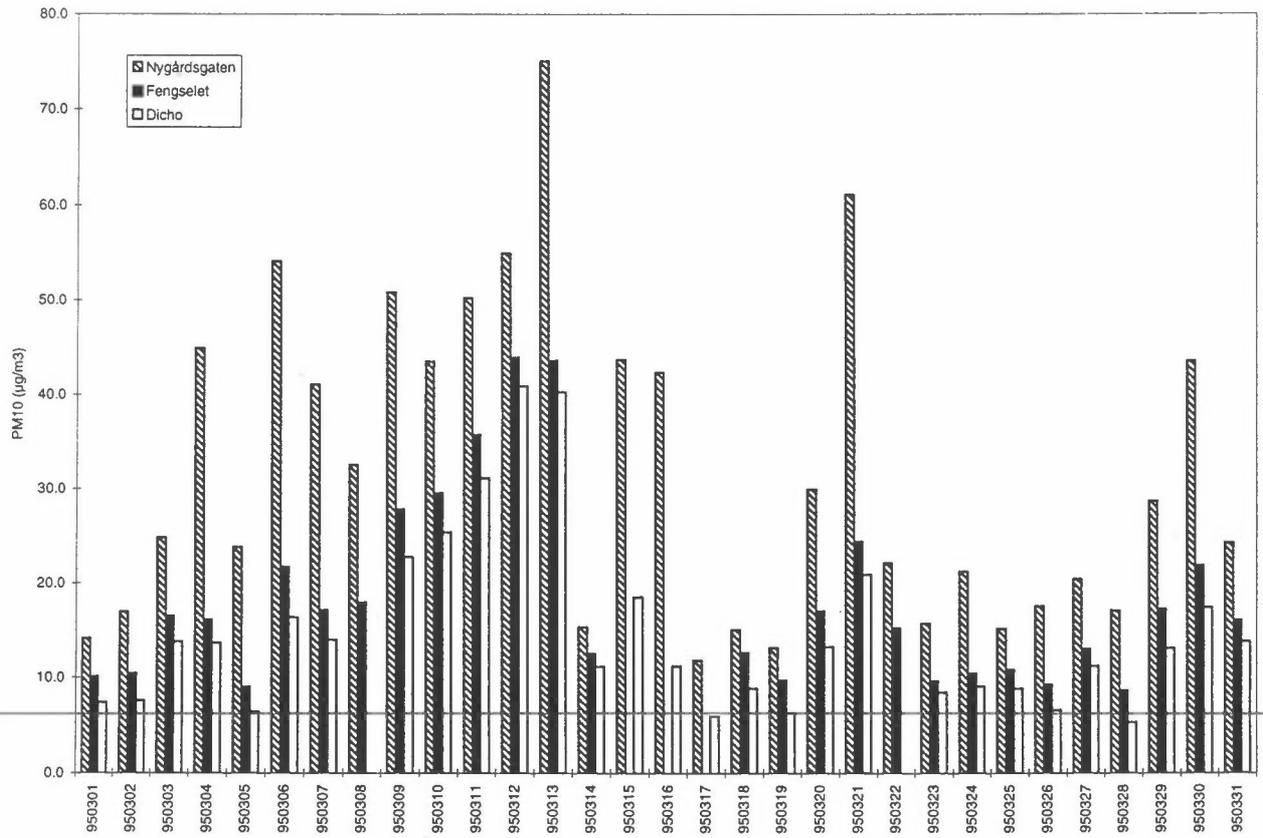
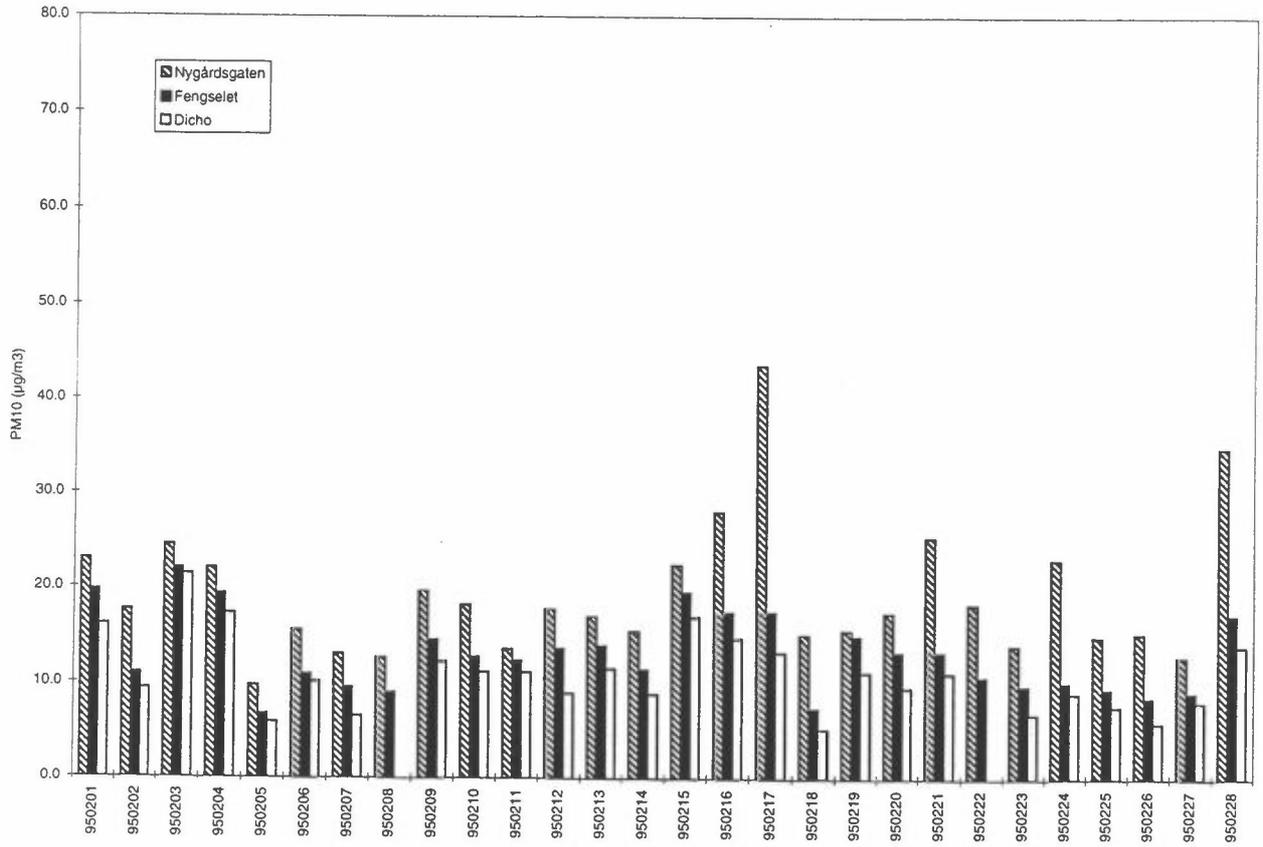
**B2 Frekvens av vind i 30-graders sektorer i perio-
den 1961-1975**

