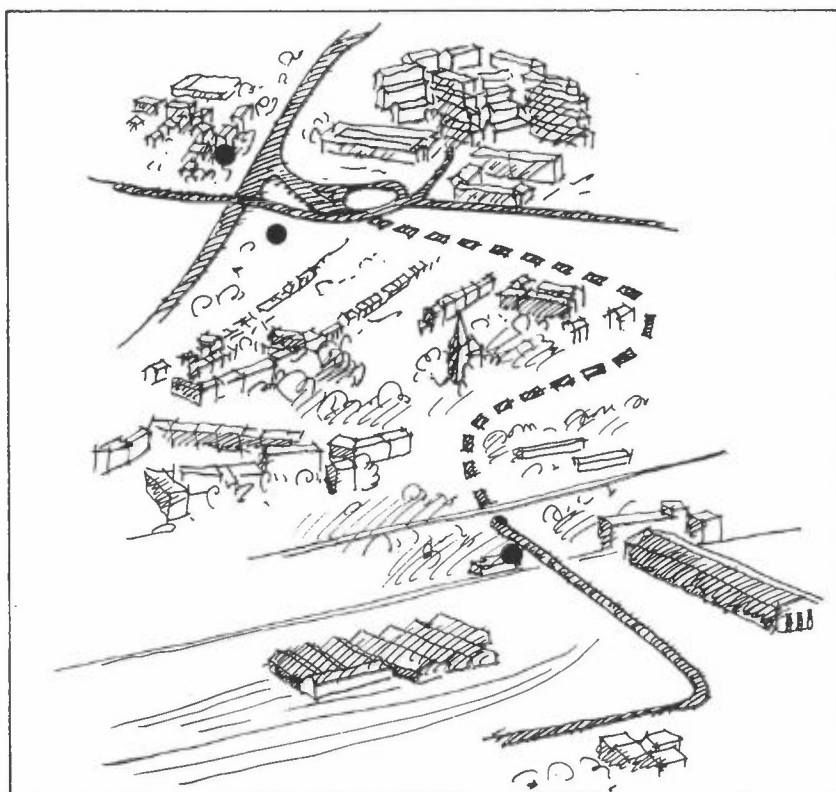


NILU OR: 38/90

NILU OR : 38/90
REFERANSE : O-8865
DATO : AUGUST 1990
ISBN : 82-425-0144-0

LUFTKVALITET OG UTSLIPPSFAKTORER FOR BILEKSOS I VÅLERENGA-TUNNELEN

S. Larssen



SAMMENDRAG

På oppdrag fra Statens Vegvesen v/veisjefen i Oslo og Vegdirektoratets planavdeling og driftsavdeling har NILU utført målinger av lufthastighet og forurensningsnivå inne i Vålerengatunnelens nordgående og sørgående løp.

Hensikten med måleprogrammet var å:

- undersøke luftkvaliteten i tunnelen i relasjon til grenseverdier
- kontrollere inngangsdata brukt i tidligere beregninger av forurensningsbelastningen utenfor tunnelmunningene med hensyn på:
 - utslippsfaktorer for lette og tunge biler
 - lufthastigheten i tunnelen
 - kobling av luft og bileksos mellom tunnellopene (koblingsgrad)
 - NO_2 -andelen av NO_x .

Måleprogrammet omfattet stoffene CO , NO_x , NO_2 , SO_2 , partikler, sot, bly, aldehyder, PAH og mutagenitet, samt trafikktegninger og lufthastighet (bestemt ved hjelp av sporgass). Målingene ble gjennomført i april-mai 1989.

I nordgående løp var trafikkavviklingen alltid god. Kjørehastigheten var ca. 60 km/h. Gjennomsnittlig virkedøgntrafikk var 14 210 biler, med en tungtrafikkandel på ca. 15%. Maksimal rushtidstrafikk (ettermiddag) var ca. 1 350 biler/time, med tungtrafikkandel 8,5%.

I nordgående løp var konsentrasjonen av CO , NO_x og NO_2 alltid mye lavere enn grenseverdiene, på grunn av den gode trafikkavviklingen.

I sørgående løp var trafikkavviklingen også oftest god, med kjørehastighet ca. 70 km/h. Gjennomsnittlig virkedøgntrafikk

var 11 900 biler, med tungtrafikkandel 19%. Maksimal rushtids-
trafikk (morgen) var 1 100 biler/time, med tungtrafikkandel
13,5%.

I sørgående løp var det en del tilfeller med svært dårlig tra-
fikkavvikling (hastigheter så lavt som 7 km/h som timesgjennom-
snitt). I slike situasjoner kom NO_2 -konsentrasjonen opp mot
grenseverdien på $2,8 \text{ mg/m}^3$, mens CO-grenseverdien på 250 mg/m^3
ikke ble overskredet. Høyeste målte CO-konsentrasjon var ca.
 100 mg/m^3 (timesmiddelverdi).

På grunnlag av målingene er det beregnet gjennomsnittlige
utslippsfaktorer for lette bensindrevne biler og dieseldrevne
lastebiler, for stoffene CO, NO_x , NO_2 , partikler, aldehyder,
PAH og mutagene stoffer. De beregnede faktorene for CO og NO_x
stemmer stort sett godt med de faktorene som ble benyttet i de
tidligere beregningene av forurensningsbelastningen ved mun-
ningene.

Koblingsgraden mellom de to enveiskjørtetunnelløpene kan være
svært stor ved Etterstad-munningen. Koblingsgrader opp til ca.
50% ble målt. Ved Lodalen-munningen var koblingsgraden liten,
opptil 10%. I de tidligere beregningene ble 10% benyttet.

En koblingsgrad på 50% betyr at 50% av forurensningskonsentra-
sjonen i utgående tunnelmunning kommer som tillegg til foru-
rensningskonsentrasjonene i den nærliggende, inngående tunnel-
munning.

INNHOOLD

	Side
SAMMENDRAG	1
1 INNLEDNING	5
2 VÅLERENGA-TUNNELEN	6
3 MÅLEOPPLEGG OG METODER	11
3.1 Kontroll av luftkvaliteten inni tunnelen	11
3.2 Måling for beregning av utslippsfaktorer fra trafikkstrømmen	13
3.3 Feilkilder ved målingene	15
4 RESULTATER TRAFIKKREGISTRERINGER	15
5 RESULTATER LUFTFORURENSNINGER	20
5.1 Forurensning, nordgående løp	20
5.1.1 CO, NO _x og NO ₂ (kontinuerlig registrering)	20
5.1.2 SO ₂ , NO ₂ , sot, bly og PM ₁₀ (12-timers middel- verdier)	26
5.2 Forurensning, sørgående løp	30
5.2.1 CO, NO _x og NO ₂ (kontinuerlig registrering)	30
5.2.2 SO ₂ , NO ₂ , sot, bly og PM ₁₀ (12-timers middel- verdier)	35
5.3 Organiske forbindelser	39
5.3.1 Aldehyder	39
5.3.2 Polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH)	40
5.3.3 Mutagenitet	40
5.4 Forurensningsnivå i forhold til grenseverdier ..	41
6 LUFTHASTIGHET I TUNNELMUNNINGENE	45
7 KOBLING MELLOM TUNNELLØPENE	50
8 UTSLIPPSFAKTORER	53
8.1 Metode	53
8.2 Resultater	54
8.3 Vurdering	57
8.3.1 Nordgående løp (3,5% stigning, 60 km/h)	57
8.3.2 Sørgående løp (3,5% fall, 70 km/h)	67
8.4 NO ₂ -andelen av NO _x	74
9 KONTROLL AV INNGANGSDATA BENYTTET I BEREGNING AV FORURENSNINGER UTENFOR TUNNELMUNNINGENE	76
10 REFERANSER	79
VEDLEGG 1: Trafikkregistreringer	81
VEDLEGG 2: Måleresultater, nordgående løp, 10.-23.4.89 og sørgående løp, 24.4.-12.5.89	85
VEDLEGG 3: Ames-test for vurdering av mutagenitet. Beskrivelse	95

LUFTKVALITET OG UTSLIPPSFAKTORER FOR BILEKSOS I VÅLERENGA-TUNNELEN

1 INNLEDNING

På oppdrag fra Statens Vegvesen v/veisjefen i Oslo og Vegdirektoratets planavdeling og driftsavdeling har NILU utført målinger av lufthastighet og forurensningsnivå inne i Vålerenga-tunnelens nordgående og sørgående løp.

Hensikten med måleprogrammet var å:

- undersøke luftkvaliteten i tunnelen i relasjon til grenseverdier
- kontrollere inngangsdata brukt i tidligere beregninger av forurensningsbelastningen utenfor tunnelmunningene med hensyn på:
 - utslippsfaktorer for lette og tunge biler
 - lufthastigheten i tunnelen
 - kobling av luft og bileksos mellom tunnellopene (koblingsgrad)
 - NO_2 -andelen av NO_x .

Målingene ble utført i april-mai 1989.

Dette er en delundersøkelse i et større prosjekt som også omfatter:

- målinger av luftforurensning utenfor munningene av tunnelen før og etter at den ble åpnet (Larssen, 1990)
- spredningsforsøk med sporgass utenfor Etterstad-munningen, for å utprøve NILUs spredningsmodell for tunnelmunninger (Peterson og Tønnesen, 1990).

2 VÅLERENGA-TUNNELEN

Figur 1 viser tunnelens to løp fra Lodalen til Etterstad, med høydeangivelse, tverrslag og målestasjoner.

Tunnelens dimensjoner og stigningsforhold er gitt i tabell 1.

Tabell 1: Vålerenga-tunnelen.
Dimensjoner og stigningsforhold.

	Nordgående løp	Sørgående løp
Lengde (m)	820	820
Stigning (% ,gjennomsnitt)		
- hele tunnelen	3,8	3,9
- mellom målestasjonene (tverrslag 1 og 3)	3,5	3,5
Tverrsnittsareal (m ²)		
- Munning Lodalen		47
- Munning Etterstad	61	
- mellom tverrslagene	78	52

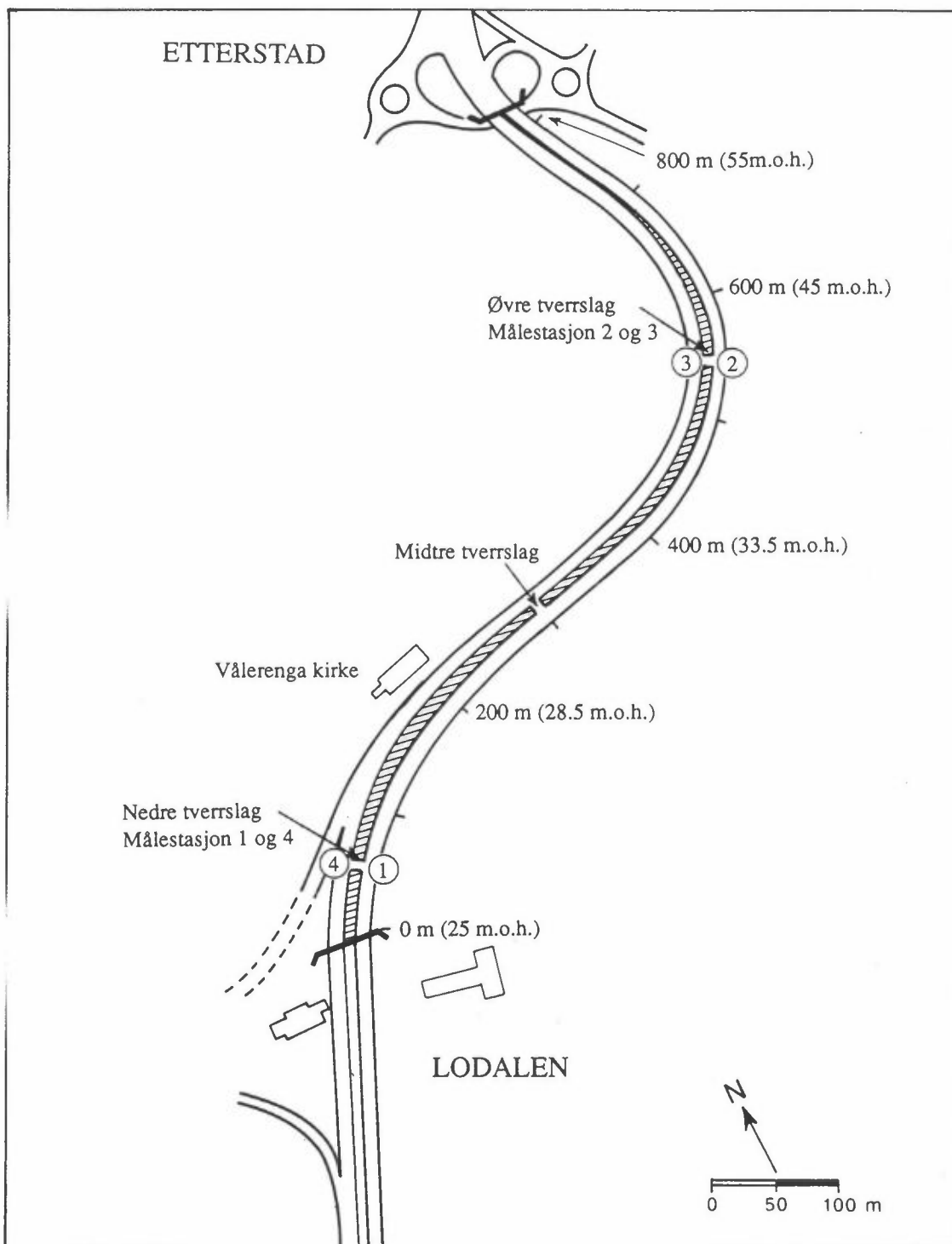
Tunnelen er langsventilert ved hjelp av pumpevirkingen fra bilene i de enveiskjørt løpene, samt aksialvifter som er styrt av CO-konsentrasjonen ved utløpet. Viftene er innstilt til å starte på følgende måte:

Ved 50 ppm CO: 1. trinn starter.

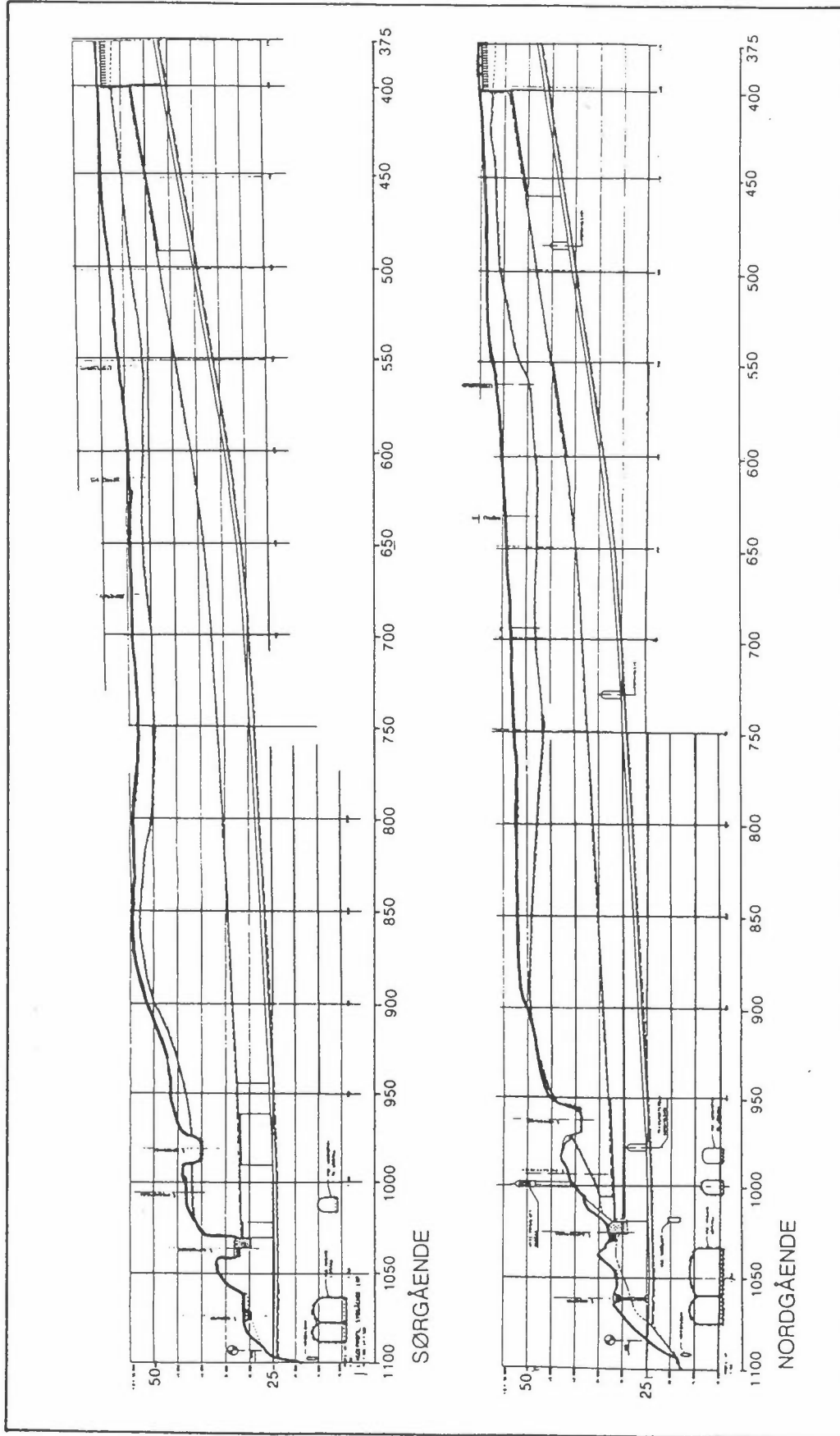
Ved 75 ppm CO: 2. trinn starter.

Ved 100 ppm CO: 3. trinn starter (full viftekapasitet).

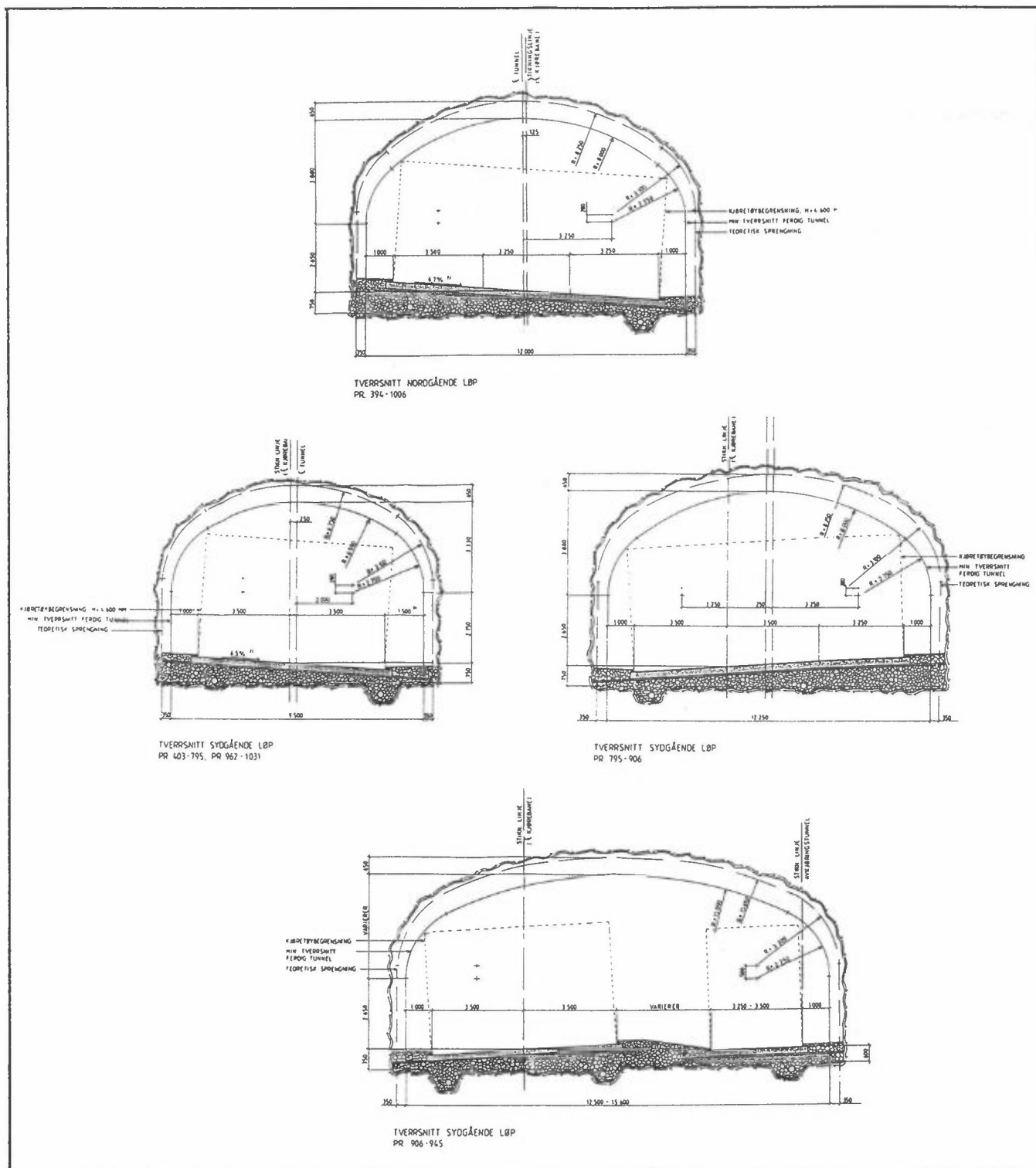
Lengdeprofiler av tunnellopene fra søndre munning (Lodalen) og opp til ca. 150 m fra nordre munning (Etterstad) er vist i figur 2. Figur 3 viser tunneltverrsnittet i ulike deler av tunnelen (ved gitte lengdeprofiler). I figur 4 er vist nordre munning sett ovenfra, fra siden og forfra.



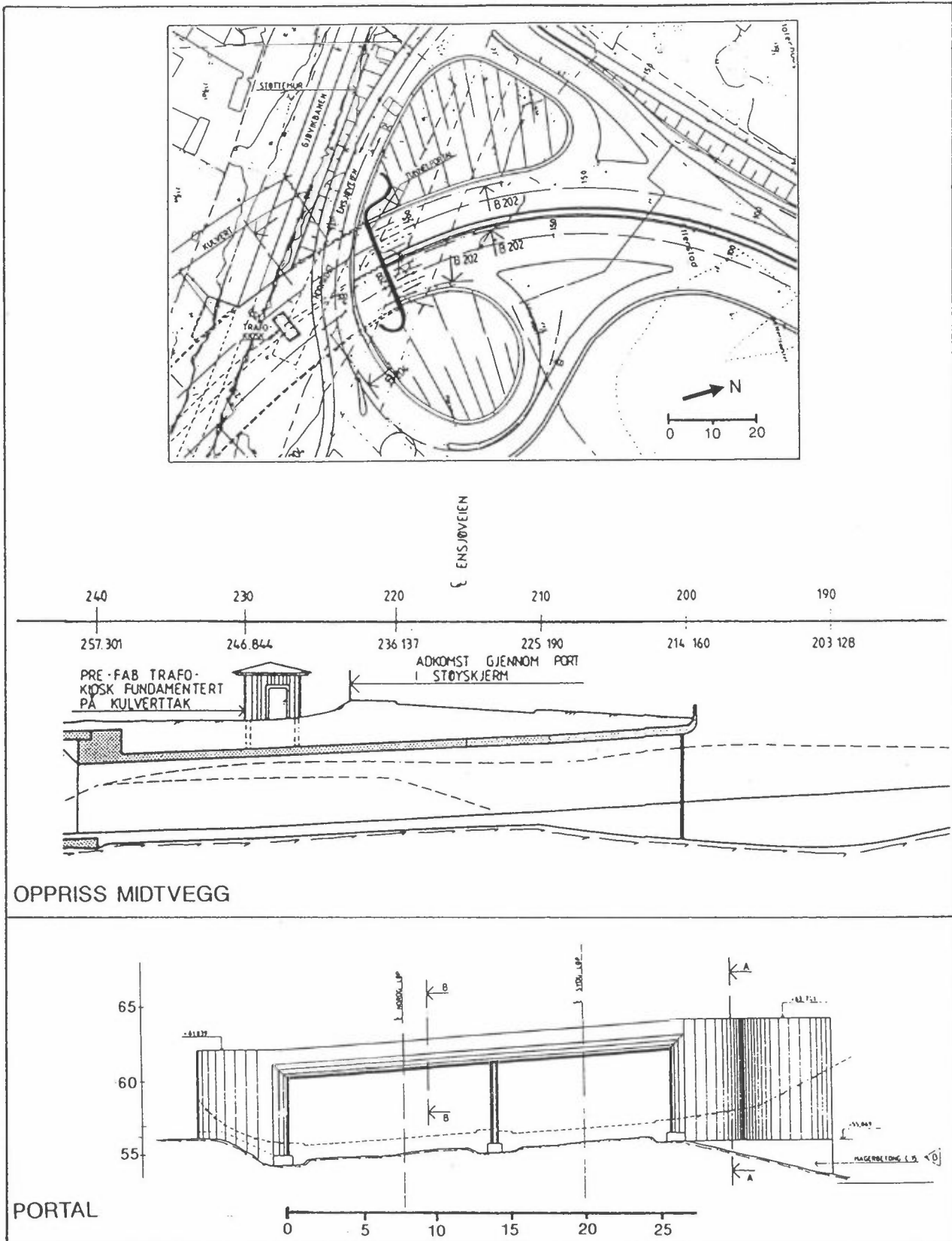
Figur 1: Vålerenga-tunnelens to separate løp mellom Lodalen og Etterstad.



Figur 2: Vålerenga-tunnelen.
Lengdeprofil av nord- og sørgående løp.



Figur 3: Tunneltverrsnitt ved gitte lengdeprofiler.



Figur 4: Nordre munning (Etterstad).

3 MÅLEOPPLEGG OG METODER

3.1 KONTROLL AV LUFTKVALITETEN INNI TUNNELEN

Tverrslagene representerte de eneste praktiske muligheter for plassering av måleinstrumenter.