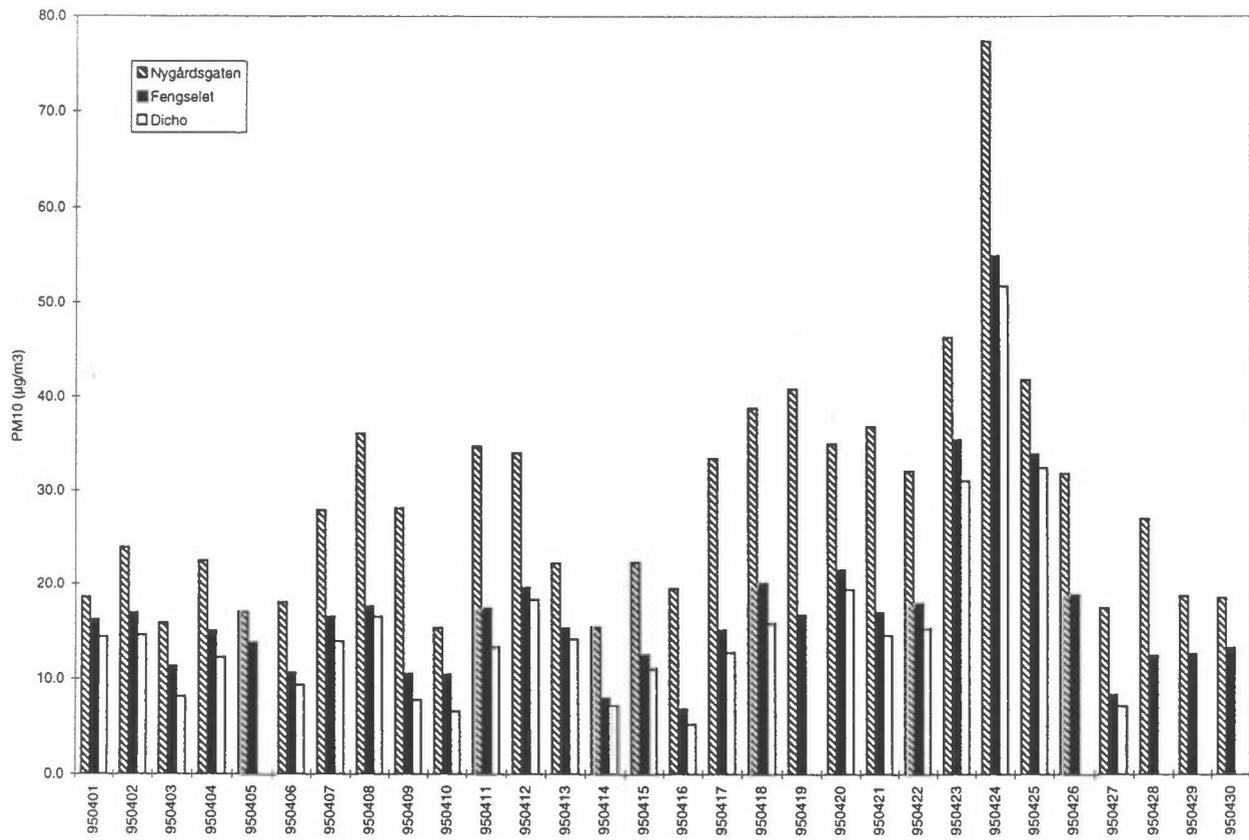












Meteorologiske forhold

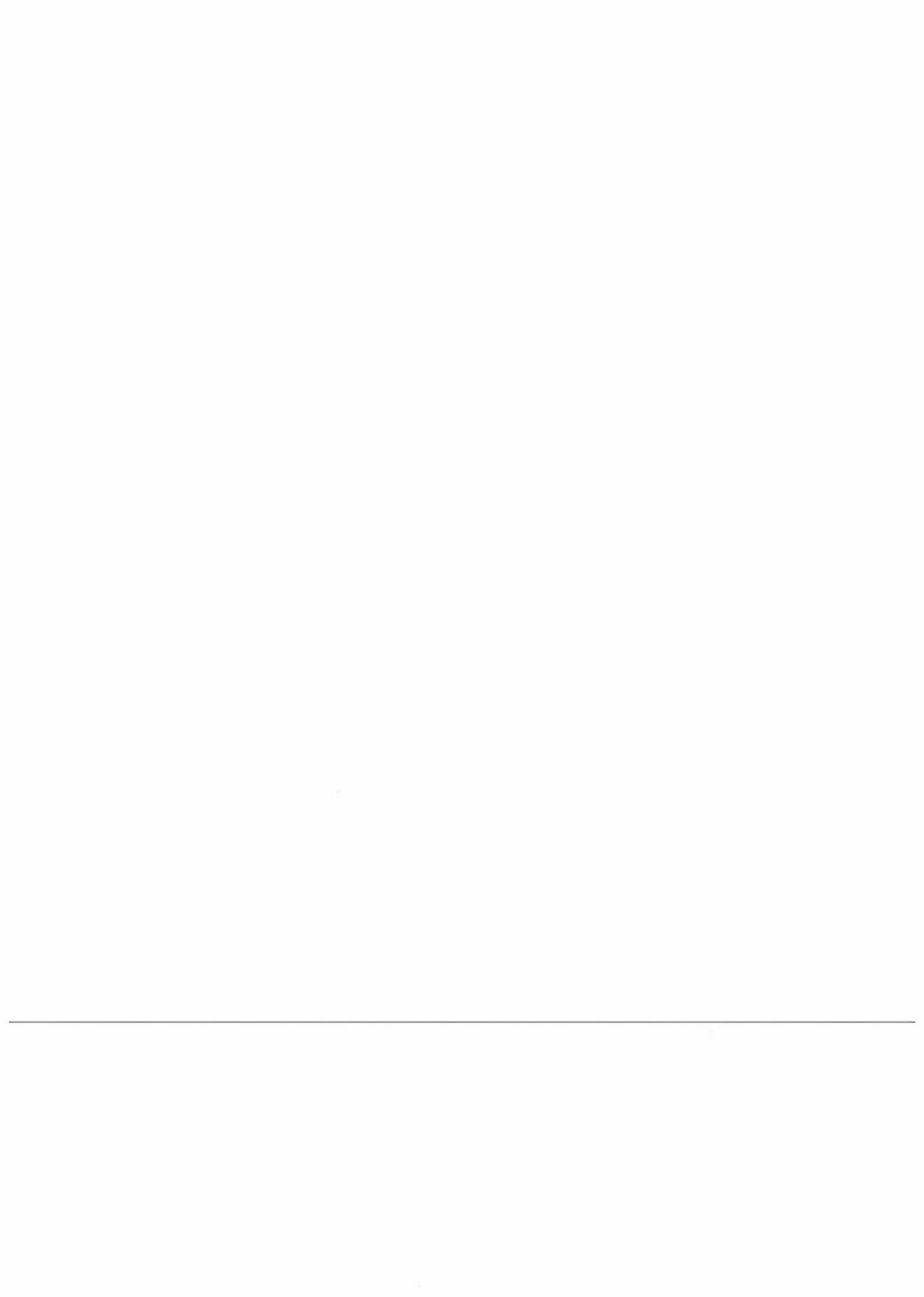
Spredningsmeteorologiske parametre er registrert på målestasjonen Florida ved Nygårdstangen siden 1946. Frekvensen av vind i ulike 30 graders sektorer er vist i tabell B1.

Tabell B1: Frekvens av vind i ulike 30 graders sektorer i perioden 1961-1975.
Enhet: prosent.

Vindstryke (m/s)	0,6-1,7	1,8-3,3	3,4-5,2	5,3-7,4	7,5-9,8	9,9-12,4	12,5-15,2	Sum
(345-015) fra nord	0,5	0,8	0,9	0,4	0,1	0,0		2,7
(015-045)	0,2	0,1	0,1	0,0	0,0	-		0,5
(045-075)	0,2	0,2	0,4	0,5	0,1	0,1		1,5
(075-105) fra øst	0,7	0,6	0,6	0,6	0,3	0,1		2,8
(105-135)	2,3	3,0	1,0	0,7	0,2	0,1		7,1
(135-165)	3,5	6,6	8,1	6,0	1,4	0,4	0,1	26,0
(165-195) fra sør	1,2	2,6	4,7	3,7	0,6	0,0		12,9
(195-225)	0,3	0,7	0,6	0,2	0,0	0,0		1,9
(225-255)	0,5	0,7	0,7	0,2	0,0	0,0		2,1
(255-285) fra vest	1,1	1,1	0,7	0,6	0,2	0,0		3,6
(285-315)	2,3	4,0	3,2	0,7	0,2	0,0		10,3
(315-345)	1,7	4,1	4,9	3,2	0,8	0,2		15,0
Sum	14,3	24,5	25,8	16,8	3,8	0,9		100,0
Vindstille 13,7 prosent								

Vedlegg C

Trafikktall for veisystemet utenfor tunnelmunningene



Trafikktall for veisystemet utenfor tunnelmunningene

Figur C1 viser veisystemet utenfor tunnelmunningene på Møhlenpris og tabell C1 viser årsdøgntrafikken og bredden til veisegmentene i dette systemet. Veisegmentene er angitt ved koordinatene til to endepunkter (x_1, y_1) og (x_2, y_2) . Koordinatene x og y er angitt som km fra utgangspunktet i det økonomiske kartverket i Bergen. X-aksen er rettet fra vest mot øst og y-aksen er rettet fra sør mot nord. Følgende tegningsnummer er benyttet ved koordinatbestemmelsene:

Møhlenpris : V1.2-2-CO3 og V1.3-2-CO1
Nygårdstangen : V1.1-2-CO1

Figur C2 viser veisystemet utenfor tunnelmunningen på Nygårdstangen, og tabell C2 viser årsdøgntrafikken og bredden til veisegmentene i dette systemet. Koordinatene er angitt på samme måte som i figur C1.

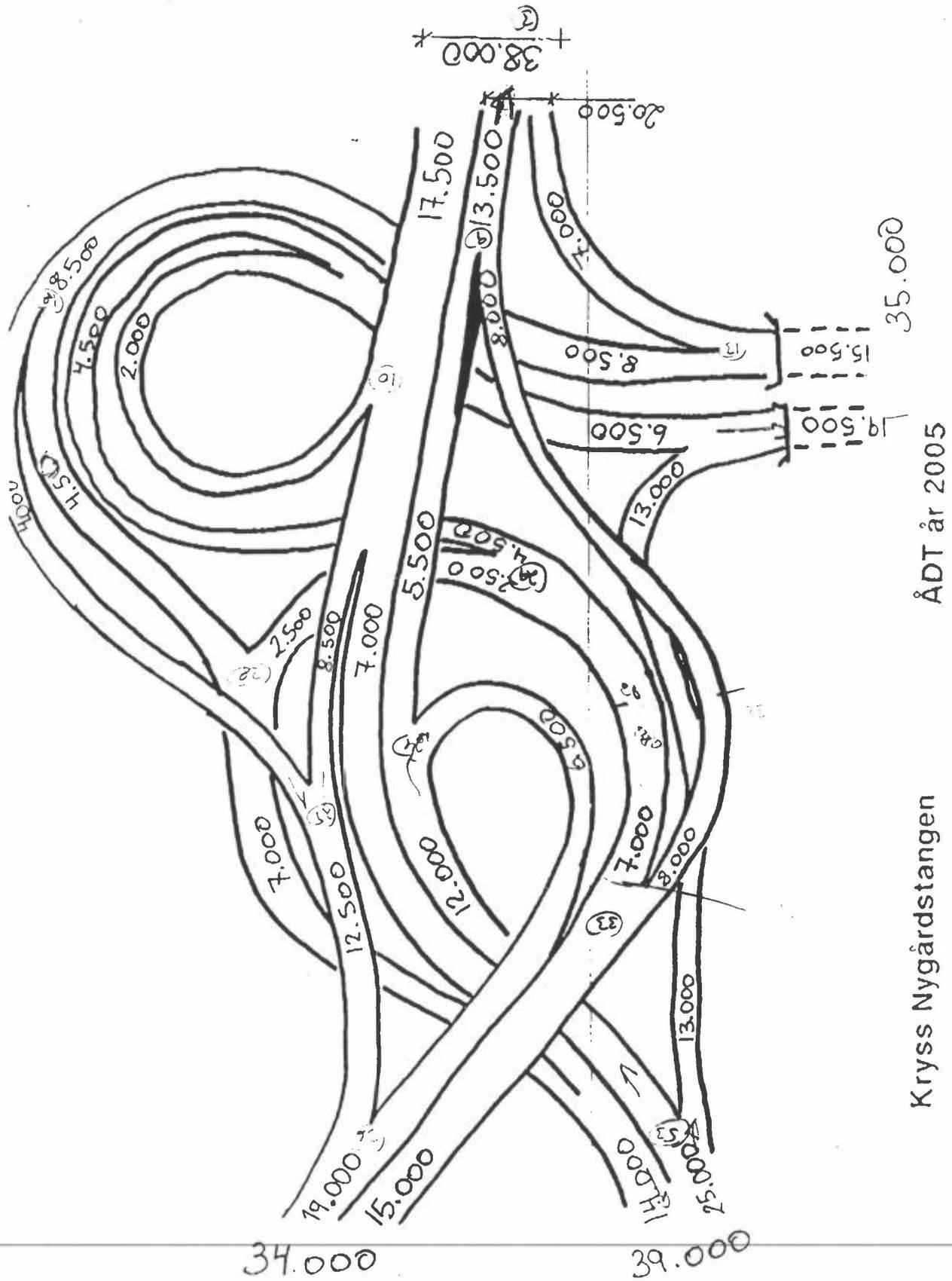
Tabell C1: ÅDT og bredde på veisegmentene utenfor tunnelmunningene på Møhlenpris.