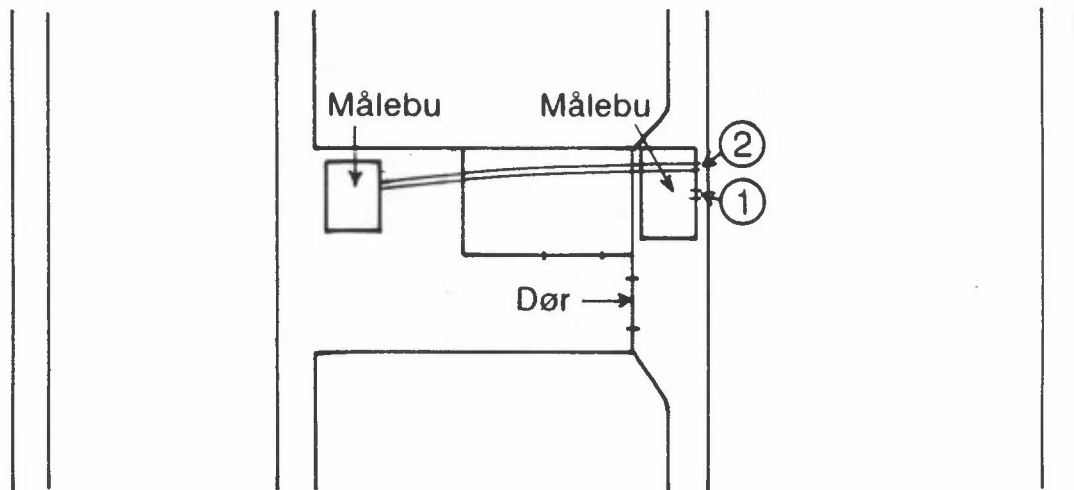
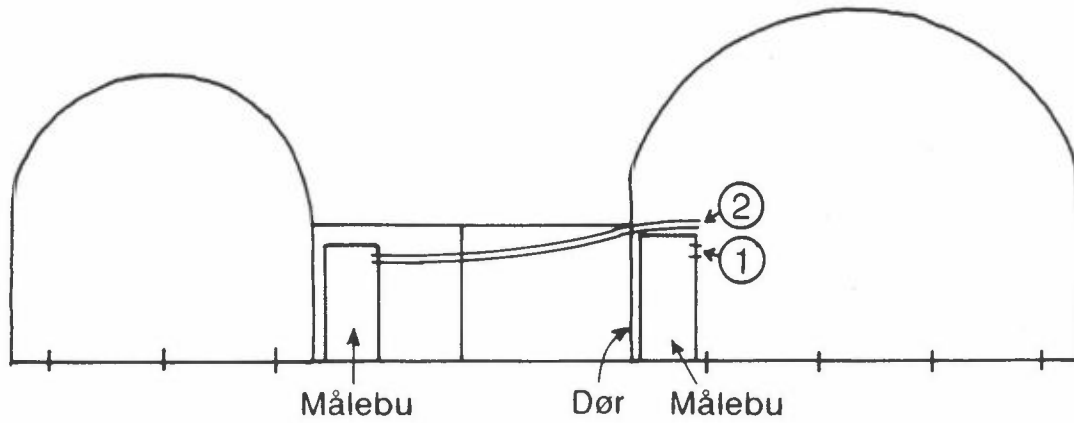
Målinger som gir grunnlag for kontroll av luftkvaliteten i forhold til grenseverdier, ble utført i nordgående løp ved målestasjon 2, og i sørgående løp ved målestasjon 4. I sørgående løp ble målingene gjort like ved utløpet av tunnelen, mens stasjon 2 i nordgående løp er ca. 300 m fra utløpet. Forurensingskonsentrasjonen øker nær proporsjonalt med avstanden fra innløpet, slik at målingene ved stasjon 2 gir grunnlag for å estimere konsentrasjonen ved utløpet.

Målingene ble utført i perioden 8.-23. april i nordgående løp, og 24. april-12.mai i sørgående løp. (I sørgående løp ble CO- og NO_x-målinger også utført 20.-25. mai.)

Målinger direkte i utløpet av nordgående løp på Etterstad ble for øvrig utført i mars 1989 i forbindelse med måleprogrammet utenfor tunnelmunningene.

Tabell 2 gir en oversikt over måleprogrammet ved stasjon 2 og 4 for kontroll av luftkvaliteten i tunnelen. CO, NO_x og NO₂, ble målt ved kontinuerlig registrering, mens for stoffene SO₂, NO₂, sot, bly og PM₁₀ ble det tatt integrerte prøver som gir middelverdi for hver 12-timers-periode kl. 08-20. (For PM₁₀ ble det også tatt nattprøver, kl. 20-08.)

I tverrslagene ble måleinstrumentene plassert i termostatregulerte målebuer. Figur 5 viser en grov skisse av plassering av målebuer, instrumenter og luftinntak i øvre tverrslag. Plasseringen i nedre tverrslag var tilsvarende.



- 1 Luftinntak for integrerte prøver.
- 2 Luftinntak for kontinuerlig registrerende instrumenter.

Figur 5: Skisse av øvre tverrslag med plassering av måleinstrumenter og luftinntak, ved måling i nordgående løp.

Tabell 2: Måleprogram for luftkvalitetskontroll, stasjon 2 og 4.

Midlingstid	Parameter
Kontinuerlig registrering	CO, NO _x , NO ₂ Trafikkmengde, - hastighet, kjøretøy-sammensetning (lengdeklassifisering i 3 lengde-klasser) i hvert kjørefelt*.
12-timers middelverdier	SO ₂ , NO ₂ , sot, bly (kl.08-20) PM ₁₀ ** (kl.08-20 og 20-08)

* Trafikkmålingene ble utført nær nedre tverrslag.

**PM₁₀: Inhalerbart støv (partikler med diameter $d < 10 \mu\text{m}$).
I prøvetakingen skilles det også mellom finfraksjon ($d < 2,5 \mu\text{m}$) og grovfraksjon ($2,5 < d < 10 \mu\text{m}$).

Måleluften til de kontinuerlig registrerende instrumentene for CO og NO_x (NO og NO₂), ble ført gjennom ca. 15 m lange fleksible slanger (diameter 7,5 cm, oppholdstid ca. 5 sekunder) før den gikk inn i instrumentene. Dette førte til noe tap av NO og NO₂ i slangene (se kapittel 3.3).

3.2 MÅLING FOR BEREGNING AV UTSLIPPSFAKTORER FRA TRAFIKKSTRØMMEN

For å beregne utslippsfaktorer av spesifikke stoffer i eksosen fra trafikkstrømmen er det nødvendig å ha data for forurensningsproduksjonen over en gitt lengde av tunnelen, samt trafikkmengde, -sammensetning og luftkvalitet. Disse data fikk vi fram ved å måle forurensningskonsentrasjonen samtidig ved to målestasjoner i hvert tunnelløp (stasjon 1 og 2 i nordgående og stasjonene 3 og 4 i sørgående løp), og samtidig måle lufthastigheten og trafikken gjennom tunnelen.

Lufthastigheten ble målt ved hjelp av en sporstoffteknikk. Sporstoffet, gassen svovelheksafluorid (SF₆), ble sluppet i kjent mengde (cm³/s) ved innløpet av tunnel-løpene, og konsentrasjonen ble målt over tunneltverrsnittet nær utløpet.

Slike målinger av luftkvalitet og lufthastighet ble gjennomført i spesielt utvalgte 3-4-timersperioder (tester), tilsammen 10 tester i hvert løp. Testene ble utført på ulike ukedager og tid på døgnet for å få perioder med forskjellig tungtrafikkandel. Testperiodene er gitt i tabell 3.

Tabell 3: Testperioder for måling av grunnlagsdata for beregning av utslippsfaktorer.

Test nr.	Dato	Tidsperiode (ca.)	Tungtrafikkandel ca. %
	<u>Nordgående løp</u>		
1	12.4 onsdag	0730-1030	22
2		1230-1530	12
3	14.4 fredag	0730-1030	22
4		1230-1530	10
5	21.4 fredag	0730-1030	22
6		1230-1530	10
7	22.4 lørdag	1030-1330	3-4
8		1430-1730	3-4
9	23.4 søndag	1030-1330	3
10		1430-1730	3-4
	<u>Sørgående løp</u>		
11	27.4 torsdag	0930-1330	24
12		1430-1830	11
13	28.4 fredag	0930-1330	22
14		1430-1830	10
15	6.5 lørdag	1030-1330	4
16		1430-1730	4
17	7.5 søndag	1030-1330	4
18		1430-1730	4
19	20.5 lørdag	1030-1330	6
20		1430-1730	6

I disse periodene ble følgende prøvetaking utført:

CO, NO _x , NO ₂	kontinuerlig registrering (se kap. 2.1)
SO ₂ , NO ₂ , sot, bly, PM ₁₀ PAH, HC*, aldehyder, mutagenitet	3-4-timers integrerte prøver
Utslipp og måling av sporstoff (SF ₆)-konsentrasjoner inni tunnelen	15-minutters-prøver hver 1/2-time

* flyktige organiske stoffer med 1-12 C-atomer

3.3 FEILKILDER VED MÅLINGENE

Følgende feilkilder gjorde seg gjeldende ved målingene:

- Tap av NO og NO₂ i tilluft-slangene.

På grunn av plassbegrensning og praktiske muligheter måtte luften til de kontinuerlige instrumentene for CO og NO_x føres gjennom ca. 15 m lange plastslanger med diameter 7,5 cm. Luftens oppholdstid i slangen ca. 5 sekunder. Noe NO og NO₂ ble absorbert i slangen.

Tap i slangen ble målt ved en test utført på Helsfyr målestasjon i februar og mai 1990. I en ren slange var NO- og NO₂-tapet 0-10 µg/m³. I en skitten slange (luft fra gate-miljø hadde blitt sugd gjennom slangen i flere uker) var NO- og NO₂-tapet 10-30 µg/m³ (ved NO₂-konsentrasjon 50-100 µg/m³), men i ett tilfelle var tapet så stort som ca. 100 µg/m³.

- Lekkasje mellom tunnel-løpene.

Dørene i tverrslagene var ikke helt tette, spesielt før 15.4., da lekkasjen i stor grad ble tettet. Lekkasjen førte til noe blanding av luft fra nordgående og sørgående løp i deler av tverrslagsområdene fordi trykkforskjeller i løpene førte til en viss utveksling av luft gjennom tverrslagene.

Fra 15.4. var lekkasjen liten, men tidvis av en viss betydning.

4 RESULTATER, TRAFIKKREGISTRERINGER

Et sammendrag av data fra trafikkregistreringene er vist i tabell 4. Trafikkregistreringer er for øvrig vist i vedlegg 1.

Tabell 4: Sammendrag av data for trafikkregistreringer, april-mai 1989.

		Nordgående løp	Sørgående løp
<u>Døgntrafikk</u>			
Trafikkmengde (biler/døgn)	virkedager	14 170	11 930
	maks.	17 056	13 255
	lørdager	10 310	8 370
	søndager	12 680	11 150
	uke	13 410	11 310
Tungtrafikkandel (prosent)	virkedager	14.8	19.0
	lørdager	3.7	5.7
	søndager	6.2	8.2
Kjørehastighet (km/h)		58.9	68.3
<u>Maks.time, virkedager</u>			
Trafikkmengde, gjennomsnitt (biler/time)		1 283	1 014
		(kl.1530-1630)	(kl.0630-0730)
maksimalt		1 366	1 100
		(kl.1430-1530)	(kl.0630-0730)
Tungtrafikkandel (%)	virkedager	8.5	13.5
Kjørehastighet, gjennomsnitt (km/h)		59.4	67.0
	minimum	49.6	6.7

I det nordgående og stigende løpet var gjennomsnittlig døgntrafikk 13 410 biler. Virkedagstrafikken var i gjennomsnitt 14 170 biler, med 17 056 biler som høyeste registrerte døgntrafikk. På lørdager og søndager var trafikkmengden henholdsvis 73% og 89% av ukegjennomsnittstrafikken. Tungtrafikkandelen var i gjennomsnitt 14,8% på virkedager og mye mindre på lørdager og søndager. Kjørehastigheten (timesgjennomsnitt) varierte svært lite med tiden og var i gjennomsnitt 58,9 km/h ved nedre tverrslag. Det ble i april-mai aldri registrert redusert trafikkavvikling og køproblemer i nordgående løp.

Høyeste timestrafikk var i nordgående løp 1 366 biler. I maks.-timen (kl. 1530-1630) var tungtrafikkandelen i gjennomsnitt 8,5% (mot 14,8% over hele døgnet) og kjørehastigheten stort sett opp mot 60 km/h, med minimumsverdi 49,6 km/h.

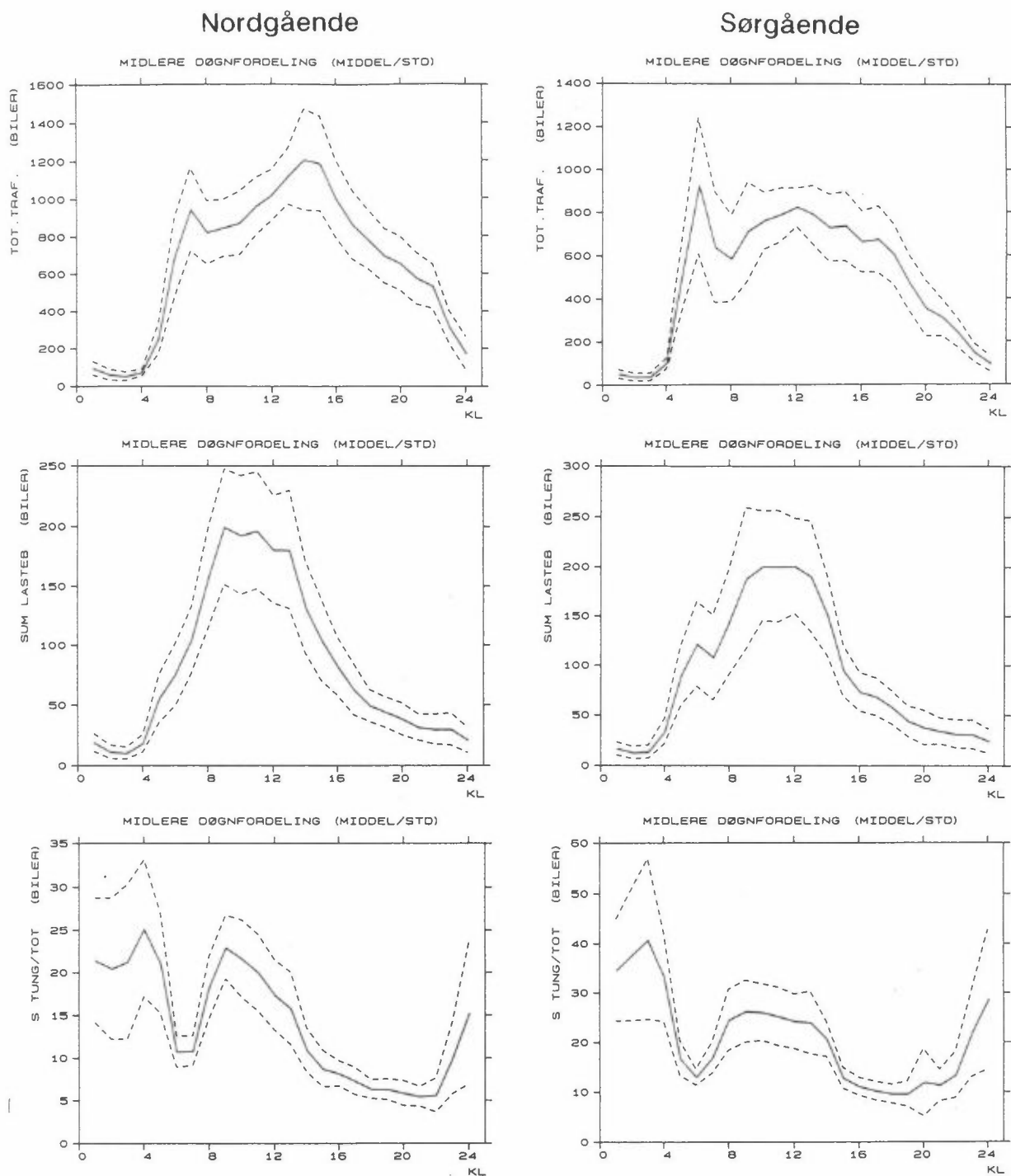
I det sørgående og fallende løpet var trafikkmengden noe mindre, 11 310 biler i gjennomsnitt, 11 930 på virkedager og 13 255 som høyeste registrerte døgntrafikk. Tungtrafikkandelen var en del høyere enn i nordgående løp, 19% på virkedager. Kjørehastigheten var i gjennomsnitt 68 km/h.

Maksimal timestrafikk var 1 100 biler. Tungtrafikkandelen var i rushtiden (morgen) i gjennomsnitt 13,5%, en god del høyere enn i nordgående løp. Kjørehastigheten i rushtiden var i gjennomsnitt 67 km/h, men i sørgående løp var det en del tilfeller med kø i rushtiden om morgenen og redusert kjørehastighet helt ned i 6,7 km/h (timesgjennomsnitt). Slike mer eller mindre ekstreme køproblemer oppsto på 15 dager i løpet av april-mai, slik det framgår i vedlegg 1.

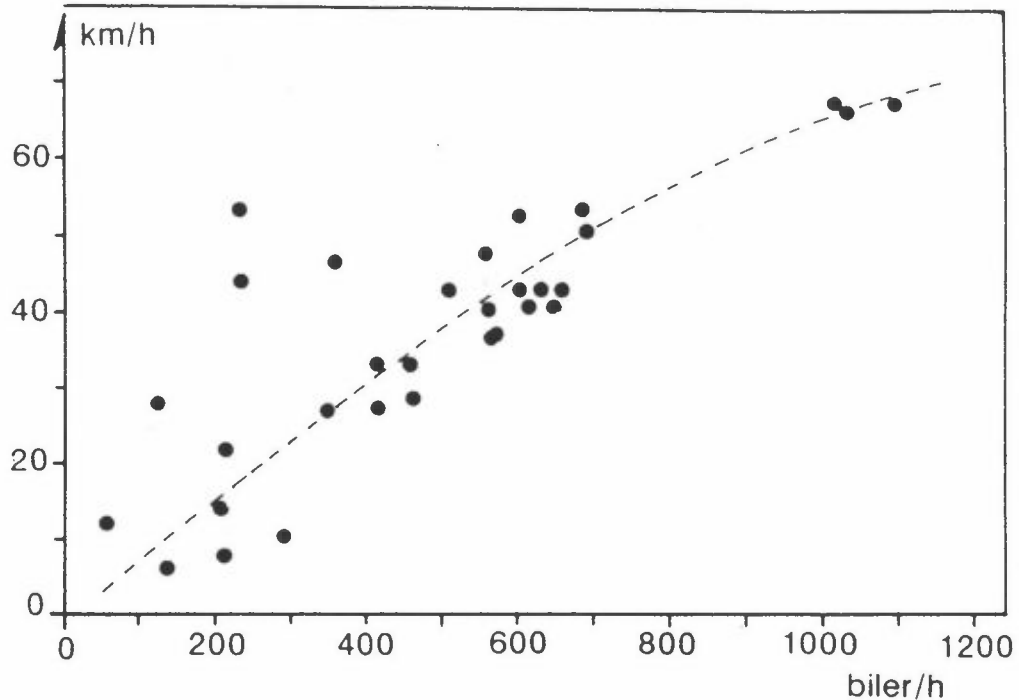
Figur 6 viser hvordan trafikkmengden varierte en gjennomsnittlig virkedag i tunnelen. Rushtrafikktoppene er framtrepende. Lastebiltrafikken har et annet tidsforløp, med en nokså bred topp i perioden 08-12 i nordgående og noe senere i sørgående løp.

Figur 7 viser samhoørende verdier av trafikkmengde og kjørehastighet ved nedre tverrslag i sørgående tunnel i morgenrushet i tilfellene med redusert trafikkavvikling (samt noen punkter for normale trafikkforhold). Punktene som grupperer seg om den stiplede linjen representerer køsituasjoner på grunn av flaskehalsen på sørsiden av Lodalsbrua, dvs. etter tunnelen. Punktene med 200-400 biler/h og ca. 50 km/h kan også representere situasjoner med avviklingsproblemer foran eller i tunnelen (ulykker?).

Tabell 5 gir data for sammensetningen av tungtrafikken, som i tellingene ble klassifisert i 3 lengdeklasser, med grenser 6-10 m, 10-14 m og >14 m, som vi tolker som "lette", "middeltunge" og "tunge" lastebiler. Fordelingen er nær den samme i begge løp, med ca. 50% lette, 10% middeltunge og 40% tunge lastebiler. I rushtidene er andelen tunge lastebiler mindre.



Figur 6: Gjennomsnittlig trafikkvariasjon på virkedager i Vålerenga-tunnelen.



Figur 7: Samtidige observasjoner av trafikkmengde og kjørehastighet (timesmiddelverdier) ved utløpet av sørgående tunneløp, i situasjoner med redusert trafikkavvikling.

Tabell 5: Sammensetning av tungtrafikk (prosent).

Bilklasse	"Lette" lastebiler	"Middeltunge" lastebiler	"Tunge" lastebiler
Lengde	6-10 m	10-14 m	>14 m
<u>Nordgående løp</u>			
Gjennomsnitt, virkedager	53	10	38
Maks.timen (1530-1630)	60	8	32
<u>Sørgående løp</u>			
Gjennomsnitt, virkedager	52	12	36
Maks.timen (0630-0730)	64	11	25

5 RESULTATER, LUFTFORURENSNINGER

5.1 FORURENSNING, NORDGÅENDE LØP

5.1.1 CO, NO_x og NO₂ (kontinuerlig registrering)

Resultater av kontinuerlige målinger av CO, NO_x og NO₂ er vist i figur 8 og 9 for henholdsvis øvre og nedre tverrslag. Trafikkmengden i nordgående løp er vist i figur 8. O₃ ble målt bare i nedre tverrslag (inngangen til tunnelen), og resultatene er vist i figur 9.

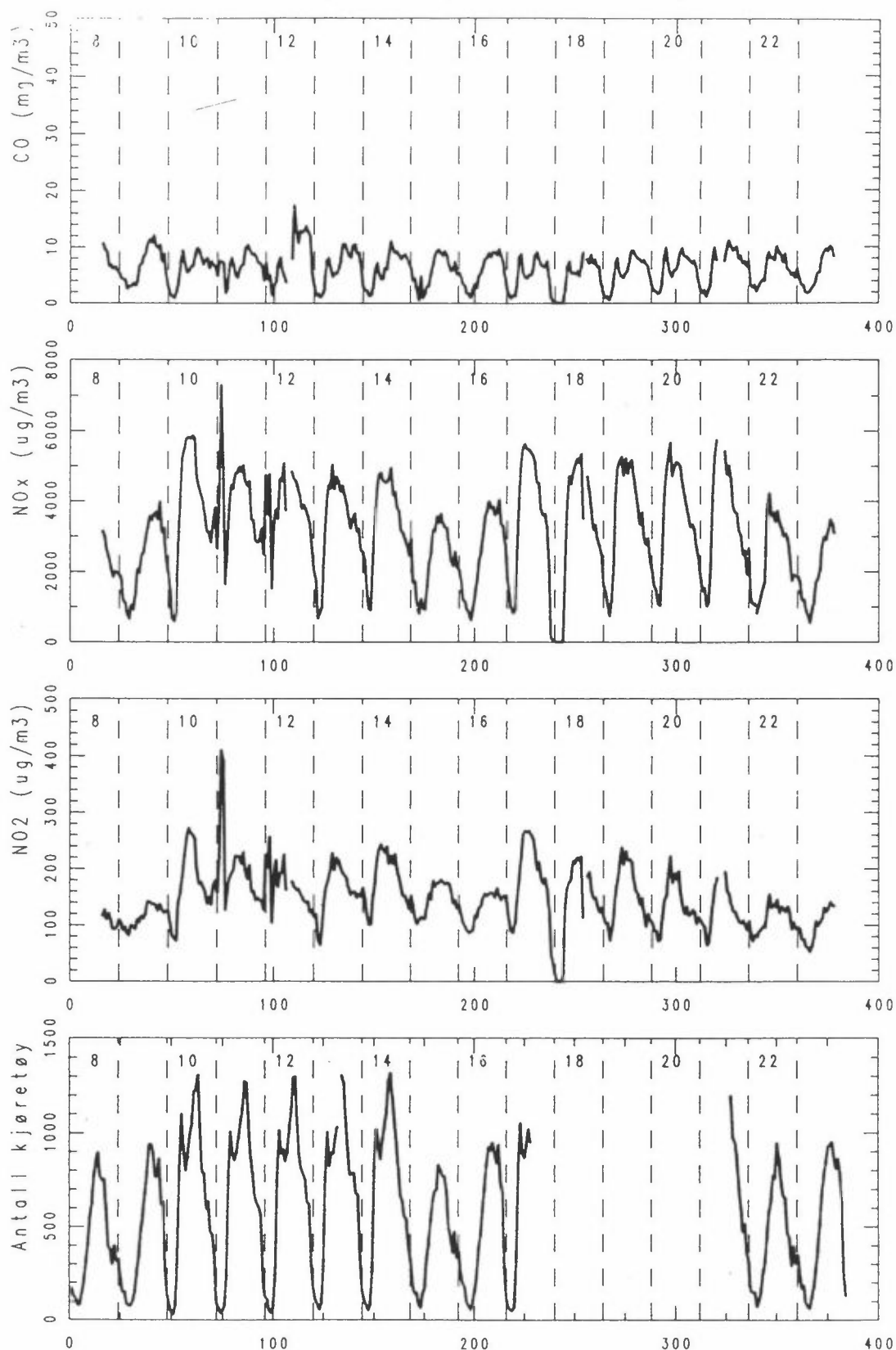
Forurensingsnivået var som ventet mye høyere ved øvre enn nedre tverrslag. Spesielt gjelder dette NO_x. Nordgående løp har en stigning på gjennomsnittlig 4% fra nedre til øvre tverrslag, og NO_x-utslippet er spesielt stort fra tunge dieselbiler i stigning.

NO_x- og NO₂-nivået var svært høyt kl. 01 den 11. april. Da var tunnelen stengt for trafikk, og den ble rengjort. Dieselbilen(e) som sto for rengjøringen ga svært høyt NO_x-nivå, fordi det ikke var utlufting i tunnelen mens rengjøringen pågikk. CO-nivået var ikke spesielt høyt, fordi CO-utslippet fra dieselbiler er lite. Natten til den 18. april var tunnelen stengt, og forurensningsnivået var da nær null.

Nedre tverrslag er like ved den søndre, inngående munningen, slik at målingene der representerer nokså nær forurensningen på veien utenfor tunnelen, samt bidrag fra sørgående tunnel via kobling mellom munningene mot Lodalen (se kapittel 6).

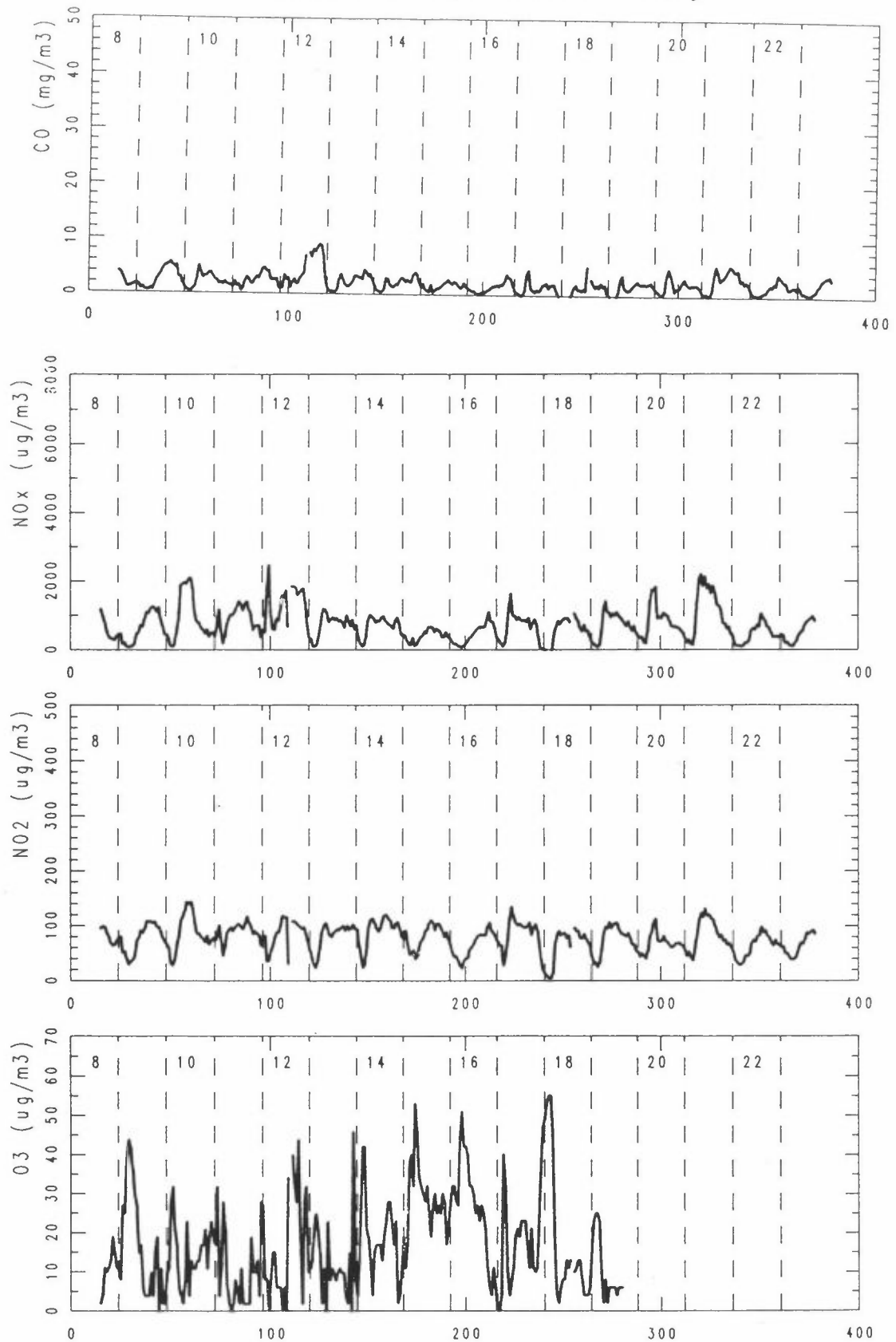
I øvre tverrslag i nordgående løp var høyeste CO-verdi 17,4 mg/m³, svarende til en konsentrasjon i nordre munning (Etterstad) på ca. 30 mg/m³. Dette er vesentlig lavere enn grenseverdien for tunnelluft, som er 250 mg/m³, men noe høyere

Vålerengatunnelen, april 1989
Nordgående løp, øvre tverrslag



Figur 8: CO, NO_x, NO₂ og trafikkmengde (timesmiddelverdier) registrert i nordgående løp, øvre tverrslag.

Vålerengatunnelen, april 1989
Nordgående løp, nedre tverrslog



Figur 9: CO, NO_x, NO₂ og O₃ (timesmiddelverdier) registrert i nordgående løp, nedre tverrslog (ved innløpet).

enn luftkvalitetskravet til uteluft, 25 mg/m^3 . Det lave CO-nivået skyldes at det under måleperioden alltid var god trafikkavvikling i tunnelen.

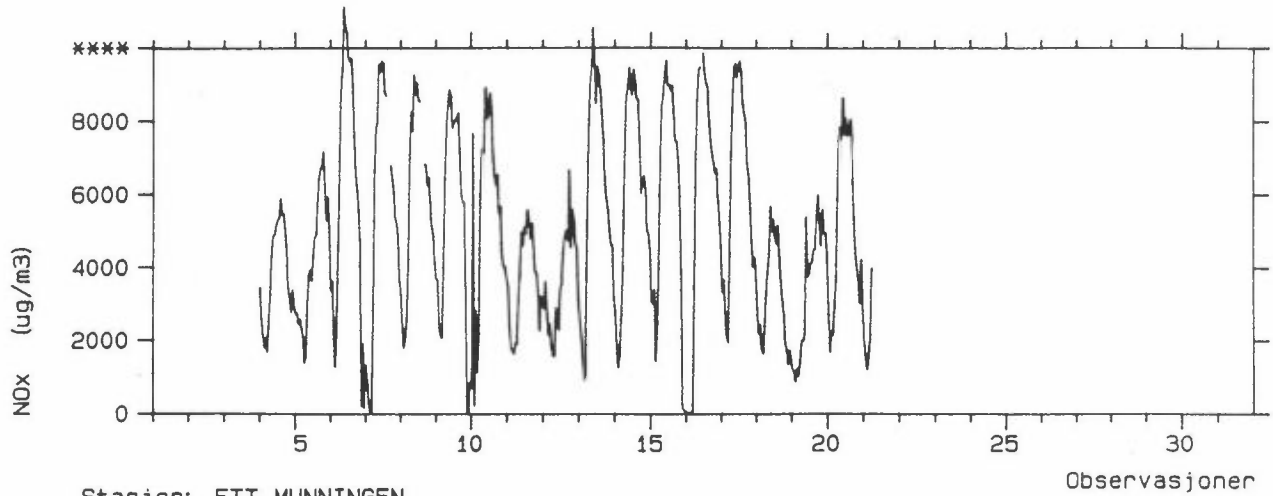
Høyeste NO_x - og NO_2 -nivå var henholdsvis $5,85 \text{ mg/m}^3$ og $0,27 \text{ mg/m}^3$, svarende til en munningskonsentrasjon på ca. $10 \text{ mg NO}_x/\text{m}^3$ og $0,46 \text{ mg NO}_2/\text{m}^3$. Da har vi sett bort fra natten 11. april, da rengjøringsbilen(e) ga vel $7,0 \text{ mg NO}_x/\text{m}^3$ og vel $0,4 \text{ mg NO}_2/\text{m}^3$ ved øvre tverrslag. Også de høyeste NO_x - og NO_2 -verdiene var lavere enn gjeldende grenseverdier, som er henholdsvis 28 og $2,8 \text{ mg/m}^3$. Grenseverdien for NO_2 i uteluft er $0,2-0,35 \text{ mg/m}^3$. Konsentrasjonen i tunnelen var til tider høyere enn dette.

Figur 10 viser resultater fra NO_x - og NO_2 -målinger som ble utført i nordre munning i mars 1989. Typiske maksimalnivåer var her $9\ 000-10\ 000 \mu\text{g NO}_x/\text{m}^3$ og $400-500 \mu\text{g NO}_2/\text{m}^3$. Dette stemmer godt med målingene i øvre tverrslag, om en multipliserer målingene her med en faktor 1,5, som er lik forholdet mellom tunnel-lengden fra søndre munning og til henholdsvis nordre munning og øvre tverrslag.

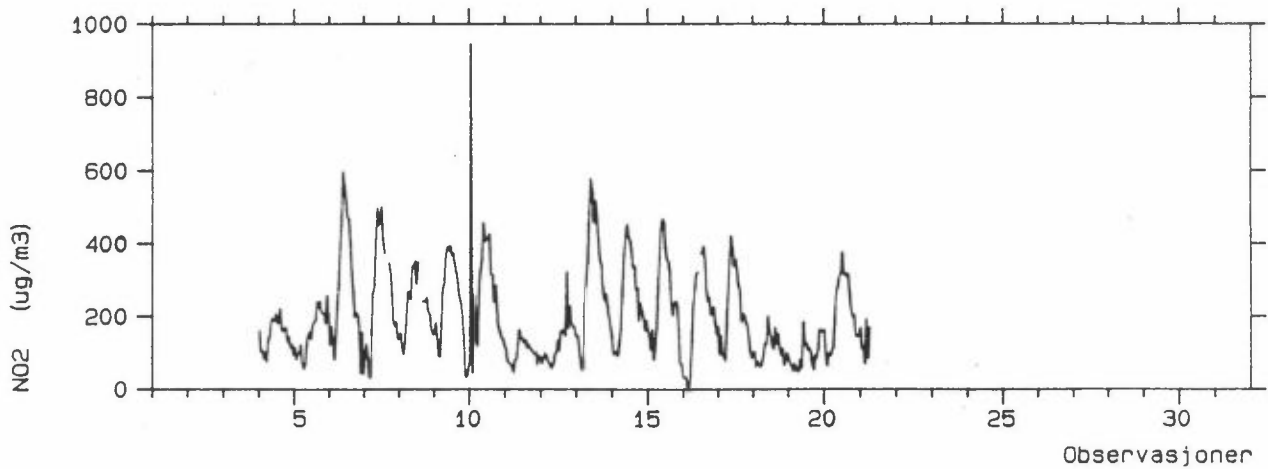
Figur 11 viser differansen mellom øvre og nedre tverrslag for CO, NO_x og NO_2 . Denne differansen representerer produksjonen av disse stoffene fra eksosutslippet mellom tverrslagene. Produksjonen var nær den samme fra dag til dag bortsett fra i helgene, da trafikkmengden var lavere. Denne differansen danner utgangspunktet for beregning av utslippsfaktorer (se kapittel 7).

Tap av NO og NO_2 i tilluft-slangen gjør av NO_x -utslippene bør korrigeres opp med opptil $0,1 \text{ mg/m}^3$, og NO_2 -målingene med opptil $0,03 \text{ mg/m}^3$. Lekkasje mellom tunnel-løpene kan ha ført til at måleverdiene ligger litt for lavt.

Stasjon: ETT.MUNNINGEN
Måned : MARS 1989

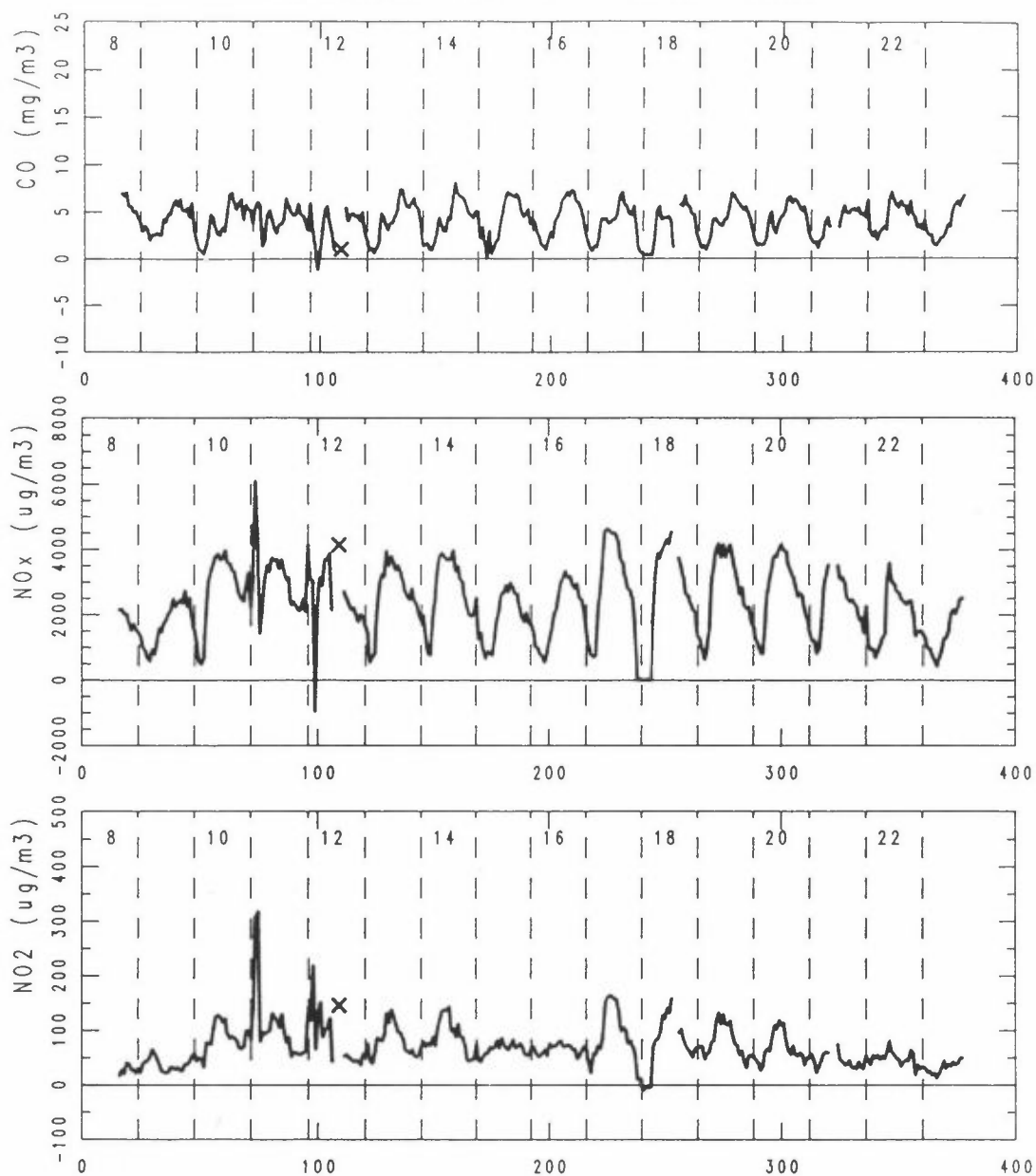


Stasjon: ETT.MUNNINGEN
Måned : MARS 1989



Figur 10: NO_x-registreringer nær utløpet av nordgående løp, Etterstad.

Vålerengatunnelen, april 1989
Nordgående løp, diff. øvre - nedre



Figur 11: CO, NO_x og NO₂ (timesmiddelverdier). Registrert differanse i konsentrasjonen mellom øvre og nedre tverrslag, nordgående løp.

5.1.2 SO₂, NO₂, sot, bly og PM₁₀ (12-timers middelveidier)

12-timesmiddelveidier av SO₂, NO₂, sot, bly og PM₁₀ er vist i figur 12-14, for øvre og nedre tverrslag og differansen mellom disse. Verdiene er gitt i tabeller i vedlegg 2.

For SO₂, sot og PM₁₀ trer lørdager og søndager tydelig fram med lavt nivå. Utslipet av disse stoffene domineres av diesel lastebiler, og tungtrafikkandelen er lav i helgene. Dette er ikke så tydelig for NO₂. Her dominerer lastebilene på langt nær så mye.

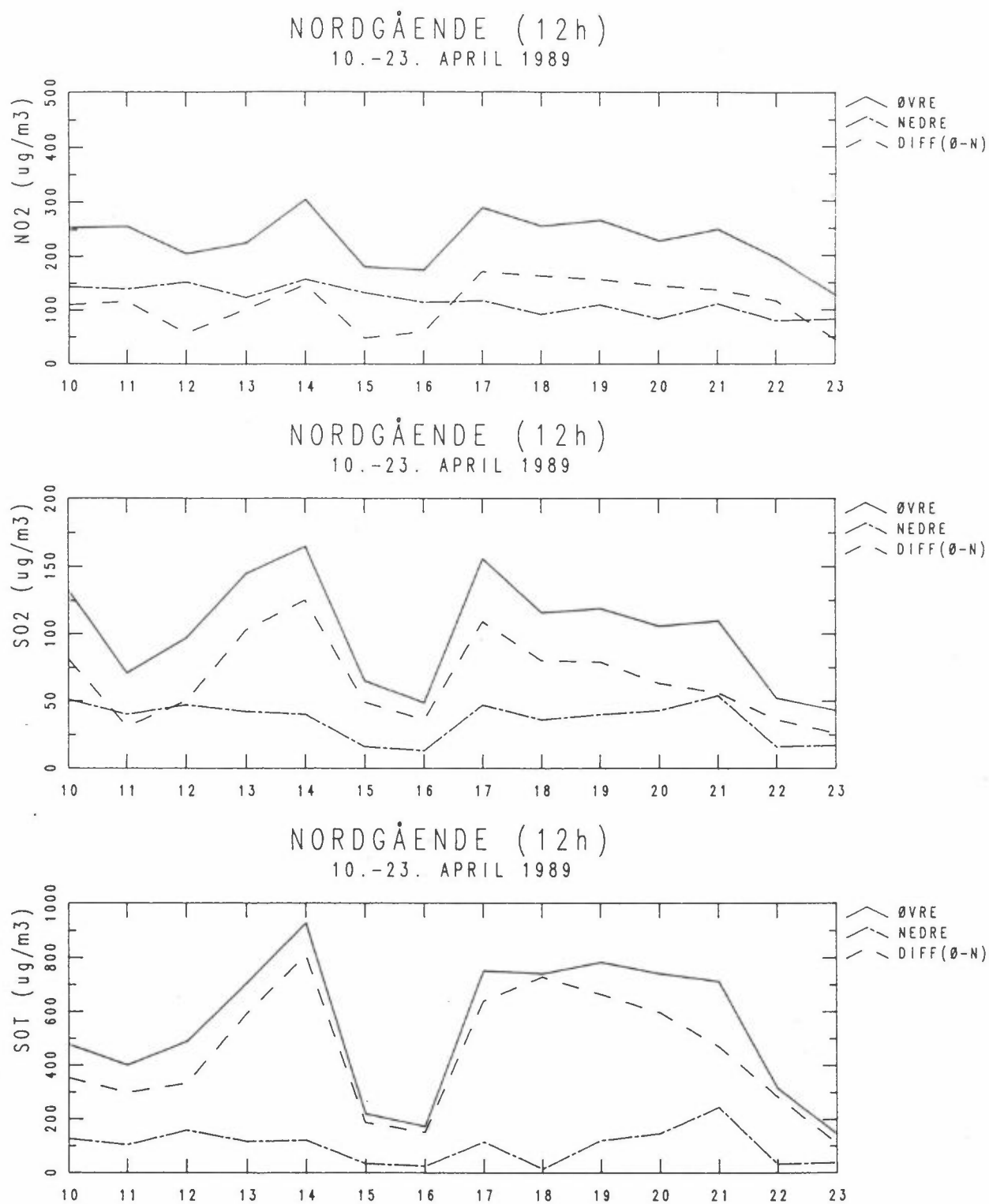
Konsentrasjonene av SO₂, sot og bly i tunnelen kan for øvrig sammenlignes med luftkvalitet-grenseverdier for uteluft, døgnmiddelveidier, for å sette tunnelluften i relasjon til hva som anses uheldig ved 24-timers eksponering.

For SO₂, sot og NO₂ er utendørs grenseverdi 100-150 µg/m³. 12-timers-verdiene av SO₂-verdien kom opp i dette intervallet, mens NO₂- og spesielt sotverdiene ved øvre tverrslag lå mye høyere enn dette.

For PM₁₀ har WHO en foreløpig anbefalt grenseverdi på 70 µg/m³, mens USA har en grenseverdi på 150 µg/m³. Figur 13 viser at PM₁₀-konsentrasjonen i øvre tverrslag var mye høyere enn dette på virkedager.

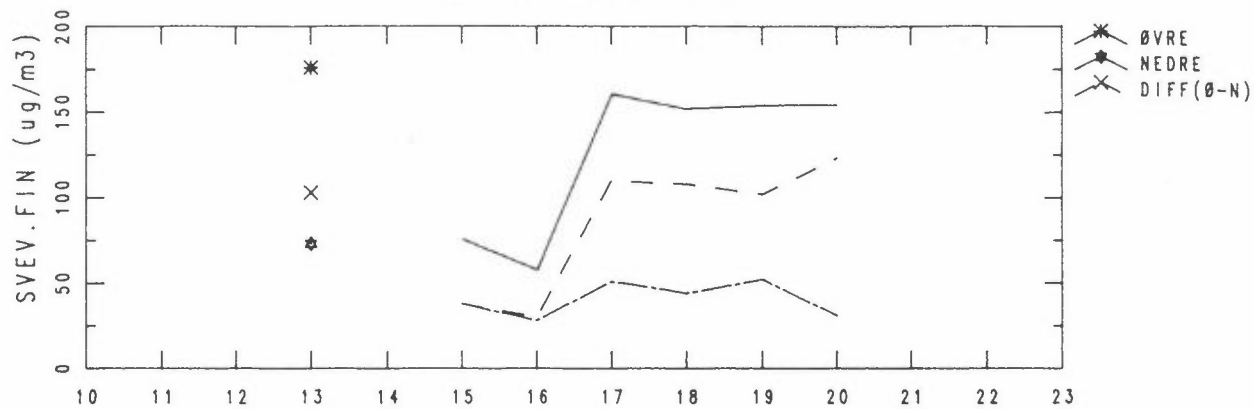
PM₁₀-målinger ble også utført om natten (2000-0800) (figur 14). På virkedager var PM₁₀-konsentrasjonen inne i tunnelen naturlig nok mye høyere om dagen enn om natten, men i helgene var forskjellen liten. Dette innebærer at utslippet av eksospartikler fra bensindrevne personbiler er lite, og at andre kilder i området enn bileksos gir et bidrag som er av omtrent samme størrelse som bidraget fra personbiler, også inni tunnelen.

12-timesverdiene vil for øvrig bli brukt som støtte i beregningen av utslippsfaktorer for trafikkstrømmen i tunnelen.

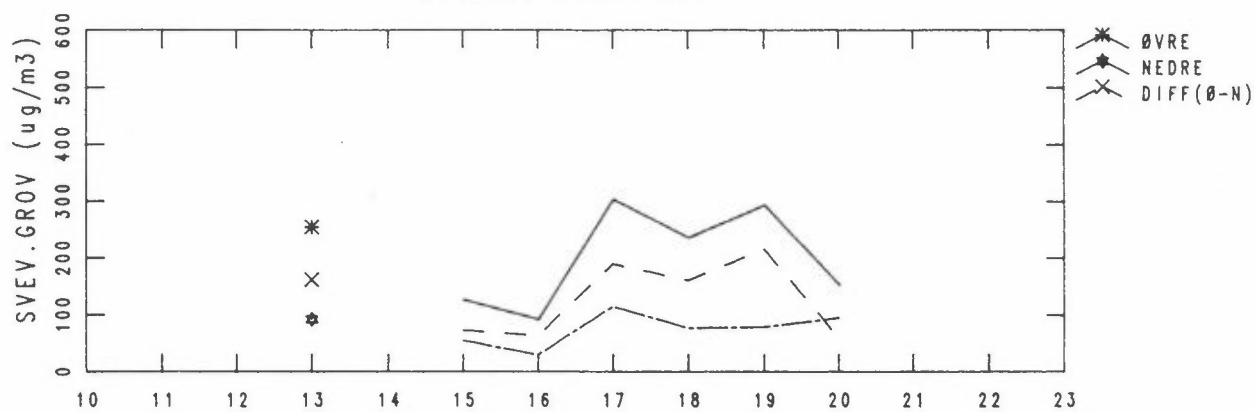


Figur 12: NO₂, SO₂ og sot (12-timers middelværdier, 0800-2000), nordgående løp, øvre og nedre tverrslag, samt differansen mellom disse.

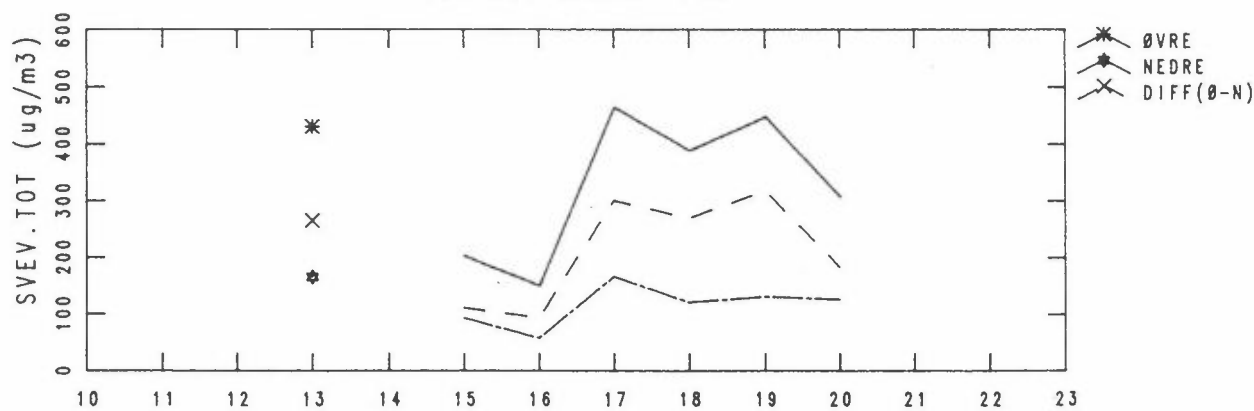
NORDGÅENDE (12h)
10.-23. APRIL 1989



NORDGÅENDE (12h)
10.-23. APRIL 1989

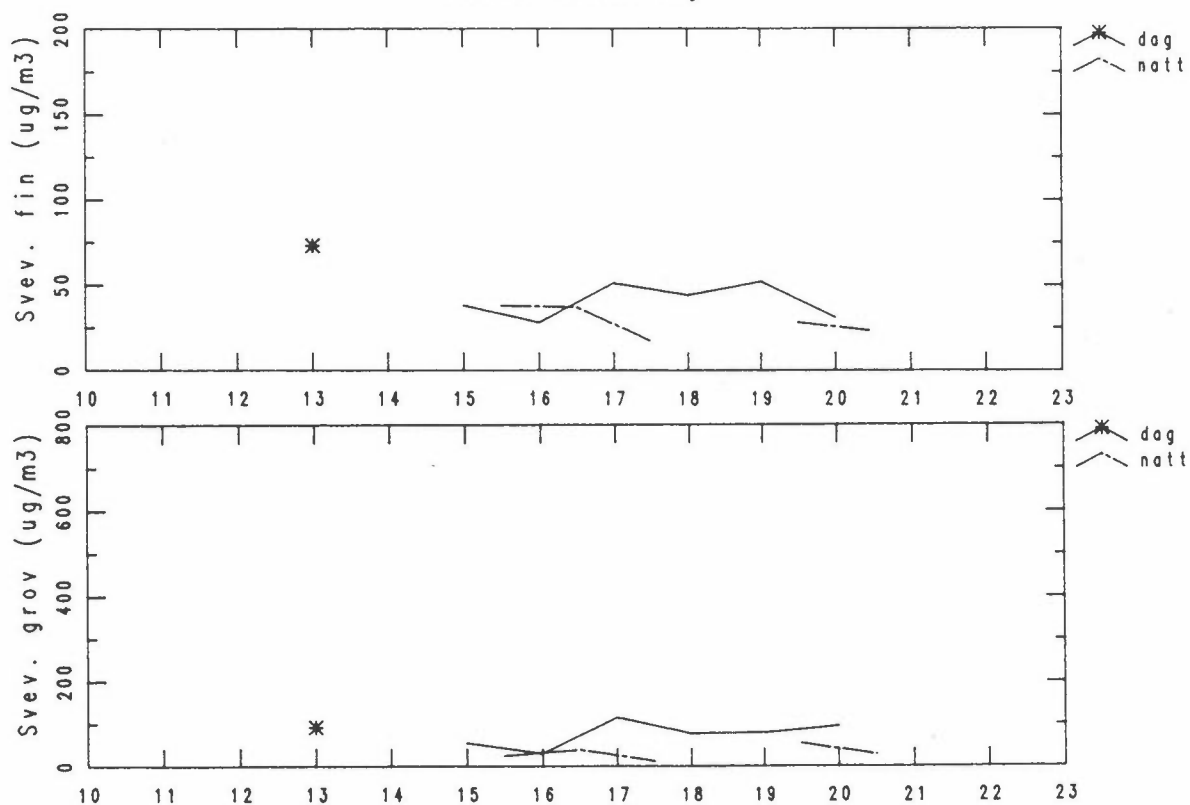
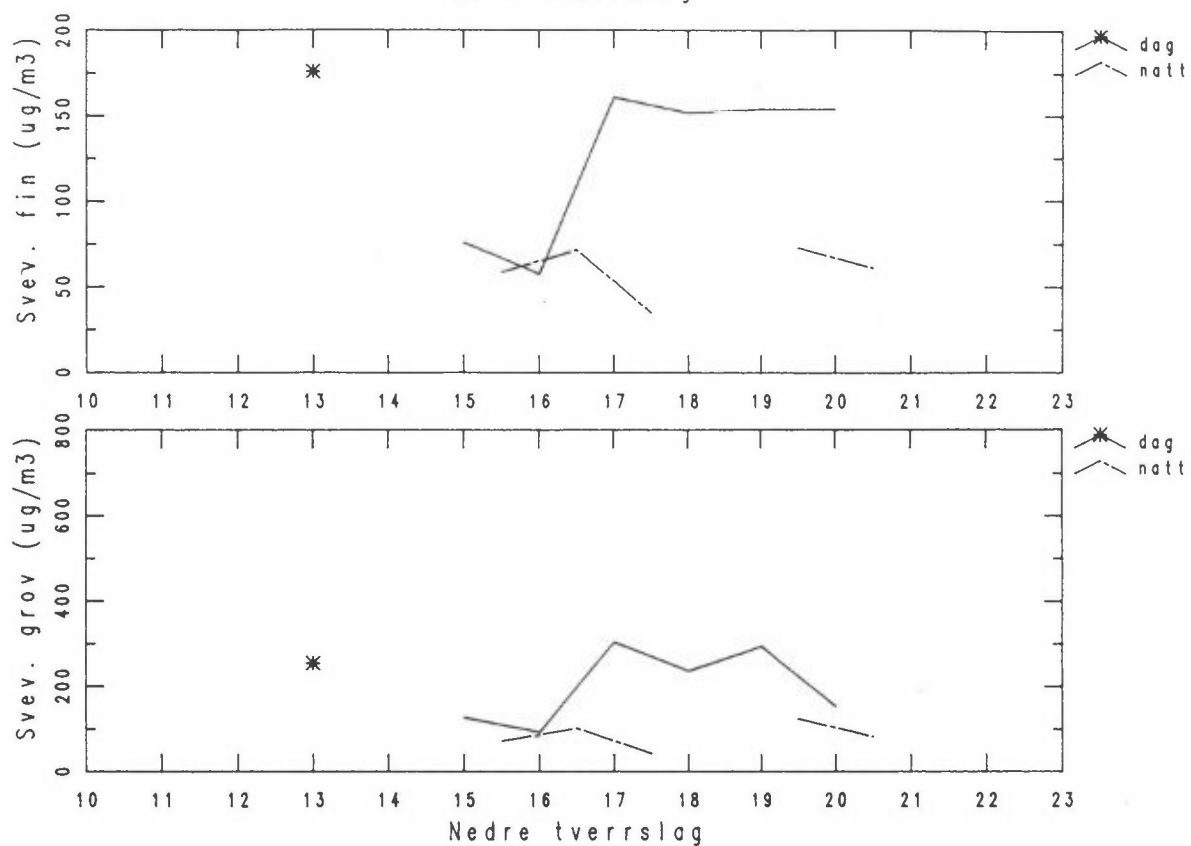


NORDGÅENDE (12h)
10.-23. APRIL 1989



Figur 13: Svevestøv: PM₁₀ ("svev.tot"), finfraksjon ($d < 2,5 \mu\text{m}$) og grovfraksjon ($2,5 < d < 10 \mu\text{m}$), nordgående løp, øvre og nedre tverrslag, samt differansen mellom disse.