Enheter: x : km
 y : km
 bredde : m
 ådt : biler/døgn

MØHLENPRIS

Start

segment	x1	y1	x2	y2	bred	ådt
1 2	5.130	5.385	5.195	5.240	10	29000
2 3	5.195	5.240	5.205	5.250	10	25000
3 4	5.205	5.250	5.230	5.245	15	25000
4 5	5.230	5.245	5.325	5.170	7.5	25000
5 6	5.325	5.170	5.345	5.160	10	25000
7 8	5.405	5.140	5.390	5.130	10	3000
8 9	5.390	5.130	5.370	5.135	10	3000
6 9	5.345	5.160	5.370	5.135	5	1500
6 10	5.345	5.160	5.380	5.155	10	10500
6 21	5.345	5.160	5.400	5.165	10	16000
9 10	5.370	5.135	5.380	5.155	10	1500
10 11	5.380	5.155	5.410	5.150	10	12000
11 12	5.410	5.150	5.415	5.135	15	12000
12 13	5.415	5.135	5.380	5.075	7.5	12000
13 14	5.380	5.075	5.315	4.980	10	29000
15 27	5.330	4.970	5.395	5.065	10	26000
27 17	5.395	5.065	5.410	5.090	10	10000
17 20	5.410	5.090	5.435	5.110	10	10000
13 18	5.380	5.075	5.405	5.100	5	17000
18 19	5.405	5.100	5.430	5.130	5	17000
21 22	5.400	5.165	5.435	5.150	7.5	16000
22 23	5.435	5.150	5.455	5.125	10	16000
23 24	5.455	5.125	5.445	5.100	7.5	16000
24 25	5.445	5.100	5.425	5.085	5	16000
25 27	5.425	5.085	5.395	5.060	5	16000
16 31	5.395	5.065	5.285	5.135	5	2500
31 32	5.285	5.135	5.280	5.145	7.5	2500
32 33	5.280	5.145	5.255	5.165	5	7000
26 28	5.390	5.055	5.280	5.125	5	5500
28 29	5.280	5.125	5.265	5.125	7.5	5500
28 31	5.280	5.125	5.285	5.135	7.5	5500
29 30	5.265	5.125	5.240	5.080	10	11000
29 33	5.265	5.125	5.255	5.165	7.5	5500
33 34	5.255	5.165	5.205	5.225	7.5	14000
34 2	5.205	5.225	5.195	5.240	7.5	14000



Figur C2: Kart over veisystemet utenfor tunnelmunningene ved Nygårdstangen.