Nordgående løp, april 1989 (12h)
Øvre tverrslag



Figur 14: Svevestøv, fin- og grovfraksjon, dag (0800-2000)- og natt (2000-0800)-verdier, nordgående løp, øvre og nedre tverrslag.

Lekkasje mellom tunnellopene kan ha ført til at måleverdiene ligger noe for lavt.

5.2 FORURENSNING, SØRGÅENDE LØP

5.2.1 CO, NO_x, NO₂ (kontinuerlig registrering)

Timesverdier av CO, NO_x og NO₂ i sørgående løp er vist i figur 15 og 16 for henholdsvis nedre og øvre tverrslag. Figur 17 viser differansen mellom konsentrasjoner i nedre og øvre tverrslag, som representerer produksjonen fra trafikken mellom tverrslagene.

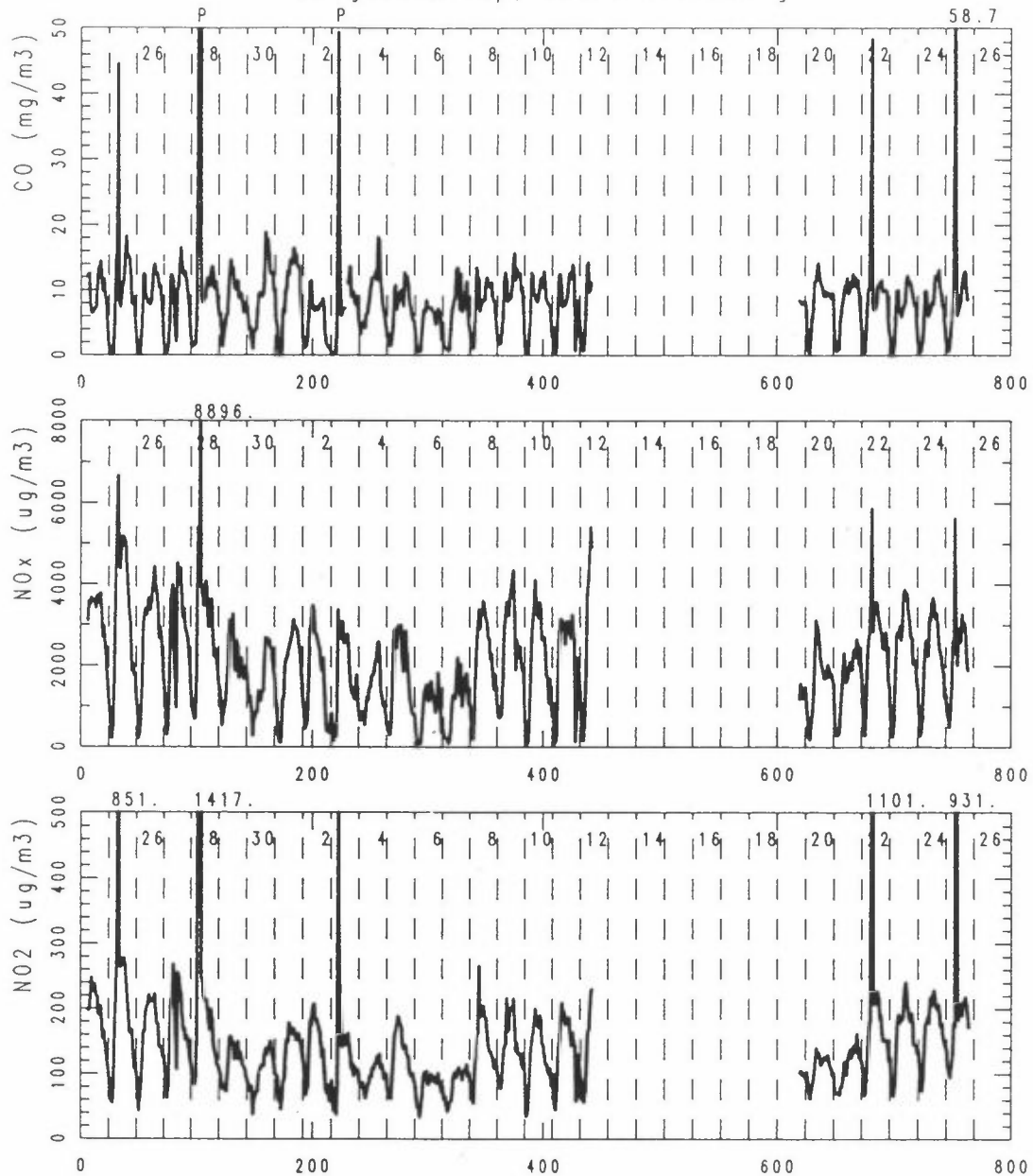
Det som trer fram fra målingene i sørgående løp er lave konsentrasjoner det meste av tiden, samt liten forskjell mellom tverrslagene, både for CO, NO_x og NO₂ (se figur 17). Produksjonen fra trafikken i det fallende tunnellopet (ca. 4% fall) er som ventet liten. Forurensningen i dette løpet skyldes det meste av tiden at innluften er forurenset. Hovedårsaken til dette er kobling mellom tunnellopene ved Etterstad-munningen, dvs. forurenset luft fra nordgående løp suges inn i sørgående løp (se kapittel 7).

Trafikkdataene viste imidlertid at det tidvis var kø i sørgående løp (se figur i vedlegg 1), og dette gir samtidig høye forurensningstopper i tunnelen, som trer fram i figurene 15-17. Noen ganger var forurensningen så høy at den overskred måleområdet på instrumentene (merket med P ("peak") i figurene).

Tabell 6 viser de høyeste målte konsentrasjonene i sørgående løp.

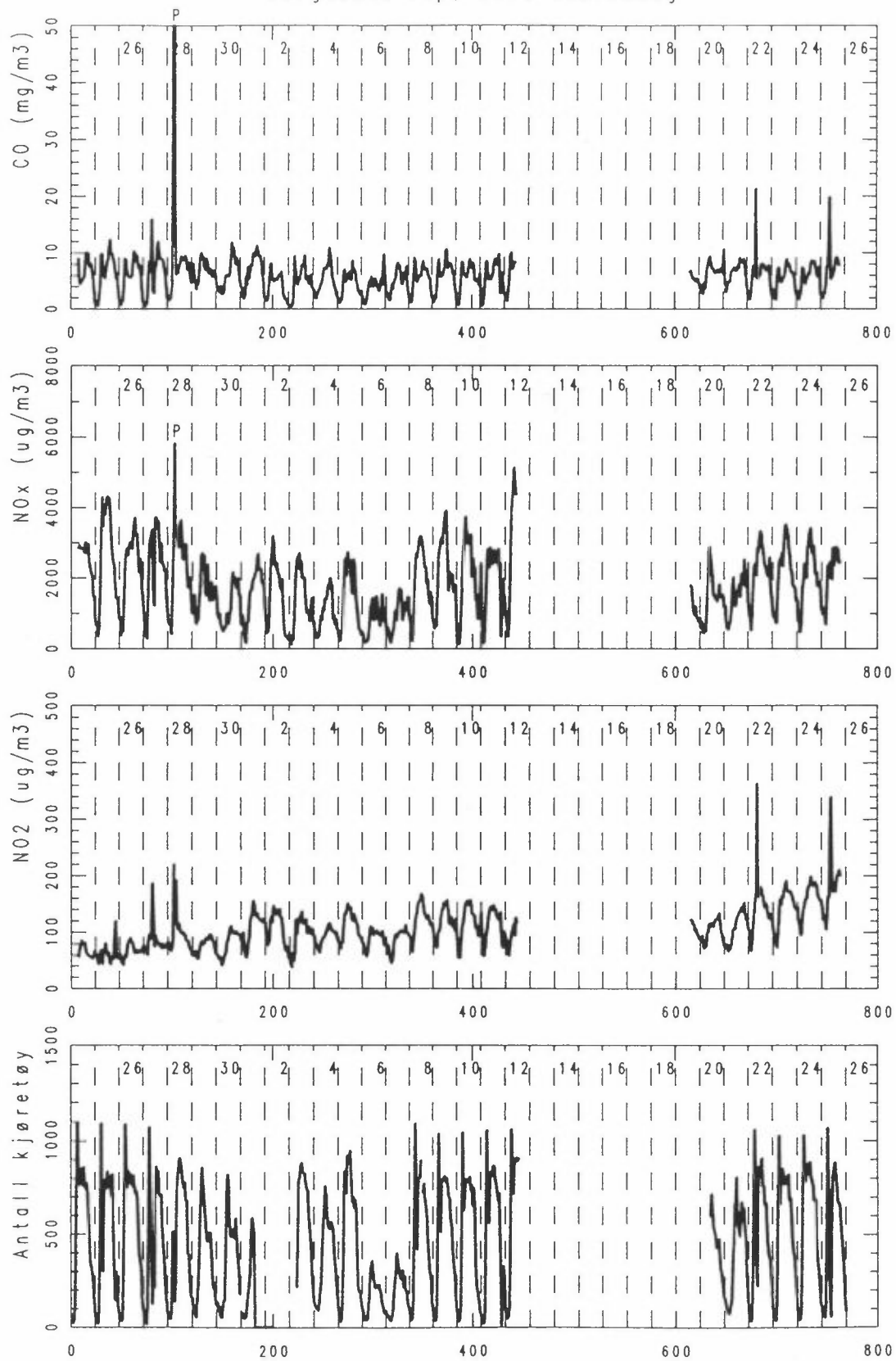
Ved øvre tverrslag var forurensningsnivået svært høyt den 28. april kl. 0730-0830. CO-konsentrasjonen var over 110 mg/m³ og NO_x-konsentrasjonen over 5 800 µg/m³. Forurensningen var da ikke så høy i nedre tverrslag (dvs. ved utløpet). I dette tilfellet var kjørehastigheten 6,7 km/h ved nedre tverrslag.

Vålerengatunnelen, april - mai 1989
Sørgående løp, nedre tverrslag



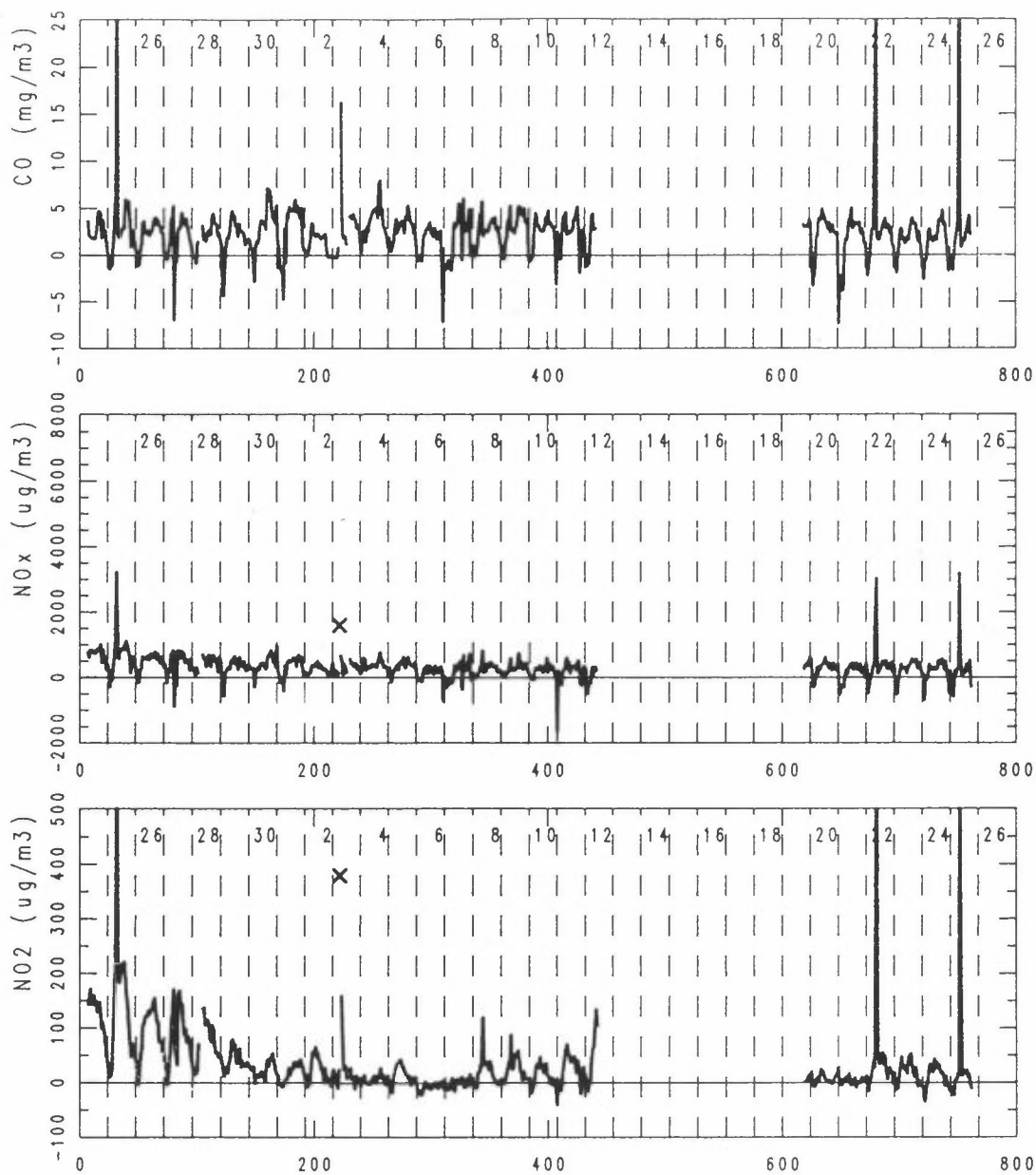
Figur 15: CO, NO_x og NO₂ (timesmiddelverdier), registrert i sørgående løp, nedre tverrslag (ved utløpet av tunnelen).

Vålerengatunnelen, april - mai 1989
Sørgående løp, øvre tverrslog



Figur 16: CO, NO_x, NO₂ og trafikkmengde (timesmiddelverdier), registrert i sørgående løp, øvre tverrslog.

Vålerengatunnelen, april - mai 1989
Sørgående løp, diff. nedre - øvre



Figur 17: CO, NO_x og NO₂ (timesmiddelverdier). Registrert differanse i konsentrasjonen mellom nedre og øvre tverrslag, sørgående løp.

Tabell 6: Maksimale CO-, NO_x- og NO₂ konsentrasjoner i sør-
gående løp.

	Øvre tverrslag			Nedre tverrslag		
	CO mg/m ³	NO _x µg/m ³	NO ₂ µg/m ³	CO	NO _x	NO ₂
28.4.kl.08	>110	>5 800	?	>62	4 100	860
kl.09	27	3 160	190	>74	8 900	1 420
3.5.kl.07	9	1 790	120	>49	3 360	500
22.5.kl.10	21	2 850	360	48	5 860	1 100
25.5.kl.09	13	2 430	260	59	5 610	930

I nedre tverrslag ble de høyeste konsentrasjonene målt i timen etterpå, kl. 0830-0930, med CO over 74 mg/m³, NO_x lik 8 900 µg/m³ og NO₂ lik 1 420 µg/m³.

Også 22. mai og 25. mai i morgenrushet var nivået høyt ved nedre tverrslag, med NO₂ inntil 1 100 µg/m³. Kjøre-hastigheten var henholdsvis 22 km/h og 8 km/h ved nedre tverrslag i disse to tilfellene.

Differansekurvene i figur 17 viser at NO_x- og NO₂-produksjonen i sørgående løp stort sett er svært liten, mens CO-produksjonen er en god del mindre enn i nordgående. I køsituasjoner med svært lav kjørehastighet er imidlertid forurensningsproduksjonen stor.

Differansekurvene viser også en del negative verdier, dvs. at konsentrasjonen er høyere i øvre tverrslag enn i nedre, spesielt ved liten trafikk-tetthet om natten. Årsaken kan være at atmosfæriske forhold fører til at luftstrømmen går oppover tunnelen, mot bilenes kjøreretning og svake pumpevirking.

5.2.2 SO₂, NO₂, sot, bly, PM₁₀ (12-timers middelveirdier)

12-timesverdiene er vist i figur 18-20. Også her trer helgedagene fram (inkl. 1. mai og 4. mai (Kr. Himmelfartsdag) med lave verdier av SO₂, sot og PM₁₀ pga. lite tungtrafikk. Verdiene er gitt i tabeller i vedlegg 2.

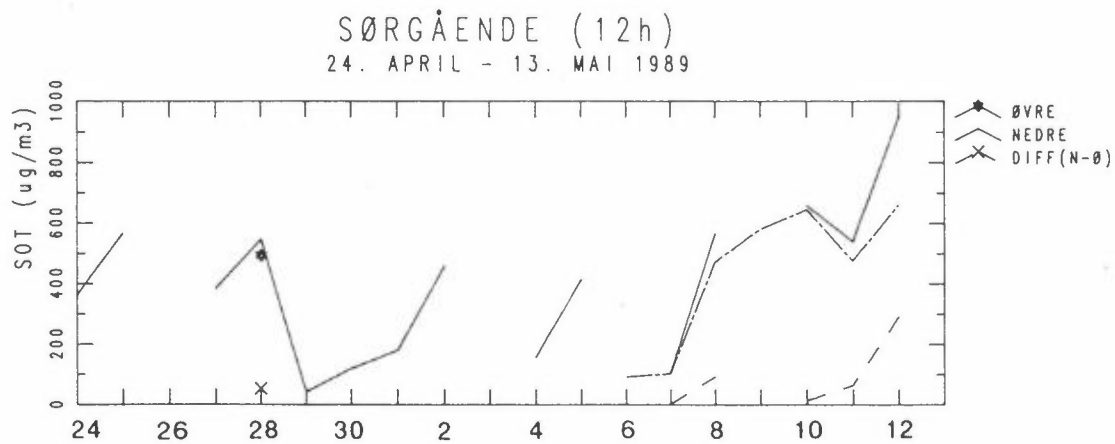
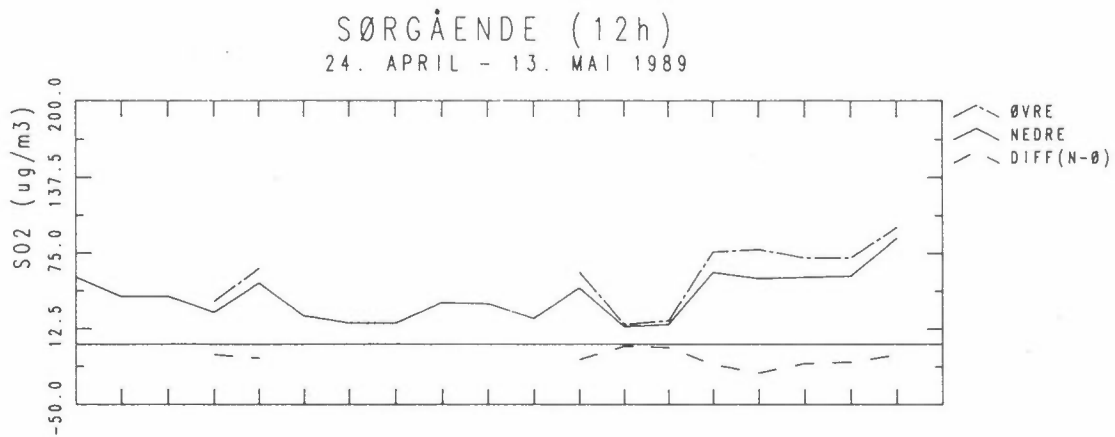
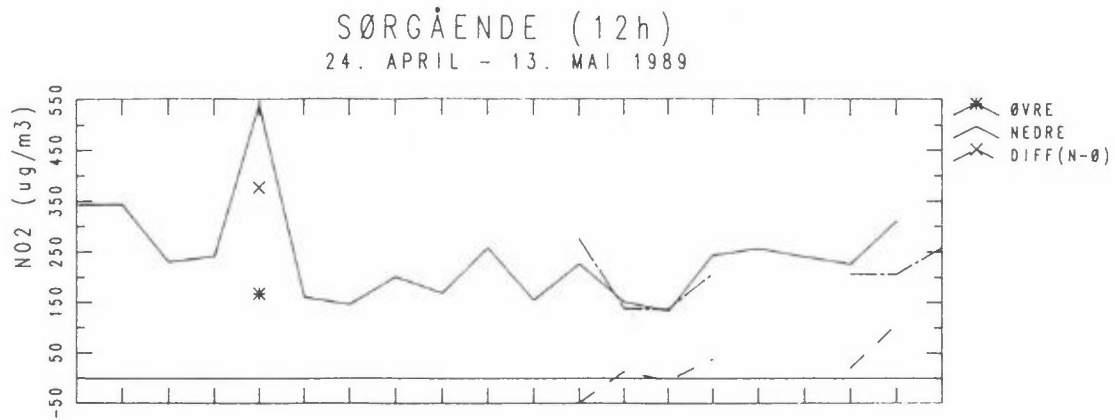
For NO₂ trer ikke helgedagene så mye fram, på samme måte som i nordgående løp. NO₂-verdien var spesielt høy den 28. april, da det var så ekstremt høye verdier i morgenrushet (se figur 15), på grunn av kø.

Når det gjelder grovfraksjonen av PM₁₀ (svevestøv) var nivået svært høyt den 3. mai. Dette skyldes sannsynligvis svært tørre veiforhold og derved mye veistøv i lufta. Dette gjorde seg også gjeldende på finstøvnivået da.

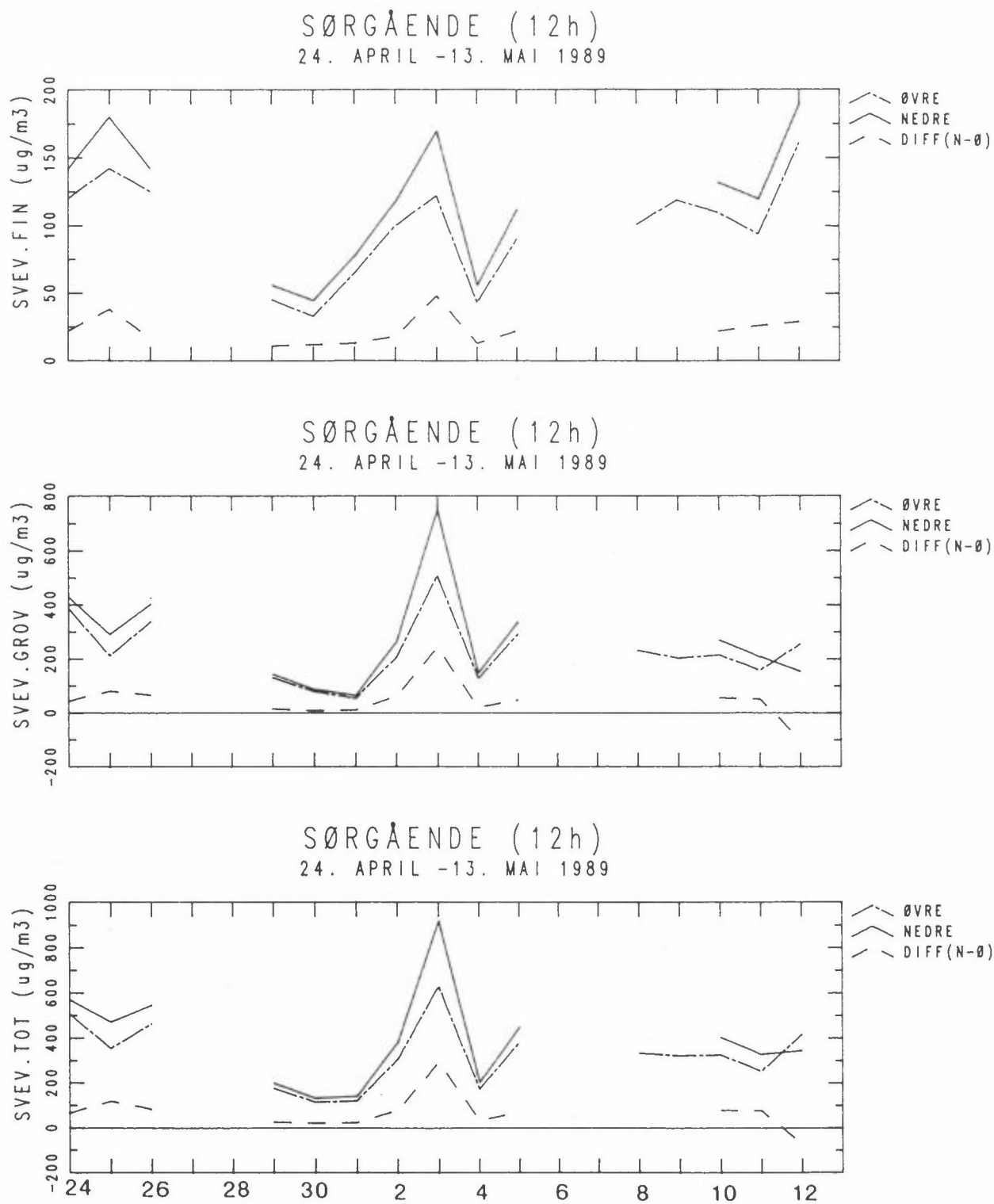
For PM₁₀ ble målinger utført både dag (0800-2000) og natt (2000-0800) (figur 20). Som i nordgående løp var dagverdien på virkedager vesentlig høyere enn nattverdiene, hovedsakelig på grunn av det store eksospartikkelutslippet fra diesel lastebiler, mens det i helgene var liten forskjell på dag- og nattverdier av PM₁₀, fin- og grovfraksjon, fordi eksospartikkelutslippet fra bensinbiler er lite.

I forhold til grenseverdier for SO₂, sot og NO₂ i utendørsluft (100-150 µg/m³ som døgnmiddelveirdier) var sot og NO₂-konsentrasjonen i sørgående løp, nedre tverrslag, stort sett høyere enn dette, mens SO₂-konsentrasjonen stort sett var lavere. Konsentrasjonene var høyere i nordgående løp.

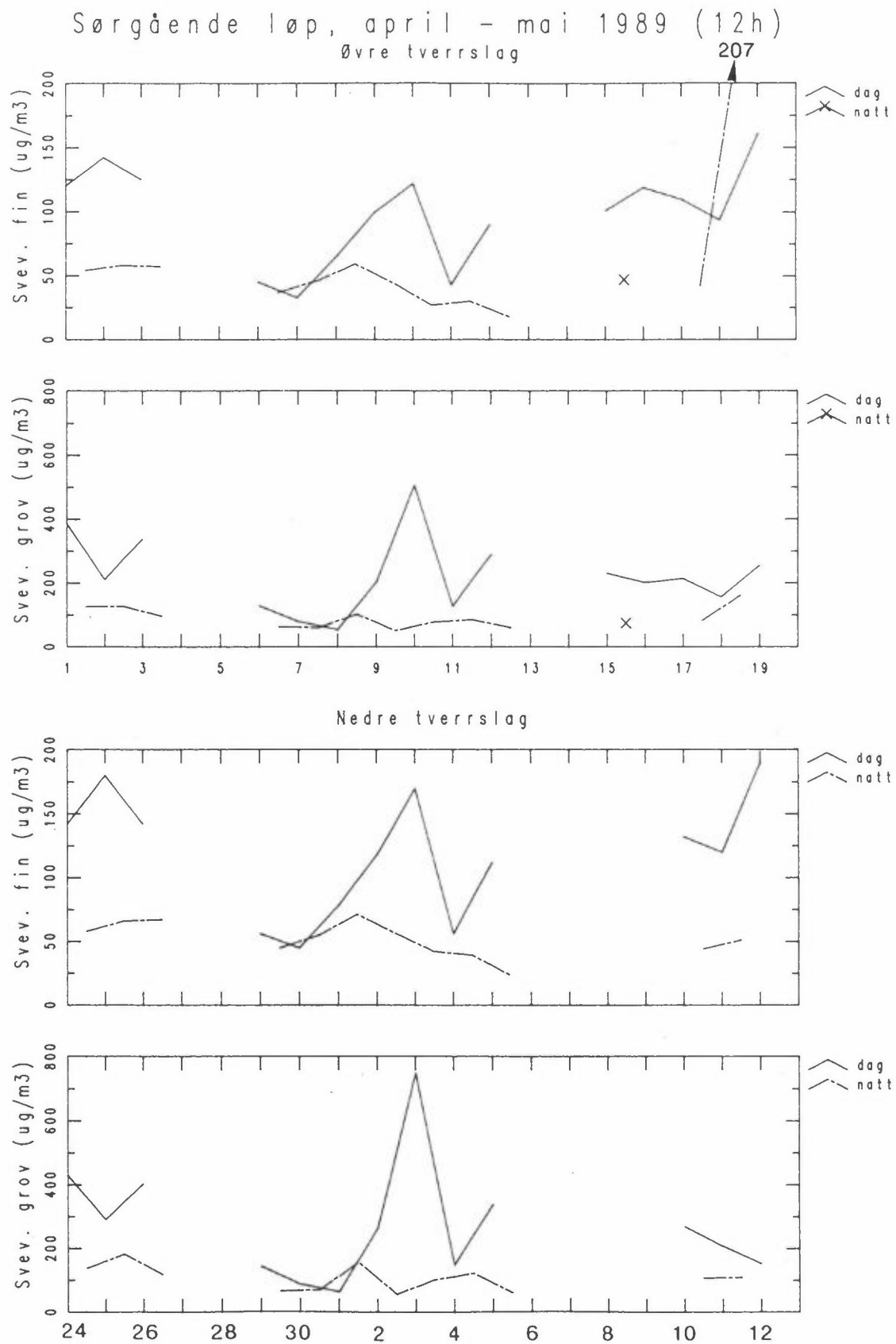
Grenseverdiene for PM₁₀ i utendørs luft (WHO: 70 µg/m³; USA: 150 µg/m³) ble overskredet vesentlig i sørgående løp, som i nordgående. Spesielt på dager med tørr vei om vintren og våren var dette tilfelle. Da kom PM₁₀-konsentrasjonen opp mot 1 000 µg/m³, med hovedvekt på grovfraksjonen.



Figur 18: NO₂, SO₂ og sot (12-timers middelværdi, 0800-2000), sørgående løp, nedre og øvre tverrslag, samt differansen mellom disse.



Figur 19: Svevestøv: PM_{10} ("svev.tot"), finfraksjon ($d < 2,5 \mu\text{m}$) og grovfraksjon ($2,5 < d < 10 \mu\text{m}$), sørgående løp, nedre og øvre tverrslag, samt differansen mellom disse.



Figur 20: Svevestøv, fin- og grovfraksjon, dag (0800-2000) og natt (2000-0800)-verdier, sørgående løp, nedre og øvre tverrslag, samt differansen mellom disse.

Differansekurvene på figur 18-19 viser svært liten produksjon av NO₂ og sot i tunnelen, men en viss svevestøvproduksjon. For SO₂ gir differansekurven noe negative verdier, noe som i så fall tilsvarer en viss absorpsjon av SO₂ på tunnelveggene.

5.3 ORGANISKE FORBINDELSER

Det ble tatt prøver for analyse av konsentrasjonen av aldehyder, PAH og mutagenitet på partikler på de 10 testdagene, da 3-4 timers prøver ble tatt som grunnlag for å beregne utslippsfaktorer. Analyseresultatene for hver prøve er gitt i vedlegg 2. Her gis et sammendrag.

5.3.1 Aldehyder

Tabell 7: Aldehyd-konsentrasjon ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) i Vålerenga-tunnelen. 3-4-timers prøver på dagtid (tider for prøvetaking er gitt i vedlegg 2).

	Formaldehyd		Acetaldehyd	
	Øvre tverrslag	Nedre tverrslag	Øvre tverrslag	Nedre tverrslag
<u>Nordgående løp</u>				
Virkedager, gj.snitt	17,8	5,0	9,6	5,4
maks	26,8	6,7	13,1	6,3
Helgedager, gj.snitt	8,1	4,0	6,6	3,2
maks	10,5	4,7	8,0	3,9
<u>Sørgående løp</u>				
Virkedager, gj.snitt	6,4	15,4	3,7	10,0
maks	6,7	28,6	7,3	23,7
Helgedager, gj.snitt	9,9	14,6	2,0	3,6
maks	12,3	17,3	3,0	5,1

5.3.2 Polysykliske aromatiske hydrokabler (PAH)

Tabell 8: PAH-konsentrasjon (ng/m³) i Vålerenga-tunnelen. 3-4-timers prøver på dagtid (tider for prøvetaking er gitt i vedlegg 2).

	Ikke flyktig PAH (på partikkelfase)		Flyktig PAH (i gassfase)	
	Øvre tverrslag	Nedre tverrslag	Øvre tverrslag	Nedre tverrslag
<u>Nordgående løp</u>				
14.4. fredag	247	42	3 546	1 201
21.4. fredag	297	50	6 089	1 561
22.4. lørdag	259	53		1 566
23.4. søndag	181	32	4 058	2 657
<u>Sørgående løp</u>				
27.4. torsdag	312	379	3 458	5 465
28.4. fredag	328	413	4 234	4 959
7.5. søndag	132	161	2 030	3 298
20.5. lørdag	102	159	2 780	4 936

I vedlegg 2 er på figurer vist PAH-profiler i de enkelte prøvene. Profilene er beregnet med bens(e)pyren som referanse.

5.3.3 Mutagenitet

Mutagenitet betyr "evne til å skade arvestoffer, eventuelt framkalle kreft". Til å teste stoffers mutagene virkning benyttes ofte den såkalte "Ames' test". Ames' test innebærer å utsette ulike typer Salmonella-bakterier for stoffene. Antall mutasjoner (revertanter) i cellekulturen som følge av stoffets påvirkning brukes som mål på stoffets mutagene evne eller potensiale. Når det gjelder luftprøver, regnes antall revertanter pr. m³ luft som stoffprøven representerer. Resultater av analyser fra ulike stoffprøver kan da sammenlignes. Ames' test beskrives noe nærmere i vedlegg 3.

Mutagenitetstesting av ekstrakter av partikkelbundet materiale er utført ved Senter for industriforskning (SI), basert på prøver tatt av NILU fra nordgående løp. Testingen ble utført med tre ulike bakteriestammer.

Et sammendrag av resultatene er gitt i tabell 9.

Tabell 9: Resultater av mutagenitetstesting av ekstrakter av partikkelprøver fra Vålerenga-tunnelen, nordgående løp (revertanter/m³) testet med ulike bakteriestammer (TA) med (+S9) og uten (-S9) metabolsk aktivering.

	TA 98		TA 98 NR	TA 98/1,8 NDP ₆
	+ S9	- S9		
<u>Virkedag (14.4. og 21.4.)*</u>				
- øvre stasjon	212	182	96	33
- nedre stasjon	87	63	22	16
<u>Helgedag (23.4. og 23.4.)*</u>				
- øvre stasjon	105	65	37	23
- nedre stasjon	14	10	8	3

* Prøvetidene er som for øvrige 3-4-timers prøver på disse dagene, se vedlegg 2.

Resultatene indikerer at nitro-forbindelser gir et vesentlig bidrag til mutageniteten.

Mutageniteten i partiklene i tunnelluften er vesentlig høyere enn målt på tettstedsstasjoner i friluft. Vinteren 1989 ble det målt 51 rev/m³ ved E6 på Helsefyr og 40 rev/m³ i St. Olavs gate.

5.4 FORURENSNINGSNIVÅ I FORHOLD TIL GRENSEVERDIER

Følgende grenseverdier er foreslått for CO, NO_x og NO₂ i tunnelluft i langsventilerte tunneler (Vegdirektoratet, 1990):

CO : 250 mg/m³ ved munningen, 15 min. middelve­rdi
 NO_x : 28 mg/m³ ved munningen, 15 min. middelve­rdi
 NO₂ : 2,8 mg/m³ ved munningen, 15 min. middelve­rdi

I nordgående var de høyeste registrerte timesmiddelve­rdier på dagtid følgende (mg/m³):

	Ved øvre tverrslag	Antatt konsentrasjon ved nordre munning (Etterstad)
CO	17,4	30
NO _x	5,9	10
NO ₂	0,27	0,45

I tillegg ble registrert opptil 7 mg NO_x/m³ og 0,40 mg NO₂/m³ ved øvre tverrslag natten til 11. april, under rengjøring av tunnelen.

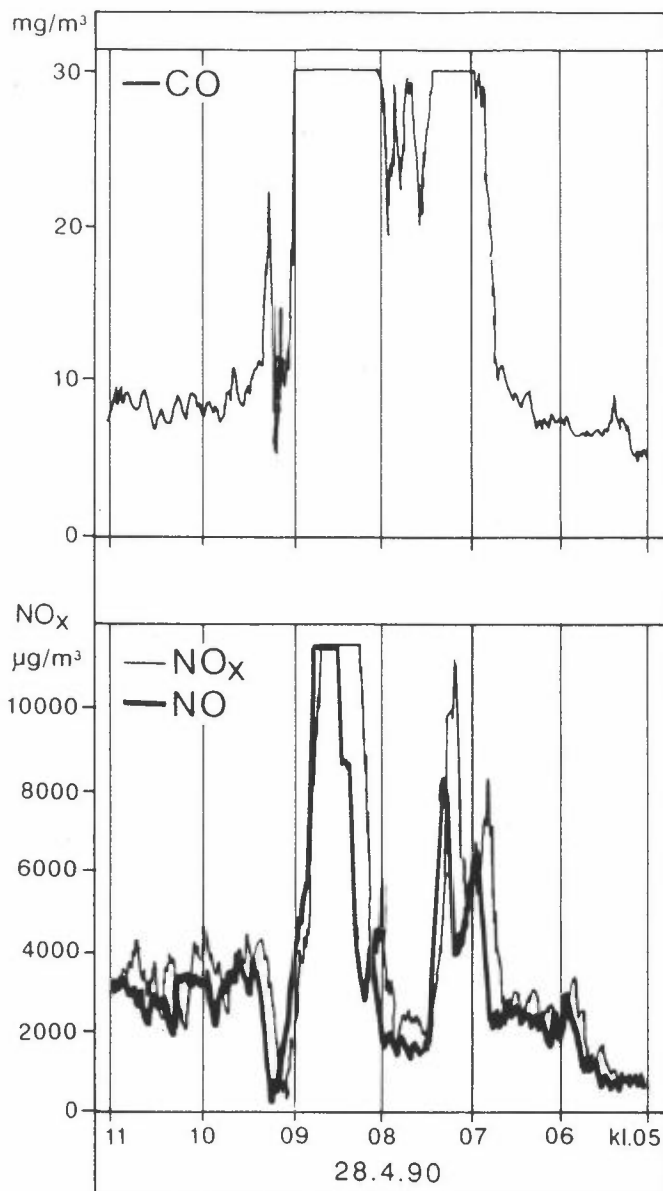
I nordgående løp, der trafikkavviklingen alltid var god, var dermed forurensningsnivået alltid mye lavere enn grenseverdiene.

I sørgående løp var de høyeste registrerte timesmiddelve­rdier følgende (mg/m³):

	Ved nedre tverrslag, nær søndre munning (Lodalen)
CO	>74
NO _x	8,9
NO ₂	1,4

Dette er lavere enn grenseverdiene. Grenseverdiene gjelder imidlertid 15-minutters middelværdier.

Figur 21 gjengir registreringene av CO, NO_x og NO i køsituasjonen den 28. april. NO₂ finnes som differansen mellom NO_x og NO.



Figur 21: Registreringer av CO, NO_x og NO den 28.4.89 kl. 0500-1100, sørgående tunnel, nedre tverrslag.

Figuren viser at CO-konsentrasjonen kan ha vært langt høyere enn 100% utslag i skriveren, som tilsvarer 70 mg/m³. Ved å ta utgangspunkt i målingene den 22.5. og 25.5., og gå ut fra samme forhold mellom CO og NO_x den 28.4. som da, synes en timesmiddelverdi på ca. 9 mg NO_x/m³ å tilsvare omtrent 100 mg CO/m³. Høyeste 15-minutters middelverdi vil sannsynligvis være en del høyere enn dette.

Figuren viser også at den største differansen mellom NO_x og NO, dvs. NO₂, var knapt 30%, dvs. ca. 2,5 mg NO₂/m³. Den høyeste 15-minutters-verdien var omtrent så stor som dette, dvs. opp mot grenseverdien på 2,8 mg/m³.

Ved trafikk-kø i sørgående løp kom NO₂-nivået i munningen altså opp mot grenseverdien. Det er sannsynlig at ved en eventuell trafikk-kø i nordgående løp vil konsentrasjonen av CO og NO_x bli enda høyere enn dette, fordi det der er stigning og større motorbelastning, også ved ujevn, sakte kjøring. Det er ikke sikkert NO₂ vil bli høyere, fordi NO₂-andelen av NO_x avtar med økende motorbelastning.

I denne situasjonen burde ett eller to trinn av ventilasjonsanlegget vært i drift. (1. trinn skal kobles inn ved 50 ppm CO og 2. trinn ved 75 ppm.) Det kan imidlertid ikke sees av registreringer at ventilasjonsanlegget startet i denne situasjonen den 28. april, og heller ikke i de øvrige køsituasjonene.

I køsituasjonene ble den nye anbefalte grenseverdien for NO₂ på 1,1 mg/m³ overskredet vesentlig.

Høyeste tillatte partikkelinnhold (i referansen kalt "sot") i luften er 1,5 mg/m³ (Vegdirektoratet, 1990). Denne grenseverdien er satt for å hindre at sikten i tunnelen blir for dårlig.

Med "sot" menes i denne sammenheng totalt innhold av svevestøv i luften. Vi har ikke målt dette, bare partikler med diameter opp til 10 µm. Det er imidlertid disse som står for det meste av siktreduksjonen.

I nordgående løp kom partikkel-konsentrasjonen (PM_{10}) i munningen opp i $0,7 \text{ mg/m}^3$, som gjennomsnitt over 12 timer. Det er lite trolig at konsentrasjonen kommer opp mot grenseverdien selv i de mest belastede timer.

I sørgående løp kom PM_{10} -konsentrasjonen ved et tilfelle (10. mai) opp i $0,9 \text{ mg/m}^3$, målt som gjennomsnitt over 12 timer. Også her er det lite trolig at grenseverdien overskrides.

6 LUFTHASTIGHET I TUNNELMUNNINGENE

Gjennomsnittlig lufthastighet i tunnelene ble bestemt ved å slippe ut sporgass (svovelheksafluorid, SF_6) i kjent rate (cm^3/s) ved innløpet av tunnellopene og måle konsentrasjonen henimot utløpet. Dette ble gjort ved øvre og nedre tverrslag.

Lufthastigheten ble bestemt ved følgende ligning:

$$v \text{ [m/s]} = 10^6 \frac{Q_{SF_6}}{C_{SF_6} \cdot A}$$

Q_{SF_6} : utslippsrate, cm^3/s

C_{SF_6} : konsentrasjon ved måletverrsnitt, ppt ($= 10^{-12}$)

A : tunnelareal ved måletverrsnitt, m^2

I de første testene i nordgående løp (12.4. og 14.4.) ble SF_6 -konsentrasjonen målt i 4 punkter i tverrsnittet. Disse målingene viste en neste uniform sporstoffkonsentrasjon over tverrsnittet. I de senere testene ble SF_6 derfor målt i bare ett punkt i tverrsnittet.

Tabell 10 og 11 gir Q_{SF_6} , C_{SF_6} samt beregnet lufthastighet i munningene, V og tilhørende trafikk tetthet for hvert av sporgasseksperimentene. Disse var knyttet til de 3-4-timers-periodene da spesielle forurensningsmålinger ble utført samtidig.

Tabell 10: Beregnet lufthastighet, nordgående løp.
Tverrsnittsareal: $A = 62 \text{ m}^2$.

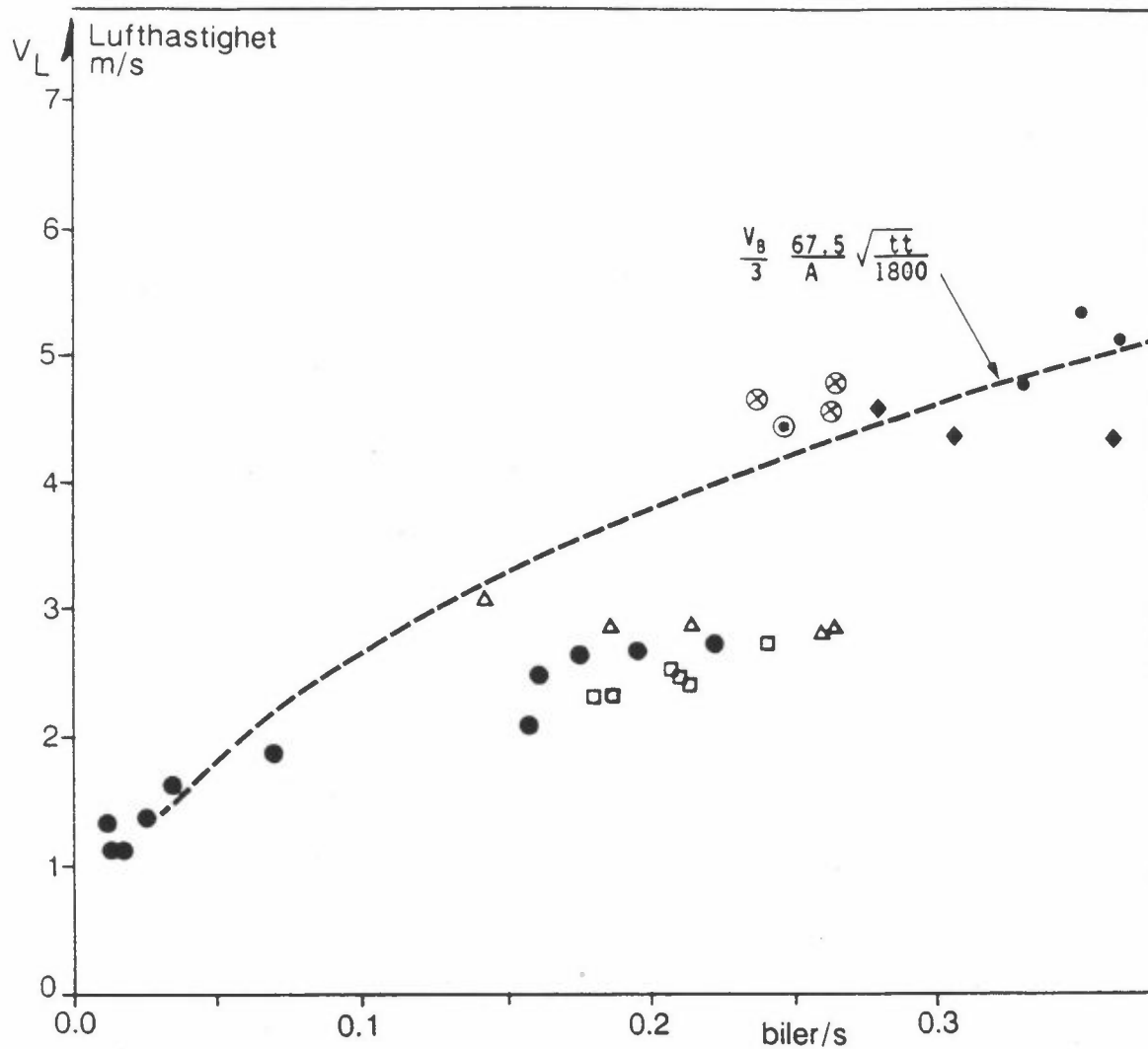
Dato	Tid	Q_{SF_6} [cm^3/s]	C_{SF_6} [ppt]	$V_{\text{l\ddot{u}ft}}$ [m/s]	tt [biler/s]	C_{SF_6} [ppt] Sørgående løp
12.04.89	07.30-08.30	0,350	1 263	4,5	0,246	
	11.30-12.30	0,315	1 120	4,5	0,281	
	12.30-13.30	0,315	1 152	4,4	0,307	
	13.30-14.30	0,315	1 163	4,4	0,359	
14.04.89	07.30-08.30	0,373	1 324	4,5	0,263	
	08.30-09.30	0,373	1 273	4,7	0,239	
	09.30-10.30	0,373	1 260	4,8	0,266	
	12.30-13.30	0,415	1 243	5,4	0,351	
	13.30-14.30	0,415	1 301	5,1	0,366	
	14.30-15.30	0,415	1 392	4,8	0,330	
21.04.89	07.30-08.30	0,173	771	3,6	} ca.0,240	101
	08.30-09.30	0,173	723	3,9		
	09.30-10.30	0,173	703	4,0		
	12.30-13.30	0,200	825	3,9	} ca.0,340	205
	13.30-14.30	0,200	818	3,9		
	14.30-15.30	0,200	865	3,7		
22.04.89	10.30-11.30	0,185	1 290	2,3	0,178	329
	11.30-12.30	0,185	1 212	2,5	0,215	
	12.30-13.30	0,185	1 199	2,5	0,211	
	14.30-15.30	0,180	1 056	2,7	0,241	
	15.30-16.30	0,180	1 140	2,6	0,208	
	16.30-17.30	0,180	1 236	2,4	0,185	
23.04.89	10.30-11.30	0,178	914	3,1	0,141	420
	11.30-12.30	0,178	975	3,0	0,185	379
	12.30-13.30	0,178	966	3,0	0,214	451
	15.30-16.30	0,175	1 004	2,8	0,260	428
	16.30-17.30	0,175	973	2,9	0,265	229

Tabell 11: Beregnet lufthastighet, sørgående løp.
Tverrsnittsareal: $A = 47 \text{ m}^2$.

Dato	Tid	Q_{SF_6} [cm^3/s]	C_{SF_6} [ppt]	V_{luft} [m/s]	tt [biler/s]	Nordgående C_{SF_6} [ppt]
27.04.89	11.30-12.30	0,143	916	3,3	0,223	60
	12.30-13.30	0,143	951	3,2	0,238	41
	14.30-15.30	0,147	1 029	3,0	0,231	26
	15.30-16.30	0,147	1 160	2,7	0,196	68
	16.30-17.30	0,147	1 115	2,8	0,194	120
28.04.89	10.30-11.30	0,133	647	4,4	0,236	59
	11.30-12.30	0,133	620	4,6	0,250	16
	12.30-13.30	0,133	624	4,5	0,244	31
	14.30-15.30	0,133	751	3,8	0,215	71
	15.30-16.30	0,133	731	3,9	0,206	73
	16.30-17.30	0,133	992	2,8	0,214	30
06.05.89	10.30-11.30	0,140	1 706	1,7	0,081	112
	11.30-12.30	0,140	1 968	1,5	0,070	166
	12.30-13.30	0,140	1 649	1,8	0,059	142
	14.30-15.30	0,140	1 648	1,8	0,059	115
	15.30-16.30	0,140	1 765	1,7	0,059	206
	16.30-17.30	0,140	1 554	1,9	0,063	197
	07.05.89	10.30-11.30	0,143	1 776	1,7	0,109
11.30-12.30	0,143	2 031	1,5	0,099	70	
12.30-13.30	0,143	2 318	1,3	0,088	135	
	14.30-15.30	0,143	1 556	2,0	0,071	205
	16.30-17.30	0,143	1 633	1,8	0,084	214

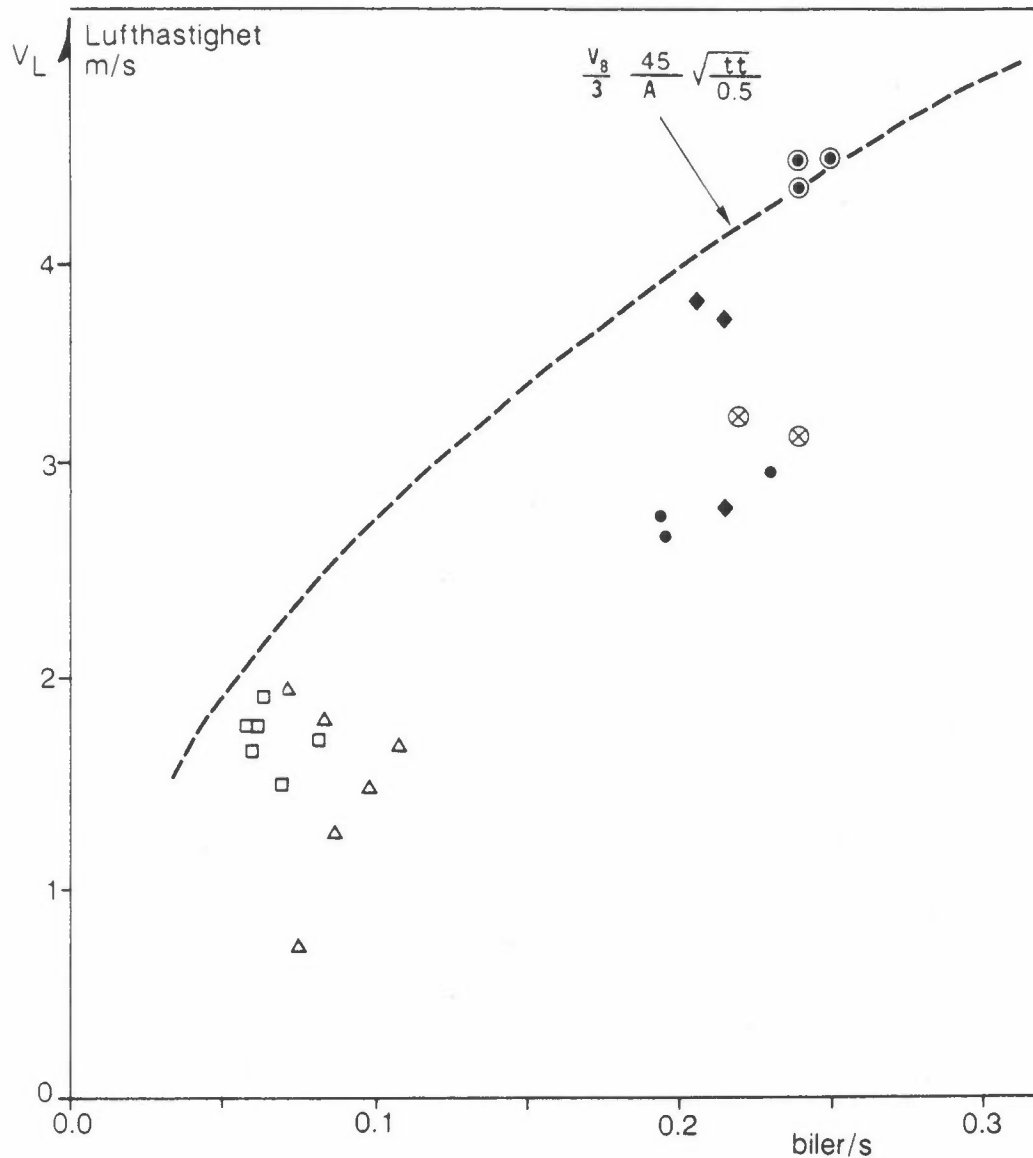
Tabellene inkluderer også resultater av sporgassmålinger utført i motgående løp, for å kunne anslå graden av kobling mellom løpene (kapittel 7).