Tabell C2: ÅDT og bredde på veisegmentene utenfor tunnelmunningene på Nygårdstangen.

Enheter: x : km
 y : km
 bredde : m
 stigning : prosent
 ådt : biler/døgn

NYGÅRDS TANGEN

Start segment	x1	y1	x2	y2	bred	stigning	ådt
2 4	6.258	4.564	6.268	4.652	12	0	17500
3 1	6.254	4.654	6.245	4.564	12	0	20500
4 7	6.268	4.652	6.276	4.702	12	0	17500
5 3	6.257	4.705	6.254	4.654	5.5	0	7000
6 3	6.264	4.704	6.254	4.654	9	0	13500
7 10	6.276	4.702	6.299	4.815	12	4	17500
8 77	6.260	4.800	6.260	4.760	5.5	6	7000
9 6	6.279	4.782	6.264	4.704	10	-4	13500
10 21	6.299	4.815	6.330	4.850	5.5	-3	2000
10 23	6.299	4.815	6.314	4.950	12	0	7000
10 69	6.299	4.815	6.320	4.900	5.5	0	8500
11 8	6.240	4.821	6.260	4.800	5.5	6	7000
12 17	6.242	4.830	6.320	4.774	9	0	8500
13 11	6.192	4.827	6.240	4.821	5.5	0	7000
13 12	6.192	4.827	6.242	4.830	9	0	8500
14 66	6.190	4.842	6.100	4.836	12	-3.6	19500
15 14	6.232	4.870	6.190	4.842	5.5	0	13000
16 14	6.250	4.845	6.190	4.842	9	0	6500
17 71	6.320	4.774	6.370	4.770	9	0	8500
18 25	6.397	4.792	6.411	4.855	5.5	0	4000
18 26	6.397	4.792	6.395	4.860	9	0	4500
19 16	6.307	4.802	6.250	4.845	9	0	6500
20 19	6.364	4.796	6.307	4.802	5.5	-4	2000
21 82	6.330	4.850	6.376	4.837	5.5	-6	2000
22 28	6.318	4.886	6.347	4.918	9	0	2500
23 80	6.314	4.950	6.287	5.000	12	-6	7000
24 67	6.300	4.945	6.284	4.920	5.5	0	6500
24 81	6.300	4.945	6.287	4.806	9	0	5500
25 78	6.411	4.855	6.373	4.907	5.5	5.6	4000
26 28	6.395	4.860	6.347	4.918	9	0	4500
27 49	6.326	4.950	6.315	5.037	12	0	12500
28 48	6.347	4.918	6.345	4.970	9	0	7000
29 22	6.255	4.890	6.318	4.886	9	-2	2500
29 76	6.255	4.890	6.290	4.868	5.5	-4.6	4500
31 65	6.358	4.872	6.390	4.836	5.5	0	4500
32 55	6.212	4.930	6.256	4.856	5.5	0	8000
33 32	6.250	5.000	6.212	4.930	5.5	0	8000
33 68	6.250	5.000	6.230	4.955	9	0	8000
35 33	6.325	5.086	6.250	5.000	9	-2.8	15000
36 39	6.336	5.079	6.420	5.217	12	0	14000
38 35	6.410	5.227	6.325	5.086	9	6	15000
40 85	6.512	5.130	6.444	5.138	9	0	8000
40 86	6.512	5.130	6.408	5.166	5.5	0	7000
43 46	6.414	5.130	6.327	4.996	9	0	6500
46 50	6.327	4.996	6.240	5.052	5.5	0	7000
48 46	6.345	4.970	6.327	4.996	5.5	0	7000
49 36	6.315	5.037	6.336	5.079	9	0	19000
50 51	6.240	5.052	6.209	5.168	9	0	19000
52 53	6.193	5.163	6.218	5.077	9	0	25000
53 54	6.218	5.077	6.220	5.051	5.5	0	13000
53 56	6.218	5.077	6.231	5.046	9	0	12000
54 70	6.220	5.051	6.219	4.930	5.5	-1.5	13000
55 9	6.256	4.856	6.279	4.782	5.5	0	5500
56 79	6.231	5.046	6.278	4.992	9	0	12000
57 36	6.259	4.990	6.336	5.079	9	2.8	6500
58 57	6.252	4.937	6.259	4.990	5.5	2.8	6500
63 13	6.100	4.816	6.192	4.827	12	3.6	15500
64 19	6.370	4.784	6.307	4.802	5.5	0	4500
65 64	6.390	4.836	6.370	4.784	5.5	0	4500
67 58	6.284	4.920	6.252	4.937	5.5	2.8	6500
68 29	6.230	4.955	6.255	4.890	9	-6	8000
70 15	6.219	4.930	6.232	4.870	5.5	0	13000
71 18	6.370	4.770	6.397	4.792	5.5	0	8500
76 31	6.290	4.868	6.358	4.872	5.5	-2	4500
77 5	6.260	4.760	6.257	4.705	5.5	3	7000
78 27	6.373	4.907	6.326	4.950	5.5	0	4000
79 24	6.278	4.992	6.300	4.945	9	6	12000
80 50	6.287	5.000	6.240	5.052	12	0	12000
81 9	6.287	4.806	6.279	4.782	9	-4	5500
82 20	6.376	4.837	6.364	4.796	5.5	-6	2000