I figur 22 og 23 er lufthastigheten i munningene beregnet fra sporgassmålingene plottet mot trafikk tettheten for henholdsvis nord- og sørgående løp. I tillegg ble det i nordgående løp gjennomført sporgassforsøk gjennom en hel ettermiddag og natt, for å få mer data om lufthastigheten som funksjon av trafikkmengden, og gi bedre grunnlag for å sjekke den beregningsformelen som benyttes til beregning av lufthastigheten på grunn av bilenes pumpevirking.



	DATO	UKEDAG	TUNGTR.ANDEL %
◆	12.4	onsdag	12
⊙	"	"	22
●	14.4	fredag	10
⊗	"	"	22
□	22.4	lørdag	3.5
△	23.4	søndag	3.5
●	18-19.4	tirsdag-onsdag	15-25 ("natt-test")

Figur 22: Lufthastighet i Etterstad-munningen, nordgående løp, beregnet fra sporgassmålingene, som funksjon av trafikk tetthet (tt) og tungtrafikkandel. Kjørehastighet (V_B): 60 km/h. Tverrsnittsareal, munning (A): 61 m².



DATO	UKEDAG	TUNGTR.ANDEL %	KJØREH. km/h
● 27.4	torsdag	10.5	68
⊗ "	"	24	60
◆ 28.4	fredag	10.5	68
⊙ "	"	22	66
□ 6.5	lørdag	4.5	69-71
△ 7.5	søndag	4-5	70

Figur 23: Lufthastighet i Lodalen-munningen, sørgående løp, beregnet fra sporgassmålingene, som funksjon av trafikk tetthet (tt) og tungtrafikkandel. Kjørehastighet (V_B): 60 km/h. Tverrsnittsareal, munning (A): 47 m².

I nordgående løp var kjørehastigheten hele tiden nær 60 km/h. Tungtrafikkandelen varierte mellom 3,5% på helgedager og 10-20% på virkedager.

Figur 22 viser resultatene for nordgående løp. I figuren er også plottet inn linjen for det uttrykket som brukes til å beregne bilenes pumpevirkning i et tunnellop.

Det ble naturlig nok målt økt lufthastighet ved økende trafikk-tetthet. Målingene på dagtid med ca. 10% tungtrafikk stemte godt med beregningsformelen for stempelvirkning. Med ca. 20% tungtrafikk ga målingene noe større hastigheter enn beregningsformelen. Målingene i helgene, med 3-4% tungtrafikk, ga hastigheter en god del lavere enn formelen. Om natten, med lite trafikk, men med stor tungtrafikkandel, 15-25%, stemte målingene bra med beregningsformelen.

Figur 23 viser lufthastigheter målt i sørgående løp, med kjørehastighet stort sett innenfor 66-71 km/h. I beregning av stempelhastighet (stiplet linje i figuren) er det brukt 70 km/h. Også for sørgående løp stemmer uttrykket for stempelvirkningen bra med målt hastighet ved 10-20% tungtrafikk.

7 KOBLING MELLOM TUNNELLØPENE

Ved tunneler med to enveiskjørt løp vil eksosutslipp fra det ene løpet kunne suges/dras inn i det andre løpet og derved gi økt forurensning der. Dette kan kalles "kobling". Under sporgassforsøkene for måling av lufthastighet, ble koblingsgraden bestemt ved at sporgasskonsentrasjonen ble målt også i det motgående løpet (se tabell 10 og 11). Konsentrasjonene kan regnes om til luftmengde, ved å multiplisere med hastighet og tverrsnittsareal. Resultatene er gitt i tabell 12.

Tabell 12: Koblingsgrad mellom nord- og sørgående løp på Etterstad og Lodalen, målt ved hjelp av sporstoff. Vinddata på Valle Hovin (6. og 7. mai: Vindobs. fra Blindern).

Dato	Tid	Koblingsgrad		Vindretning grader	Vindstyrke m/s
		Konsen- trasjon %	Luft- mengde %		
<u>Etterstad</u>					
21.04.89	8	13	8	270	0,6
	14	25	16	260	1,5
	15	16	10	200	2,0
22.04.89	11	26	14	40	4,9
	17	36	18	360	2,9
23.04.89	11	46	19	220	2,3
	12	39	17	280	2,3
	13	47	20	280	2,3
	16	43	24	190	2,5
	17	24	14	190	2,4
<u>Lodalen</u>					
27.04.89	12	7	14	20	0,9
	13	4	8	30	1,3
	15	2,5	5	10	1,5
	16	6	12	10	1,3
	17	11	22	360	1,4
28.04.89	11	9	12	360	1,8
	12	2,5	3	360	1,2
	13	5	7	10	1,5
	15	9	12	40	1,3
	16	10	13	50	1,1
	17	3	4	80	1,6
06.05.89	11	7	15	kl. 07: 20	8
	12	8	18		
	13	9	20	13: 350	5,5
	15	7	15		
	17	13	29	19: 10	3
07.05.89	11	13	34	07: 190	0,5
	12	3	8		
	13	6	16	13: 210	4
	15	13	25		
	17	13	25	19: 260	1,5

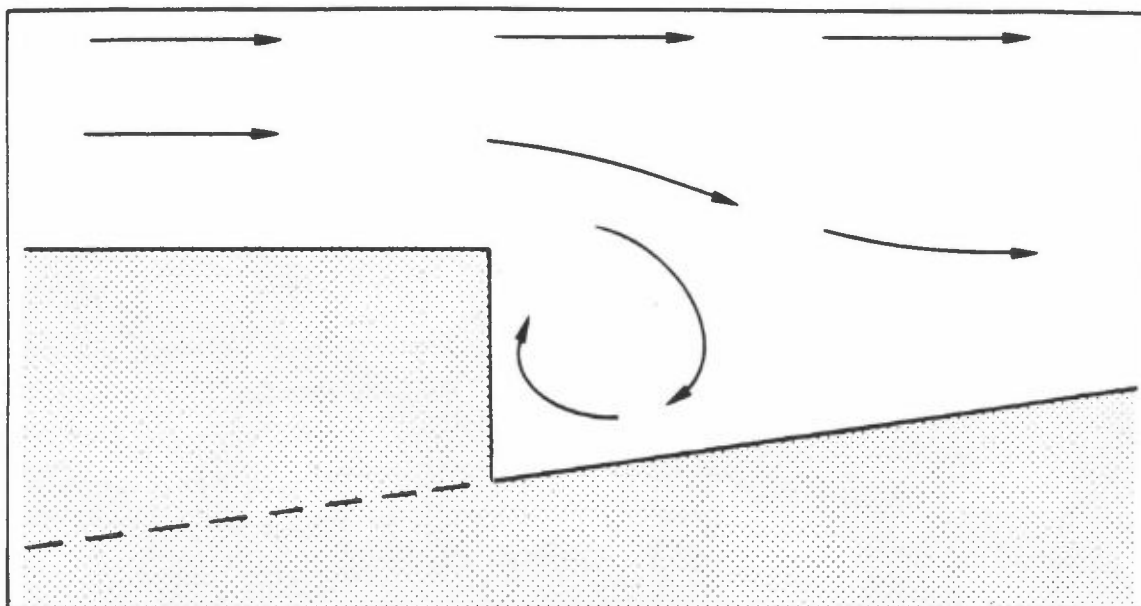
Ved nordre munning (Etterstad) ble det målt koblingsgrader (luftmengde) fra 7% til 30%. Dette innebærer at opptil 30% av eksosutslippet fra nordgående løp kan dras inn i sørgående. Dette underbygges av målingene av CO, NO_x, sot og andre stoffer ved øvre tverrslag i nordgående og sørgående løp (se kapittel 5.1 og 5.2). Konsentrasjonene i øvre tverrslag i sørgående løp er overraskende høye til å være nær innløpet av en tunnel i fall.

Den høye koblingsgraden ved Etterstad underbygges også av resultatene av to spesielle eksperimenter foretatt den 8. og 9. mai, for å etterprøve de høye koblingsgrader som kom ut av de enkle målingene som ble foretatt i forbindelse med lufthastighetsmålingene.

Den 8. og 9. mai ble sporstoffmålingene utført på flere steder langs tunnellopene, og slik at en eventuell lekkasje gjennom tverrslagene ikke påvirket målingene. Det ble målt koblingsgrader (luftmengde) på ca. 15% den 8. mai og ca. 24% den 9. mai.

Under disse forsøkene var det vind fra sør, og det blåste på Etterstad i retning fra tunnelen og langs veien ut fra munningen. Når det likevel var sterk kobling mellom løpene, skyldes det sannsynligvis at det dannes en levirvel foran munningen som gir vindretning inn mot munningen like over veien (se figur 24).

Tabell 12 viser at høye koblingsgrader ble målt også ved vind fra vest, nord og nordvest og også ved relativt sterk vind (f.eks. 26% kobling ved vind fra nordøst med styrke 4,9 m/s). Sannsynligvis gir skjæringen og gropen der munningen er en viss skjerming mot ytre vind. Bilene som kjører inn i sørgående løp drar med seg luft med eksos fra nordgående løp.



Figur 24: Skjematisk tegning av levirvel foran tunnelmunningen på Etterstad, ved sønnavind.

Ved søndre munning (Lodalen) ble det målt koblingsgrader fra 2% til 13%, altså vesentlig mindre enn på Etterstad. Dette var tilfelle både ved vind fra nord (svak og sterk), øst (svak) og sør (svak). Det er trang skjæring ca. 50 m inn mot søndre munning og munningene ligger ca. 10 m fra hverandre.

8 UTSLIPPSFAKTORER

8.1 METODE

Gjennomsnittlige utslippsfaktorer for ulike stoffer i bil-eksosen fra trafikken i et langsluftet tunnellop kan beregnes dersom en kjenner konsentrasjonen av stoffet ved to målesnitt, trafikkmengde og -sammensetning, samt lufthastigheten i tunnelen:

$$q = \frac{\Delta C \cdot v \cdot A}{tt \cdot L}$$

q : utslippsfaktor (g/km pr. bil)

ΔC : konsentrasjonsdifferanse mellom målesnittene (g/m³)

v : lufthastighet (m/s)

A : tverrsnittsareal (m²)

tt: trafikk tetthet (biler/s)

L : avstand mellom målesnittene (km)

I dette tilfellet er hastigheten bestemt ved hjelp av sporstoff:

$$v \cdot A = 10^{-6} \cdot \frac{Q_{SF_6}}{C_{SF_6}}$$

C_{SF_6} = sporstoffkonsentrasjon (ppt=10⁻¹²)

Q_{SF_6} = utslippsrate av sporstoff (cm³/s)

8.2 RESULTATER

Det ble gjennomført 20 spesielle tester av 3-4 timers varighet der forurensningskonsentrasjon, trafikk og lufthastighet ble målt, 10 tester i hvert løp, både på virkedager og helgedager. Resultatene av forurensningsmålingene er gitt i vedlegg 2. Tabell 13a og 13b gir beregnede utslippsfaktorer for trafikkstrømmen totalt, for CO, NO_x, NO₂, SO₂, sot, svevestøv, PAH, aldehyder og mutagenitet basert på resultatene fra disse 20 testene.

I tabell 14 er i tillegg gitt beregnede utslippsfaktorer basert på 12-timers-målingene av forurensning som ble foretatt. Lufthastigheten ble ikke målt over disse 12-timesperiodene. I beregningen er brukt lufthastigheter avlest fra figurene 22 og 23, basert på gjennomsnittlig trafikk tetthet som ble målt hver dag.

Tabell 13a: Utslippsfaktorer (g/km, gjennomsnitt for alle biler) beregnet på grunnlag av 3-4-timersmålinger av forurensning, trafikk og lufthastighet (ved hjelp av sporstoff, SF₆).

Dato	Test nr.	Uke dag	Tunn. løp	Tid	Q _{SF₆} cc/s	C _{SF₆} ppt	Biler/s	Tung tr. %	q _{CO} g/km	q _{NOx} g/km	q _{NO₂} (K) g/km	q _{NO₂} (M) g/km	q _{SO₂} g/km	q _{sot} g/km	q _{sv/fin} g/km	q _{sv/grov} g/km
12.04	1	ONS	NG	0740-1040	0,350	1263	0,246	22,2	5,99	7,75	0,216	0,925	0,186	0,799	0,168	0,084
12.04	2	ONS	NG	1250-1500	0,315	1145	0,342	11,6	5,48	5,85	0,171	0,577	0,134	0,537	0,089	0,053
14.04	3	FRE	NG	0745-1040	0,373	1286	0,256	22,3	7,47	9,22	0,318	0,786	0,318	1,356	0,311	0,465
14.04	4	FRE	NG	1230-1530	0,415	1312	0,349	10,1	13,50	7,08	0,187	0,442	0,224	1,293	0,288	0,403
21.04	5	FRE	NG	0720-1030	0,173	732	0,240	22	8,4	7,4		0,330	0,070	1,00	0,16	0,06
21.04	6	FRE	NG	1230-1530	0,200	836	0,340	11	7,5	4,6	0,06	0,224	0,082	0,03	0,12	0,36
22.04	7	LØR	NG	1030-1330	0,185	1234	0,201	3,5	9,05	4,59	0,087	0,173	0,054	0,179	0,084	0,233
22.04	8	LØR	NG	1430-1730	0,180	1144	0,211	3,3	8,09	3,80	0,063	0,098	0,056	0,127	0,016	0,025
23.04	9	SØN	NG	1030-1330	0,178	952	0,180	2,9	10,39	4,18	0,084	0,298	0,042	-	0,055	0,009
23.04	10	SØN	NG	1430-1730	0,175	989	0,263	3,4	8,73	3,46	0,066	0,115	0,026	0,117	0,053	0,044
27.04	11	TOR	SG	0930-1345	0,143	934	0,231	24,0	3,53	0,43	0,147	0,010	0,008	-	0,014	0,024
27.04	12	TOR	SG	1430-1830	0,147	1101	0,207	10,5	5,35	0,89	0,152	0,130	-0,01	-	0,026	0,126
28.04	13	FRE	SG	0930-1330	0,133	630	0,243	21,8	3,33	0,86	0,213	-0,07	-0,02	-	0,043	0,316
28.04	14	FRE	SG	1430-1830	0,133	825	0,212	10,3	5,02	0,81	0,144	-0,02	-0,01	0,065	0,023	0,076
06.05	15	LØR	SG	1030-1330	0,140	1774	0,070	4,6	6,96	0,64	-0,03	-0,07	0,02	0,048	0,029	0,070
06.05	16	LØR	SG	1430-1730	0,140	1656	0,060	4,1	6,90	0,65	-0,01	-0,02	-0,01	0,057	0,021	0,096
07.05	17	SØN	SG	1030-1330	0,143	2042	0,099	3,7	7,22	0,59	0,003	-0,04	0,006	0,033	0,035	0,095
07.05	18	SØN	SG	1430-1730	0,143	2445	0,077	4,3	4,20	0,25	-0,005	-0,03	-0,0004	-	0,015	0,066
20.05	19	LØR	SG	1030-1330	-	-	-	5,6	-	-	-	-	-	-	-	-
20.05	20	LØR	SG	1430-1730	-	-	-	5,7	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabell 13b: Utslippsfaktorer (g/km, gjennomsnitt for alle biler) beregnet på grunnlag av 3-4-timersmålinger av forurensning, trafikk og lufthastighet (ved hjelp av sporstoff, SF₆).

Dato	Test nr.	Uke dag	Tunn. løp	Tid	q _{PAH part.} mg/km	q _{PAH PUR} mg/km	Mutagenitet + S9 - S9 10 ³ rev/km	q _{Formald.} g/km	q _{Acetald.} g/km
12.04	1	ONS	NG	0740-1040				0,0314	0,0120
12.04	2	ONS	NG	1250-1500				0,0192	0,0124
14.04	3	FRE	NG	0745-1040	0,445	2,25	247 235	0,0313	0,0034
14.04	4	FRE	NG	1230-1530				0,0396	0,0036
21.04	5	FRE	NG	0720-1030	0,445	2,85		0,017	0,009
21.04	6	FRE	NG	1230-1530					
22.04	7	LØR	NG	1030-1330	0,326	-	235 94	0,0091	0,0081
22.04	8	LØR	NG	1430-1730				0,0055	0,0065
23.04	9	SØN	NG	1030-1330	0,271	1,16		0,0017	0,0033
23.04	10	SØN	NG	1430-1730				0,0090	0,0037
27.04	11	TOR	SG	0930-1345	0,093	0,918		0,001	0,004
27.04	12	TOR	SG	1430-1830				0,031	0,025
28.04	13	FRE	SG	0930-1330	0,148	0,287		0,012	0,004
28.04	14	FRE	SG	1430-1830				0,011	0,003
06.05	15	LØR	SG	1030-1330	-	-		0,010	0,004
06.05	16	LØR	SG	1430-1730	-	-		0,013	0,005
07.05	17	SØN	SG	1030-1330	0,046	0,824		0,011	-0,0003
07.05	18	SØN	SG	1430-1730				0,012	-0,0003
20.05	19	LØR	SG	1030-1330	-	-		-	-
20.05	20	LØR	SG	1430-1730	-	-		-	-

Tabell 14: Utslippsfaktorer (g/km, gjennomsnitt for alle biler) beregnet på grunnlag av 12-timersmålinger av forurensning og trafikk tetthet, samt estimat av luft-hastighet (basert på figurene 22 og 23).

Dato	Uke dag	v m/s	Biler/s	q _{CO}	q _{NO_x}	q _{NO₂} (K)	q _{NO₂} (M)	q _{SO₂}	q _{sot}	q _{sv.fin}	q _{sv.grov}	q _{Pb(10⁻³)}
<u>NG</u>												
12.04	ONS	3,8	0,281	8,0	6,77	0,179	0,118	0,11	0,74			2,30
13.04	TOR	3,8	0,281	11,2	7,55	0,223	0,228	0,23	1,33	0,230	0,362	2,97
14.04	FRE	3,8	0,281	11,6	7,95	0,252	0,328	0,28	1,81			4,15
15.04	LØR	2,2	0,169	10,8	5,03	0,157	0,107	0,11	0,40	0,082	0,158	2,69
16.04	SØN	2,2	0,164	11,3	5,33	0,159	0,134	0,08	0,33	0,066	0,141	2,81
17.04	MAN	3,8	0,281	10,9	8,95	0,288	0,382	0,24	1,43	0,246	0,425	2,30
18.04	TIR	3,8	0,281	10,3	8,71	0,212	0,364	0,18	1,63	0,241	0,359	3,73
19.04	ONS	3,8	0,281	11,2	8,26	0,223	0,348	0,18	1,48	0,228	0,483	2,79
20.04	TOR	3,8	0,281	10,9	8,04	0,190	0,322	0,14	1,33	0,275	0,134	2,55
21.04	FRE	3,8	0,281	10,1	6,65	0,107	0,306	0,13	1,05			3,19
22.04	LØR	2,2	0,176	10,3	5,21	0,105	0,259	0,074	0,58			4,19
23.04	SØN	2,2	0,171	9,8	3,83	0,081	0,100	0,055	0,23			2,19
<u>SG</u>												
24.04	MAN	2,5±0,5	0,208	4,9	1,37	0,254		neg		0,039		
25.04	TIR	2,5±0,5	0,192 kø	12,8	2,06	0,459		neg		0,073		
26.04	ONS	2,5±0,5	0,216	4,9	1,04	0,219		neg		0,029		
27.04	TOR	2,5±0,5	0,162 litt kø	5,0	0,94	0,258		neg				
28.04	FRE	2,5±0,5	0,191 kø				0,72	neg	0,100			
29.04	LØR	1,7±0,2	0,162	4,8	0,63	0,079		neg		0,017		
30.04	SØN	1,6±0,2	0,138	6,3	0,67	0,034		neg		0,020		
03.05	ONS	2,5	0,200 kø	7,3	0,66	0,064		neg		0,088		
04.05	TOR	2,5	0,152	5,0	0,43	0,007		neg		0,014		
05.05	FRE	2,5	0,214	6,0	0,70	0,043		neg		0,038		1,34
06.05	LØR	1,1	0,068	5,7	0,51			neg				
07.05	SØN	1,1	0,073	7,0				neg	0,006			0,42
08.05	MAN	2,5	0,200	5,9	0,62	0,064		neg	0,17			0,31
09.05	TIR	2,5	0,197 litt kø	7,1	0,68	0,073		neg				
10.05	ONS	2,5	0,203	5,8	0,50	0,043		neg	0,025	0,040		0,60
11.05	TOR	2,5	0,207 litt kø	6,0	0,63	0,078		neg	0,115	0,046		0,82

De beregnete utslippsfaktorene for CO, NO_x, NO₂, sot, SO₂, svevestøv, PAH og aldehyder og mutagenitet er plottet i figurene 25-41 som funksjon av tungtrafikkandelen i trafikken.

Dersom det antas en rettlinjett sammenheng mellom gjennomsnittlig utslippsfaktor fra trafikkstrømmen (q_A) og tungtrafikkandelen (a), kan følgende sammenheng mellom utslippsfaktorer for lette (q_L) og tunge biler (q_T) settes opp:

$$q_A = q_L + a (q_T - q_L)$$

q_L er linjens skjæringspunkt med y-aksen, mens linjens vinkelkoeffisient er $(q_T - q_L)$.

Figurene viser at beregnet utslippsfaktor varierer fra dag til dag, sannsynligvis i stor grad på grunn av usikkerheter i de enkelte målingene. Spredningen er begrenset for de fleste stoffer, men den er relativt stor for SO_2 .

På grunnlag av målingene, kan en anslå de utslippsfaktorene som er satt opp i tabell 15 for lette bensindrevne og tunge dieseldrevne kjøretøy.

I det følgende kommenteres vurderingen for hver enkelt komponent.

8.3 VURDERING

8.3.1 Nordgående løp (3.5% stigning, 60 km/h)

Det gjelder generelt for de fleste komponenter at prøvene 12. og 13. april ble tatt før lekkasjene i tverrslagene ble tettet. Vi har derfor valgt å legge liten vekt på disse prøvene, når de avviker fra de øvrige. Den 21. april mangler trafikkdata. Utslippsfaktorer beregnet fra prøvene denne dagen er derfor usikre. Det viser seg at beregnet utslippsfaktor for mange komponenter er svært lav denne dagen.

CO (figur 25)

Utslippsfaktoren for lette biler, 10 g/km, er ganske godt bestemt. Spredningen i punktene for tungtrafikkandeler på 10-20% er relativt stor. En regresjonslinje i figur 25 vil være omtrent horisontal. Dette medfører en utslippsfaktor for dieseldrevne lastebiler også på ca. 10 g/km.

Tabell 15: Utslippsfaktorer (g/km) for lette bensindrevne og tunge dieseldrevne kjøretøy, estimert på grunnlag av de beskrevne målinger i tunnellopene.

	NORDGÅENDE LØP 3,5% stigning, 60 km/h		SØRGÅENDE LØP 3,5% fall, 70 km/h	
	Lette bensinbiler	Dieseldrevne lastebiler ¹	Lette bensindrevne biler	Dieseldrevne lastebiler ²
CO	10	≈10	5	≈5
NO _x	3,7	31	0,5	3,5
NO ₂ (kont)	0,06	1,25	≈0	0,66
NO ₂ (manuell)	0,08	1,9	-	-
Partikler, finfraksjon ³	0,005	1,75	0,018	0,10
Sot (OECD) ⁷	≈0	≈5	-	-
SO ₂	0,018	1,35	-	-
Formaldehyd	0,0025	0,122	≈0,01	-
Acetaldehyd	≈0,005	(≈0,015)	≈0,002	-
PAH (part.)	0,25·10 ⁻³	1,55·10 ⁻³	0,03·10 ⁻³	0,5·10 ⁻³
PAH (gass)	0,8·10 ⁻³	12·10 ⁻³		
Mutagenitet (+S9) ⁵	120·10 ³	1120·10 ³		
(-S9) ⁶	50·10 ³	1330·10 ³		

1. Sammensetning: 50% lette, 10% middeltunge, 40% tunge.
2. Sammensetning: 50% lette, 10% middeltunge, 40% tunge.
3. Partikler med diameter <2.5 µm (EAD)
4. Enhet: Revertanter/km
5. + S9: Med metabolsk aktivering
6. - S9: Uten metabolsk aktivering
7. "OECD-sot", basert på OECD's kalibreringskurve for sot.

NO_x (figur 26)

Det er en ikke ubetydelig spredning i punktene, som gjør beregnede utslippsfaktorer noe usikre. Vi velger å legge liten vekt på dataene fra 12.4. og 21.4., som alle ligger lavt, og anslår den regresjonslinjen som er vist i figuren.

Dette gir 3,7 g/km for lette bensindrevne biler og 31 g/km for dieseldrevne lastebiler.

NO₂ (figur 27 og 28)

For NO₂ er spredningen spesielt stor. Data for de kontinuerlige målingene og de manuelle målingene avviker også fra hverandre. Spredningen kan være uttrykk for reell variasjon, eller det kan ha vært prøvetakings- og analyseproblemer. Vi velger å legge mest vekt på data fra helgedagene og fra 12-timers-prøvene.

Vi kommer da fram til følgende utslippsfaktorer (g/km) (se tabell 15):

	Fra kontinuerlig måling	Fra manuell måling
Bensin, lett	0,063	0,083
Diesel, last	1,25	1,9

NO₂-andel av NO_x

Vi kommer fram til følgende andeler:

	Fra kontinuerlig måling	Fra manuell måling
Bensin, lett	1,7%	2,2%
Diesel, last	4,0%	6,1%

Partikler, finfraksjon, <2,5 µm (figur 29)

Vi velger å se bort fra dataene fra 12.4. og 21.4. Spredningen i dataene er da begrenset.

Beregnete utslippsfaktorer er 0,005 g/km for bensindrevne personbiler (bpb) og 1,75 g/km for dieseldrevne lastebiler (dlb).

Sot (figur 30)

Her er spredningen stor, og det er ganske stort avvik mellom dataene basert på 3-timers-prøvene og 12-timers-prøvene. 12-timers-prøvene fikk så stor sotbelastning (filtrene ble så svarte) at de gikk ut over analysemetodens gyldighetsområde. Vi velger å ta utgangspunkt i 3-timers-prøvene, og kan ut fra det grovt anslå følgende utslippsfaktorer (g/km):

	"OECD-sot"*	Elementært karbon (EC)
Bensin, lett	≈ 0	≈ 0
Diesel, last	≈ 5	≈ 1

* Beregnet basert på OECD-kalibreringskurven. Forholdet mellom OECD-sot og elementært karbon er på ca. 5 (Larssen og Semb, 1985).

Det er kjent at EC-innholdet i partikler fra bensindrevne biler er svært lite, noen få prosent. I dieselpartikkelutslipp er EC-andelen ansett å være ca. 70% (Larssen, 1990). Våre resultater stemmer bra med dette, idet EC-utslippet fra tunge dieselmotorer ble anslått til 1 g/km, som er ca. 60 prosent av beregnet finpartikkelutslipp, ca. 1,75 g/km.

SO₂ (figur 31)

Her er spredningen i punktene på figuren relativt stor. Vi velger å legge mindre vekt på dataene fra 12.4. og 21.4. som alle ligger lavt.

Beregnete utslippsfaktorer blir da 0,018 g/km for bensin, lett og 1,35 g/km for diesel, tung.

PAH (figur 32)

Her har vi bare fire prøver å basere oss på. Anslåtte utslippsfaktorer blir følgende:

	PAH _{partikler}	PAH _{gass}	PAH _{sum}
Bensin, lett (mg/km)	0,25	0,8	1,3
Diesel, tung (mg/km)	1,55	12	13,6

Aldehyder (figur 33)

Også her har vi bare få prøver å basere oss på. Spredningen er betydelig, både for formaldehyd og acetaldehyd. Prøven fra 14.4. ettermiddag skiller seg ut som spesielt høy. Anslåtte utslippsfaktorer er gitt i tabell 15.

Mutagenitet (figur 34)

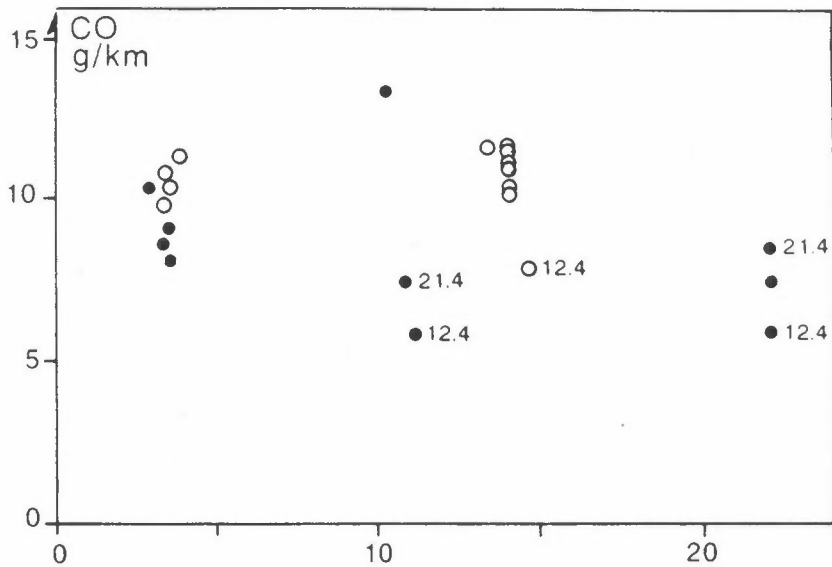
Her har vi bare to samleprøver å basere oss på, en som representerer helgedager, og en som representerer virkedager. Anslåtte utslippsfaktorer blir følgende:

	+S9*	-S9*
Bensin, lett (revertanter/km)	120 · 10 ³	50 · 10 ³
Diesel, tung	1120 · 10 ³	1330 · 10 ³

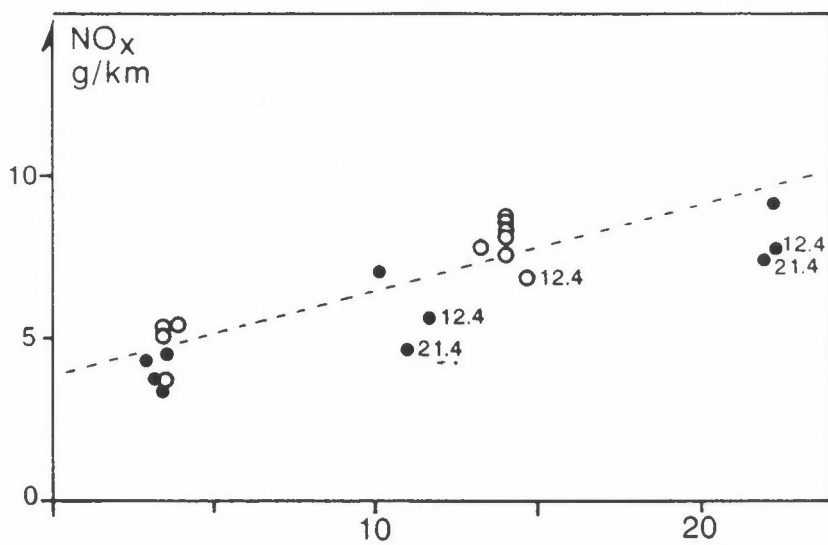
* +S9: mutagenitet målt med tilsetning av metabolsk aktiveringssubstans (S9) til prøven.

-S9: mutagenitet målt uten tilsetning av metabolsk aktiveringssubstans til prøven.

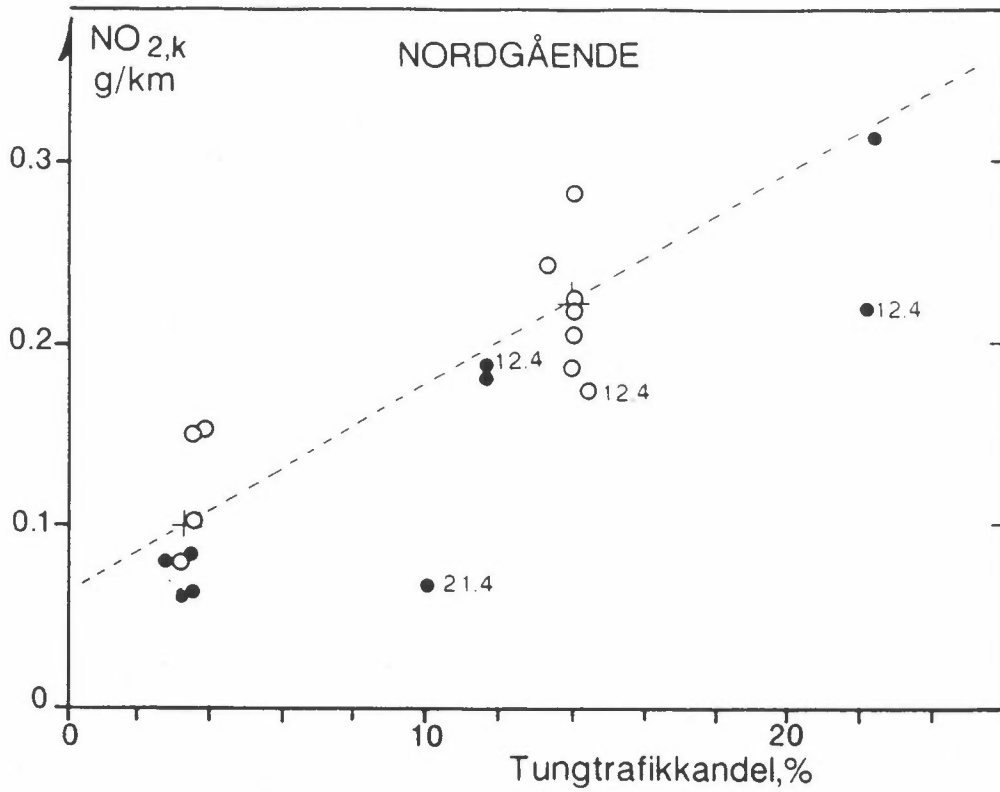
Det er tidligere kjent at mutageniteten til bensineksospartikler øker ved metabolsk aktivering (+S9), mens mutageniteten til dieseleksospartikler ikke gjør det. Våre målinger stemmer med dette bildet.



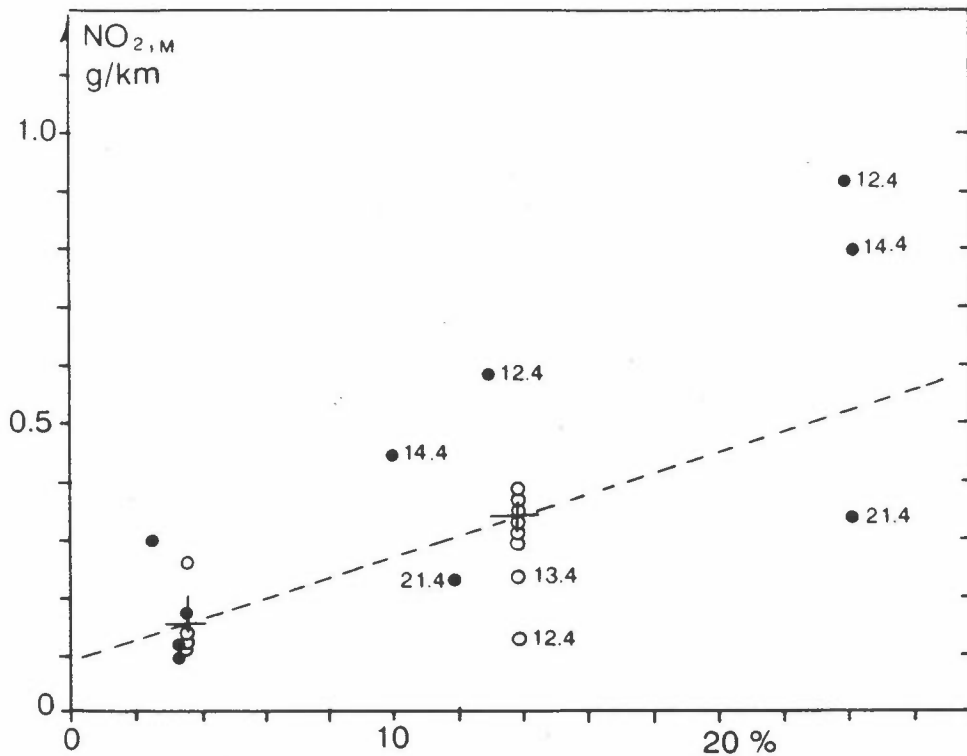
Figur 25: Utslippsfaktorer, CO, nordgående løp.



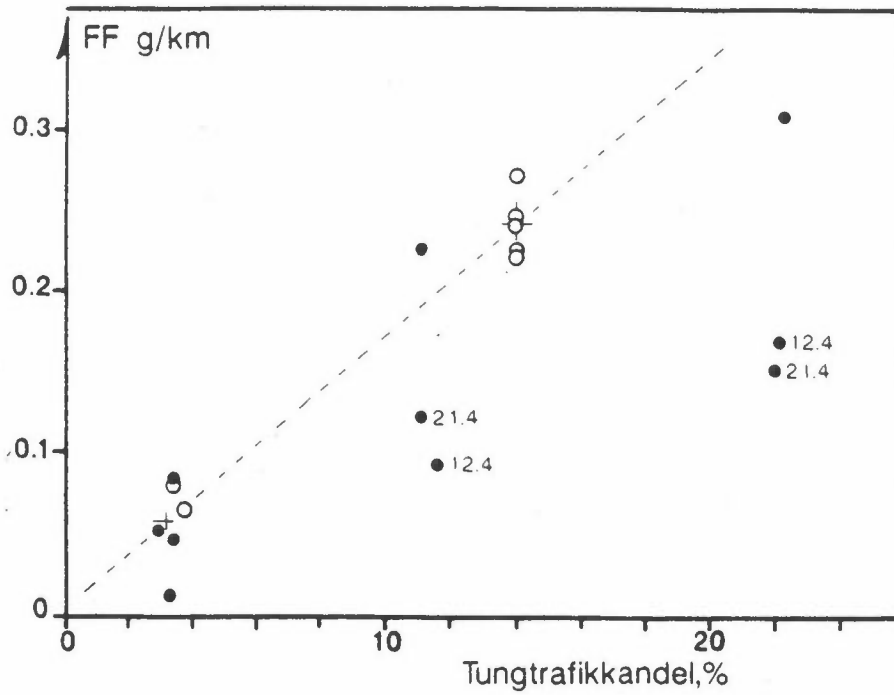
Figur 26: Utslippsfaktorer, NO_x, nordgående løp.



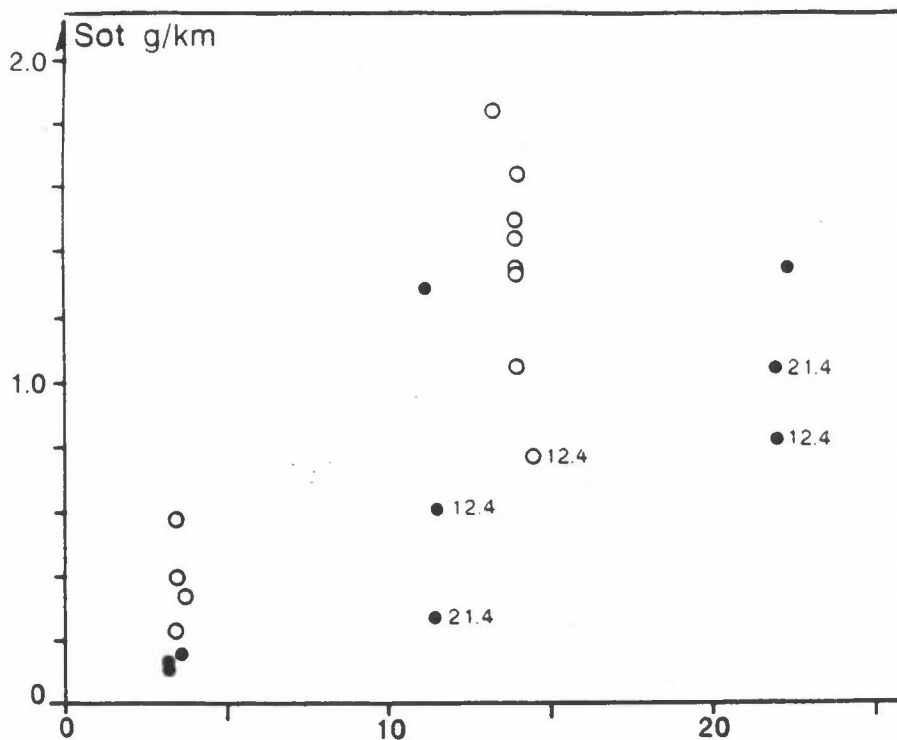
Figur 27: Utslippsfaktorer, NO₂ (fra kontinuerlig registrerende måling), nordgående løp.



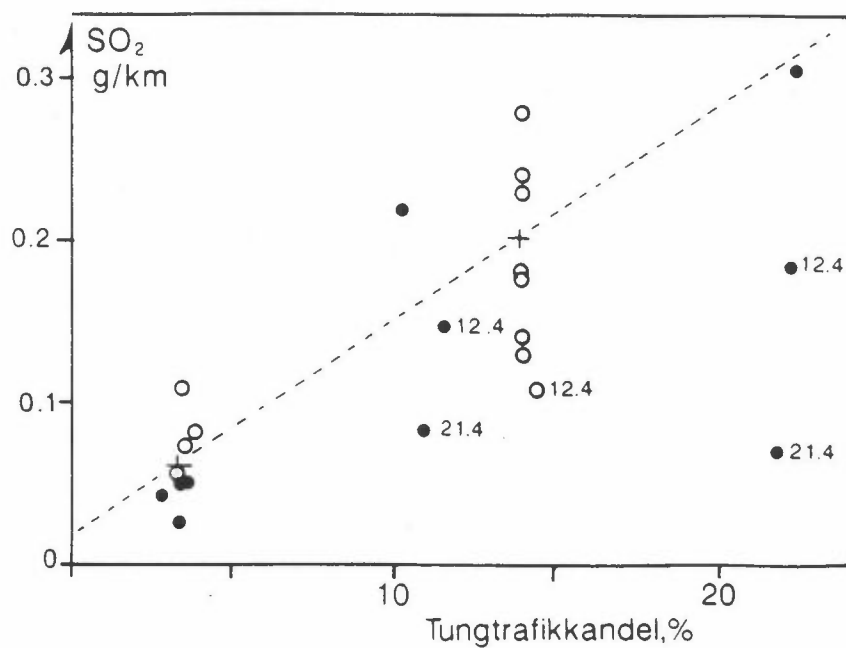
Figur 28: Utslippsfaktorer, NO₂ (fra manuell, integrerende måling), nordgående løp.



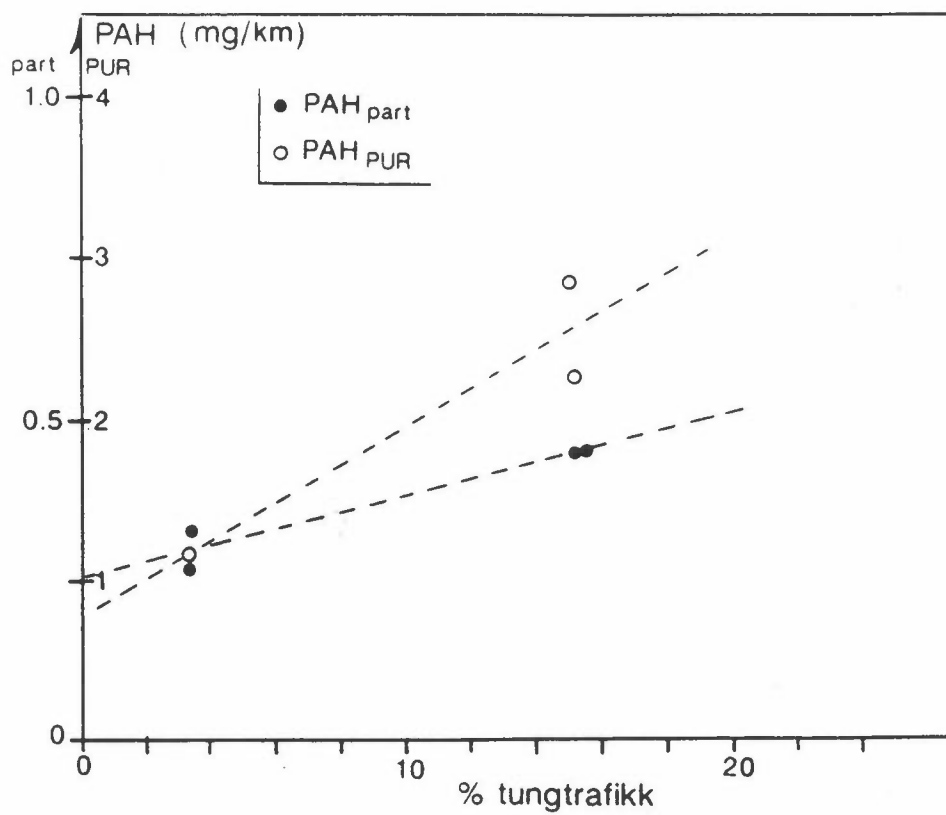
Figur 29: Utslippsfaktorer, partikler finfraksjon (diameter <math><2,5 \mu\text{m}</math>), nordgående løp.



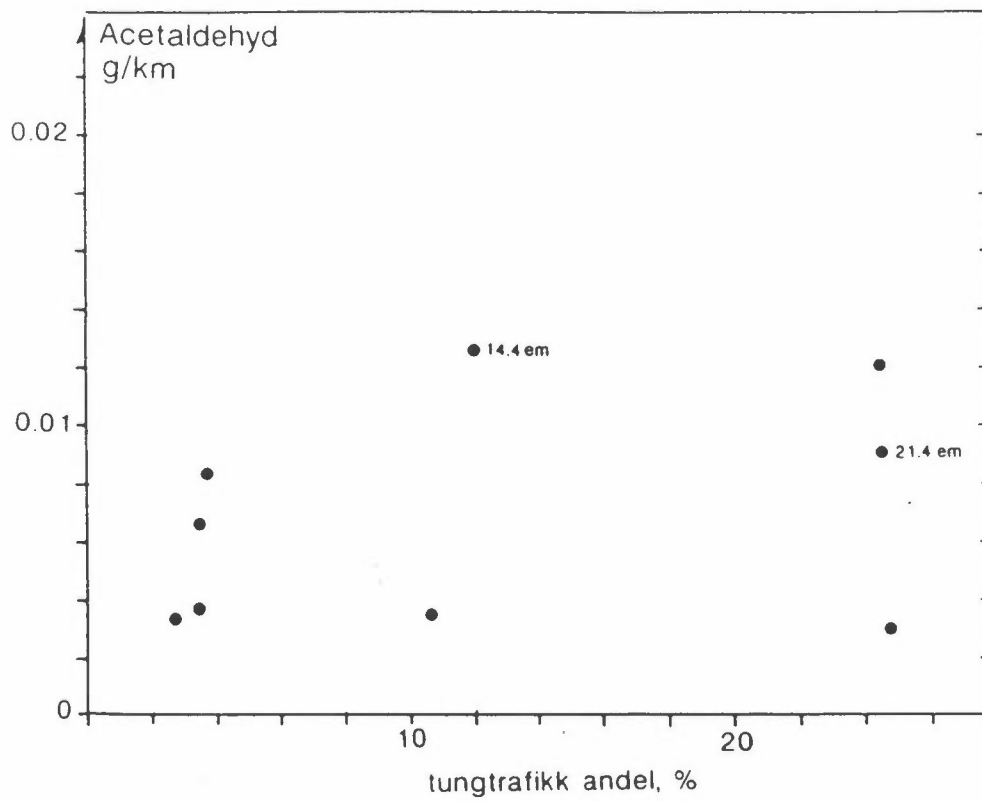
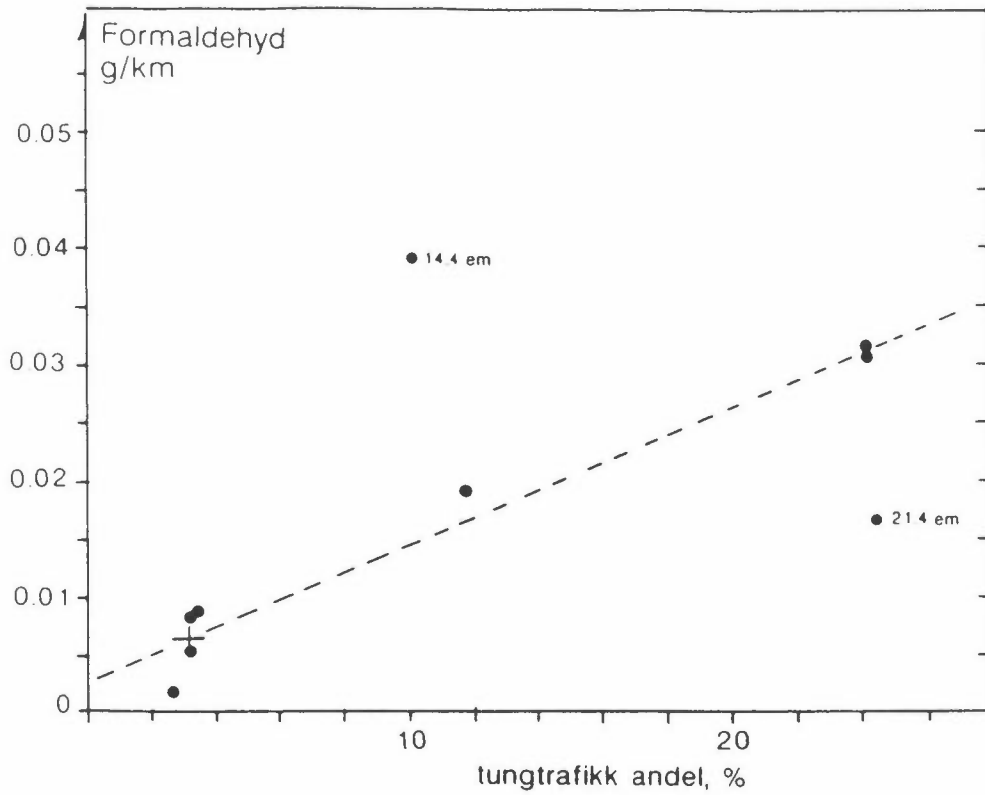
Figur 30: Utslippsfaktorer, sot, nordgående løp.



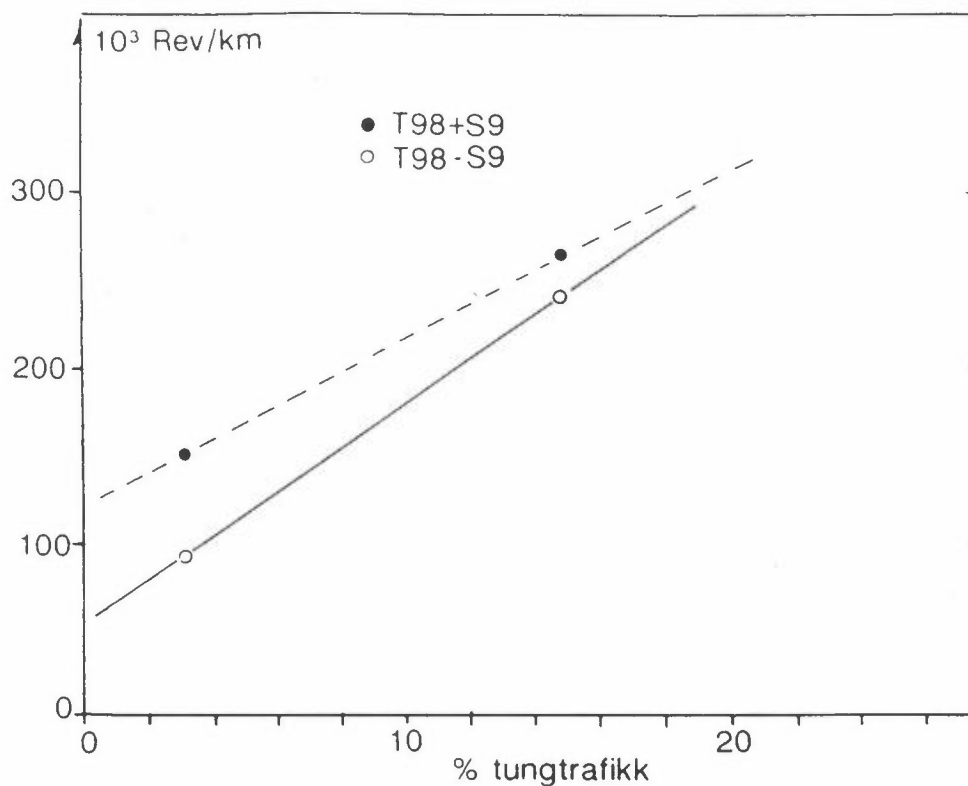
Figur 31: Utslippsfaktorer, SO_2 , nordgående løp.



Figur 32: Utslippsfaktorer, PAH, nordgående løp.



Figur 33: Utslippsfaktorer, aldehyder, nordgående løp.



Figur 34: Utslippsfaktorer, mutagenitet på partikler, nordgående løp.