Norsk institutt for luftforskning (NILU)

Postboks 100, N-2007 Kjeller

RAPPORTTYPE OPPDRAKS RAPPORT	RAPPORT NR. OR 47/95	ISBN-82-425-0708-21	
DATO 6/2-96	ANSV. SIGN. PES	ANT. SIDER 50	PRIS NOK 75,-
TITTEL Tunneler Møhlenpris-Nygårdstangen Vurdering av luftforurensning		PROSJEKTLEDER Knut Erik Grønskei	
		NILU PROSJEKT NR. O-95061	
FORFATTER(E) Knut Erik Grønskei, Ivar Haugsbakk og Frederick Gram		TILGJENGELIGHET * A	
		OPPDRAKSGIVERS REF.	
OPPDRAKSGIVER Statens Vegvesen Hordaland Postboks 3645 5033 FYLLINGSDALEN			
STIKKORD Tunnel	Forurensning	Spredningsberegninger	
REFERAT Tunneler er planlagt bygget mellom Møhlenpris og Nygårdstangen i Bergen. Det er beregnet maksimale konsentrasjoner av CO og NO _x i tunnelene, og det er beregnet minste tilstrekkelig ventilasjonshastighet i tunnelene for å overholde grenseverdier for luftkvalitet i tunnelene, ved ugunstige trafikforhold (rushtrafikk morgen/kveld). Konsentrasjonsreduksjonene som funksjon av avstanden fra utslippsområdet er vist og konsentrasjonene er sammenlignet med SFTs luftkvalitetskriterier.			
TITLE Tunnels in the Møhlenpris-Nygårdstangen area in Bergen. Evaluation of air pollution.			
ABSTRACT Emissions of CO and NO _x from automobile-tunnels planned between Møhlepris and Nygårdstangen in Bergen are calculated, and the effect on air quality is evaluated comparing ambient concentrations with air quality guidelines.			

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