8.3.2 Sørgående løp (3,5% fall, 70 km/h)

For prøvene i sørgående løp var lekkasjen imellom løpene ikke et stort problem. Noen av dagene var det kø i tunnelen i deler av tiden. Dette er avmerket på figurene.

CO (figur 35)

Spredningen i figurene er begrenset, og en regresjonslinje blir nær horisontal.

Utslippsfaktor anslås til 5 g/km for begge bilklasser.

NO_x (figur 36)

Her er spredningen større. Linjen i figuren er trukket mellom middepunktene for målingene ved ca. 5% tungtrafikkandel og ved 18-24% tungtrafikkandel.

Anslåtte utslippsfaktorer, når vi ser bort fra køforhold, blir 0,5 g/km for bensin, lett og 3,5 g/km for diesel, tung.

NO₂ (figur 37)

Her er avviket stort mellom kontinuerlige og manuelle målinger, og det er stor spredning i punktene. Anslått utslippsfaktor blir usikker. Fra de kontinuerlige målingene kan anslås ≈ 0 g/km for bensin, lett og ca. 0,7 g/km for diesel, tung.

Fra de manuelle målingene fås en utslippsfaktor for diesel, tung som er vesentlig større enn NO_x-faktoren. Dette er åpenbart ikke mulig.

Partikler, finfraksjon, <2,5 μ m (figur 38)

Spredningen i figuren er begrenset, når vi ser bort fra køforhold.

Anslåtte faktorer blir 0,018 g/km for bensin, lett (altså større enn utslippet i det stigende nordgående løp), og 0,1 g/km for diesel, tung.

Sot (figur 39)

Her er spredningen for stor til å kunne gi noe sikkert utslippsestimat. Grovt sett synes sotutslippet fra lette biler å være innenfor 0-50 mg OECD-sot/km, tilsvarende 0-10 mg EC/km.

SO₂

Fra tabell 10 og 11 framgår at målt SO₂-differanse mellom nedre og øvre stasjon oftest er negativ. Utslippet er lite og måle-
metodikken har en begrenset nøyaktighet. Det kan også innebære
absorpsjon av SO₂ på vegger i tunnelen.

Aldehyder (figur 40)

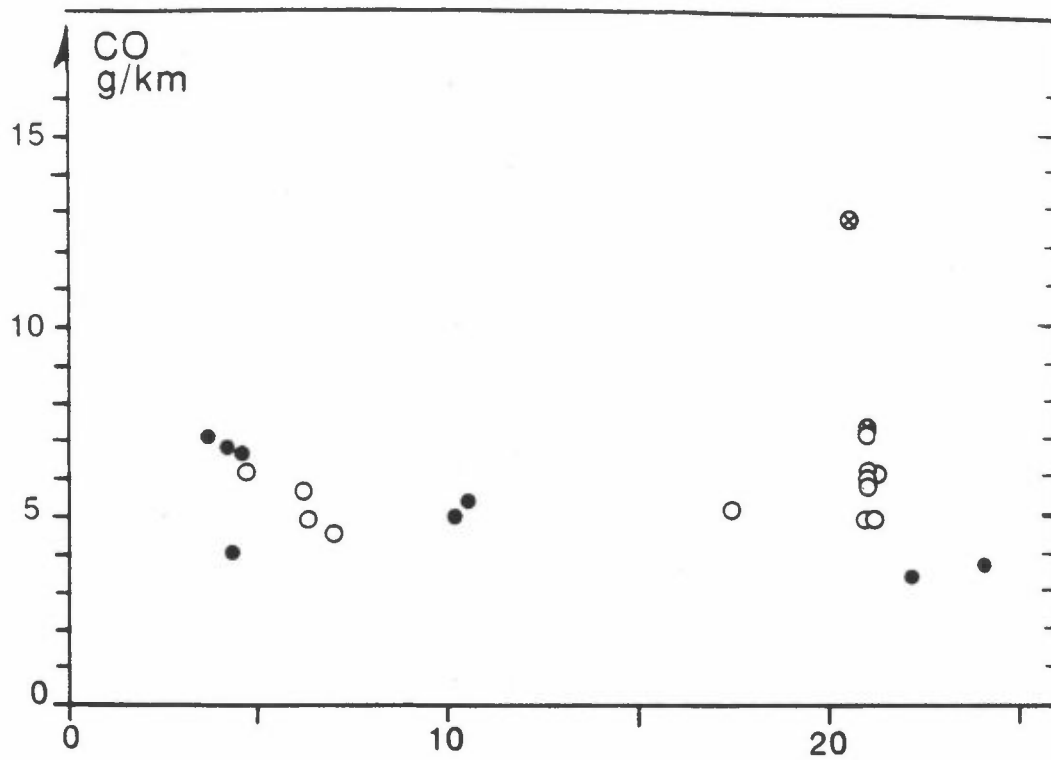
Det er tatt bare få prøver. Prøven 27.4. ettermiddag skiller seg ut som spesielt høy.

Anslåtte utslippsfaktorer blir 10 mg/km og 2 mg/km for henholdsvis formaldehyd og acetaldehyd fra lette biler. Tunge dieserbiler synes ikke å ha utslipp større enn dette.

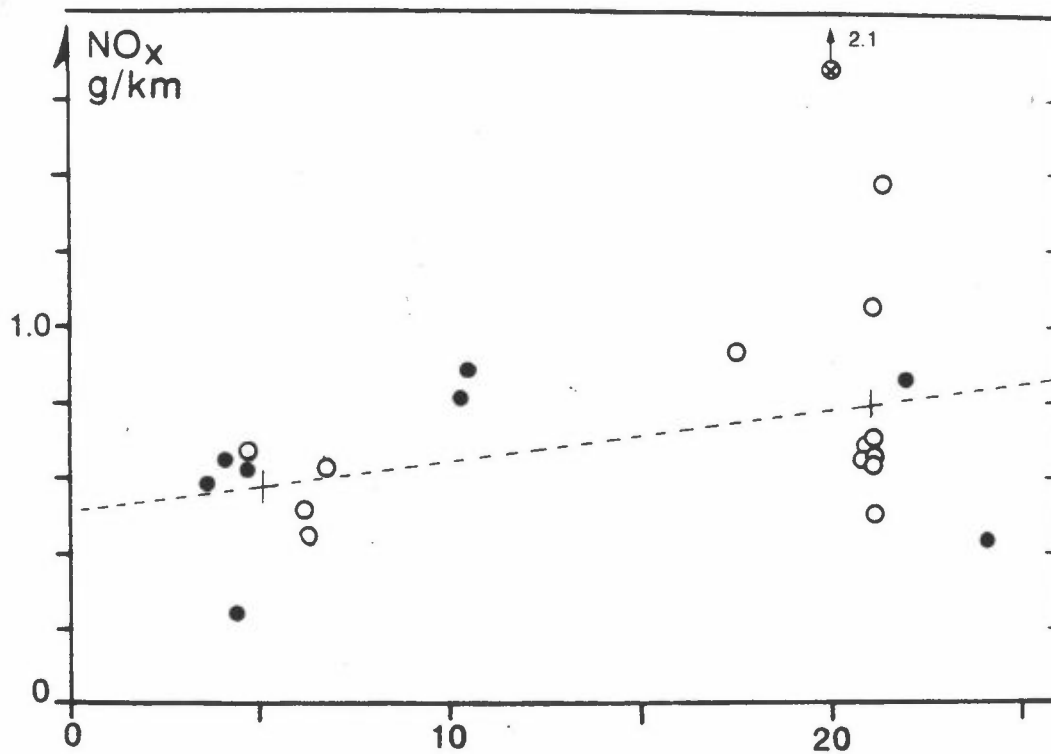
PAH (figur 41)

Her er bare et fåtall prøver tatt, og spredningen er stor, spesielt for flyktige PAH-stoffer (PAH_{pUR}).

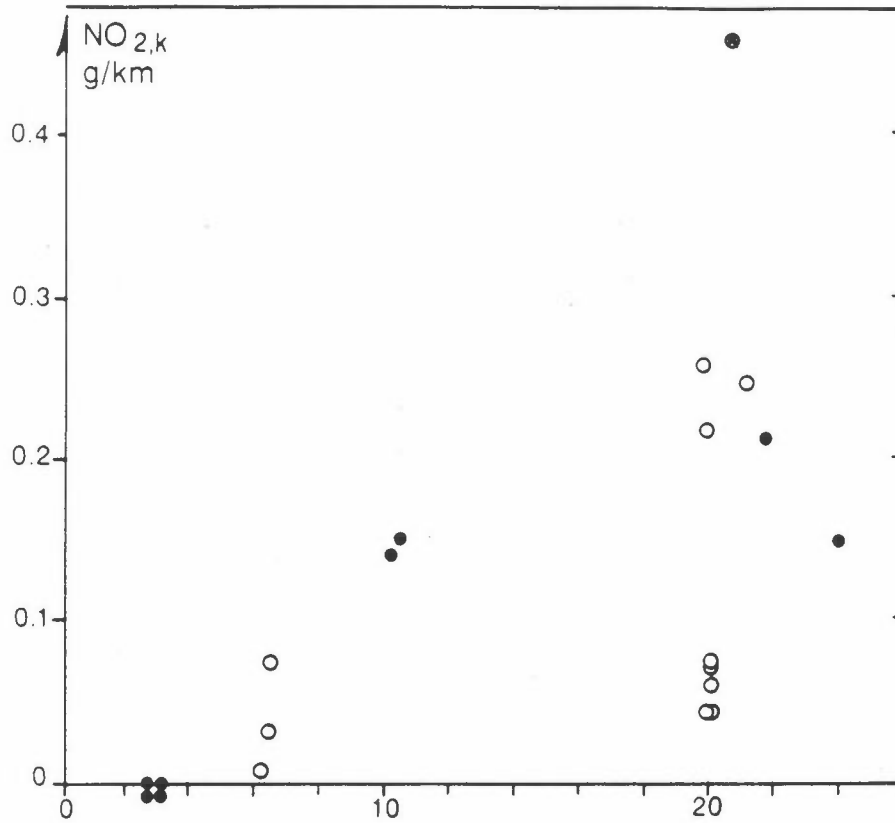
For PAH på partikler kan grovt anslås 0,03 mg/km for bensin, lett og 0,5 mg/km for diesel, tung.



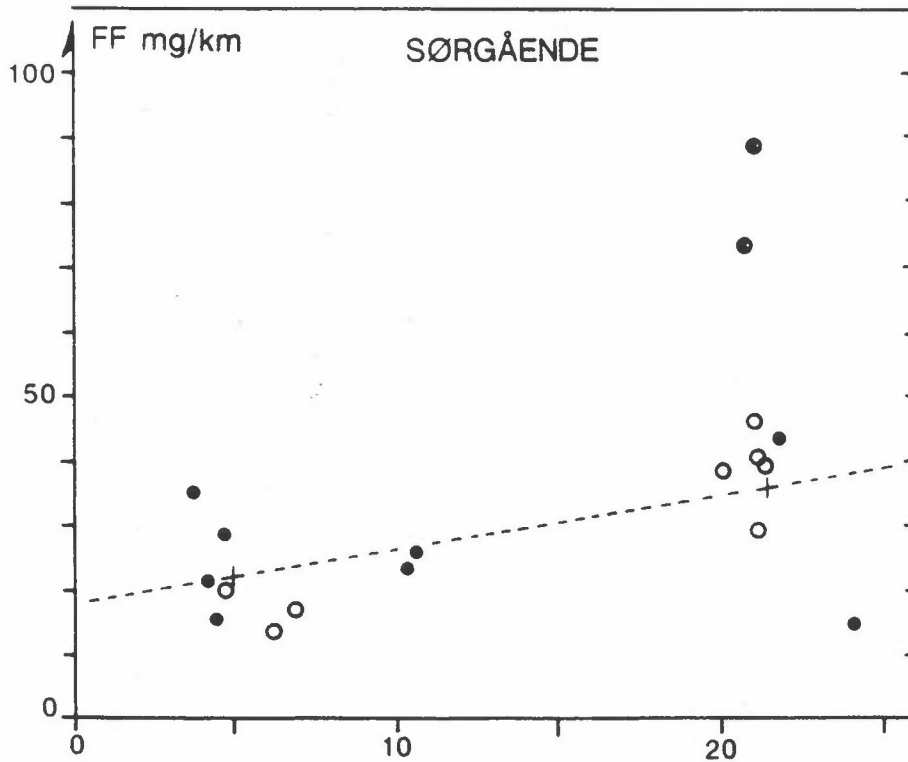
Figur 35: Utslippsfaktorer, CO, sørgående løp.



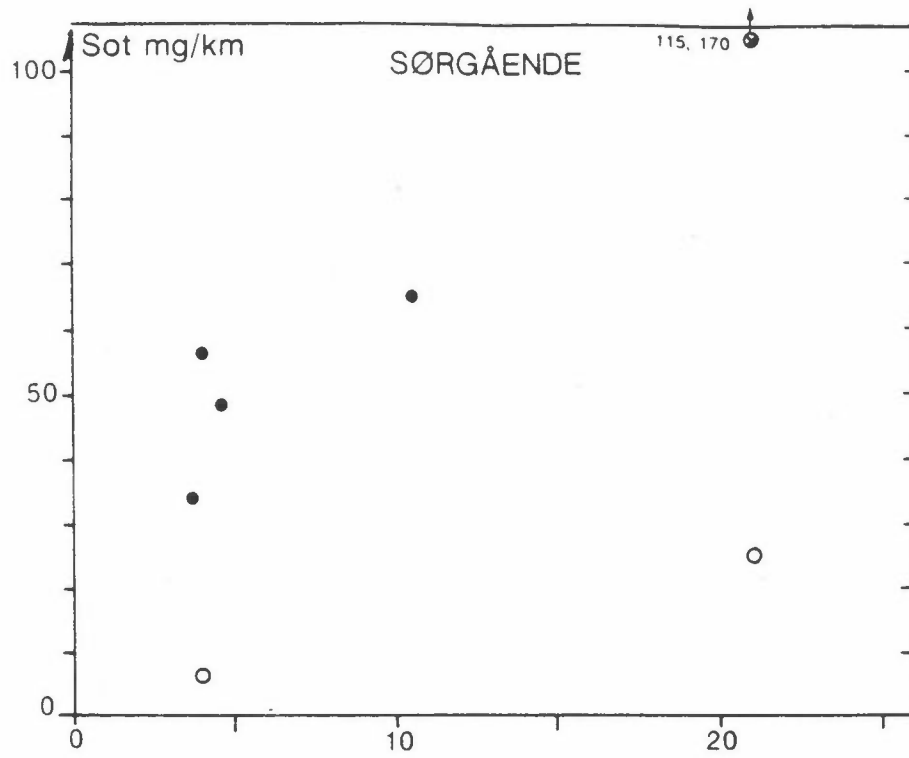
Figur 36: Utslippsfaktorer, NO_x, sørgående løp.



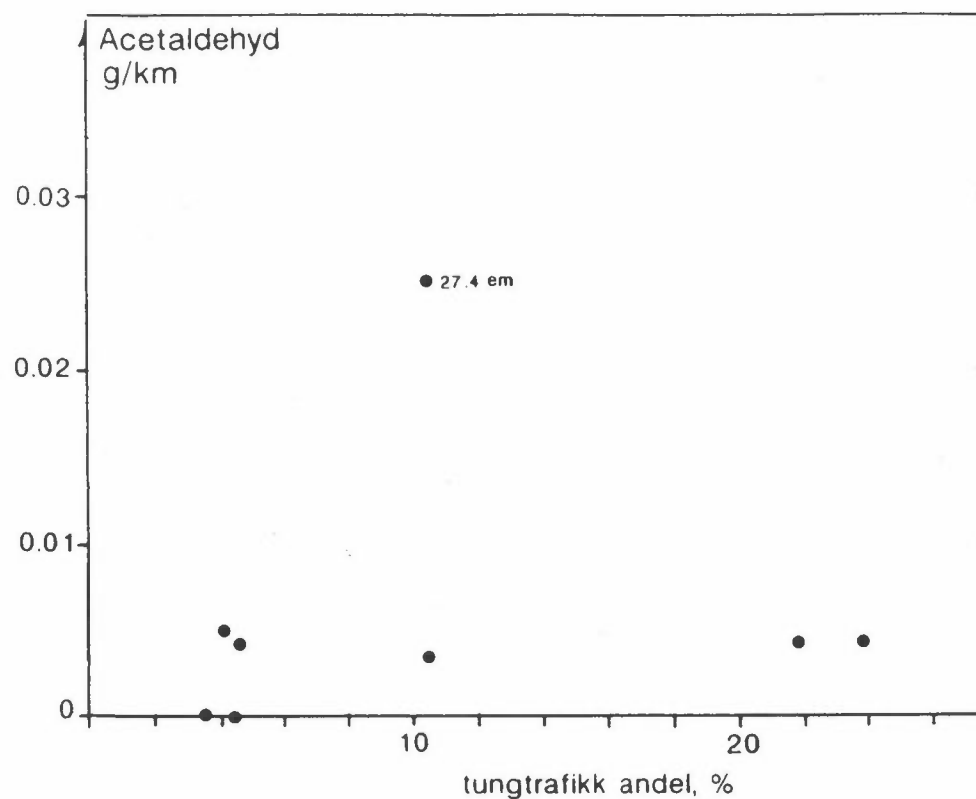
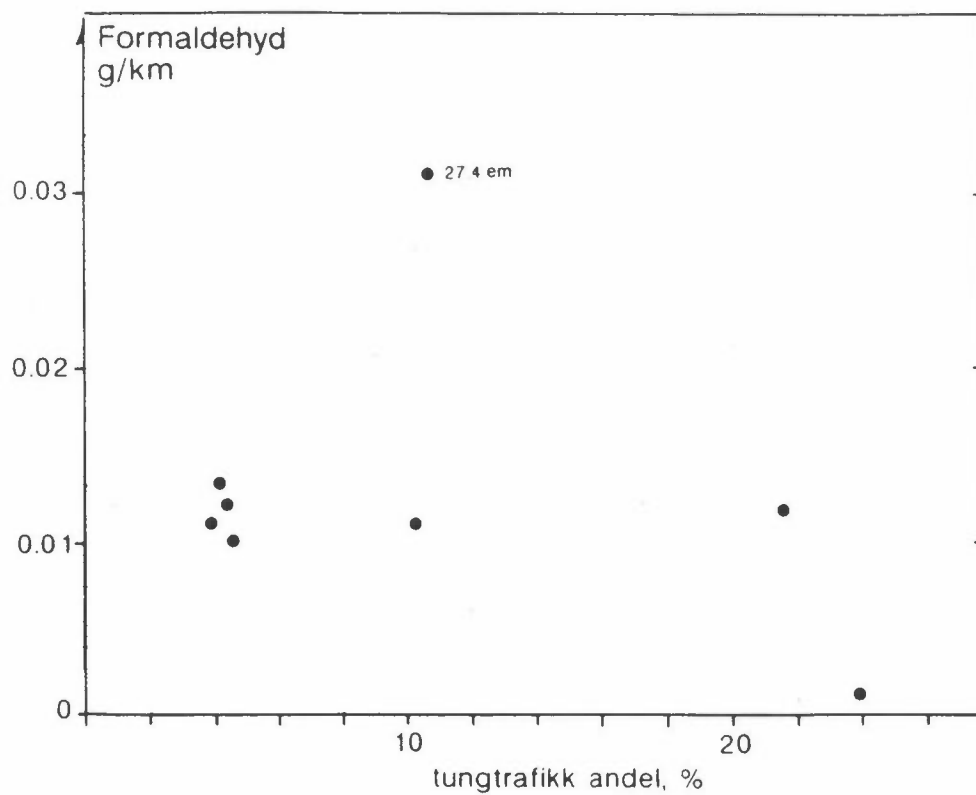
Figur 37: Utslippsfaktorer, NO₂, sørgående løp.



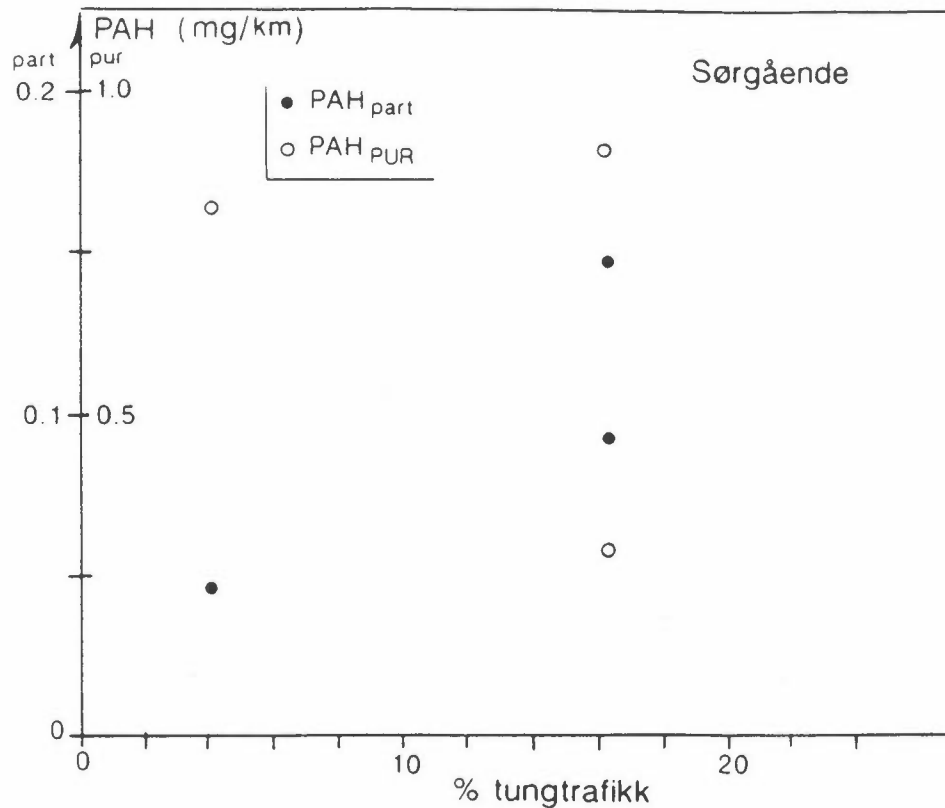
Figur 38: Utslippsfaktorer, partikler finfraksjon (diameter <2,5 μm), sørgående løp.



Figur 39: Utslippsfaktorer, sot, sørgående løp.



Figur 40: Utslippsfaktorer, aldehyder, sørgående løp.

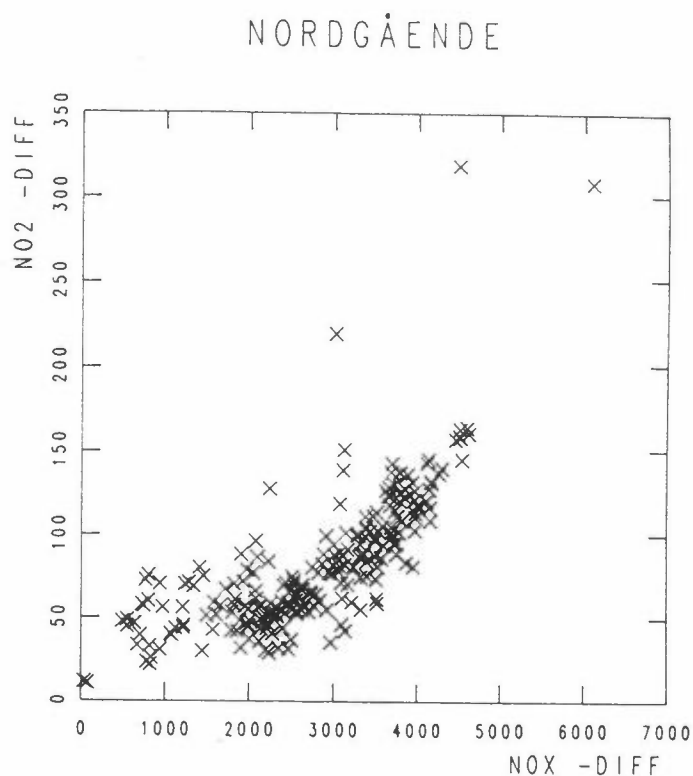


Figur 41: Utslippsfaktorer, PAH, sørgående løp.

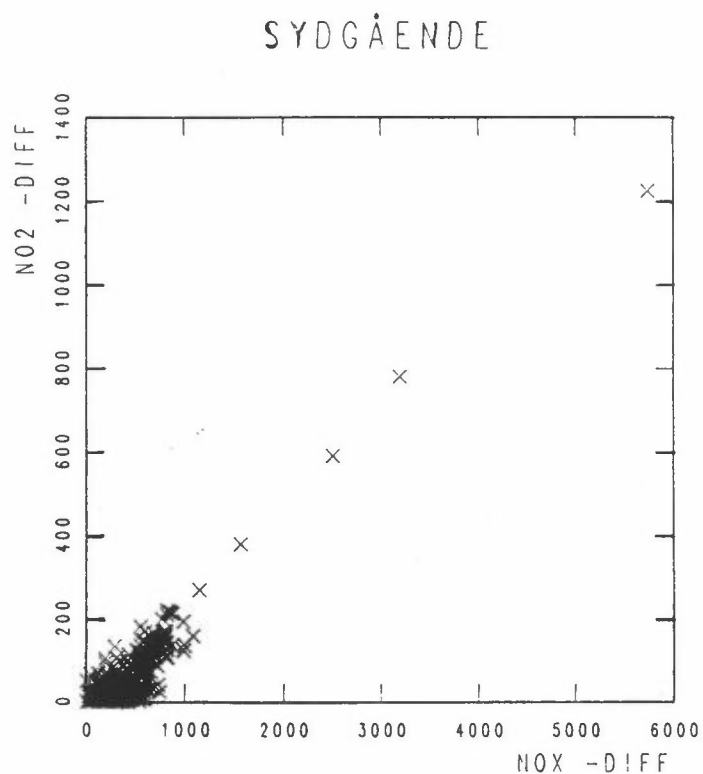
8.4 NO₂-ANDELEN AV NO_x I UTSLIPPET

I figurene 42 og 43 er NO₂-konsentrasjonen plottet mot NO_x (differansen mellom konsentrasjonen i øvre og nedre tverrslag), for nordgående og sørgående tunnellop. Figurene gjelder ulike tider av dagen med ulike tungtrafikk-andeler.

Resulterende gjennomsnittlige NO₂-andeler av NO_x er gitt i tabell 16. Der er også gitt NO₂-andelene for fem tilfeller med trafikk-kø i sørgående løp, da trafikktellingene ga 20-40% tungtrafikkandel.



Figur 42: Samhørende verdier av NO₂ og NO_x (differansen mellom konsentrasjonen ved øvre og nedre tverrslag), målt i nordgående tunnel.



Figur 43: Samhørende verdier av NO₂ og NO_x (differansen mellom konsentrasjonen ved øvre og nedre tverrslag), målt i sørgående tunnel.

Tabell 16: Gjennomsnittlige NO_2 -andeler av NO_x (prosent) som funksjon av tungtrafikkandel, for nord- og sørgående tunnellop.

	Tungtrafikkandel	Nordgående løp	Sørgående løp
<u>Virkedager</u>			
0800-1300	18-25	4,9	
0800-1400	23-30		22,6
1400-1700	8-10	3,8	
1500-2000	7-13		17,1
<u>Lørdag/søndag</u>			
1000-1800	3- 4		
1000-1800	5- 6		
<u>Trafikk-kø, virkedag</u>			
24.4. kl 0800	29		24
28.4. kl 0800	21		21
03.5. kl 0600	-		24
22.5. kl 0900	41		25
25.4. kl 0800	33		21

9 KONTROLL AV INNGANGSPARAMETRE BENYTTET I TIDLIGERE BEREGNING AV FORURENSNING UTENFOR TUNNELMUNNINGENE

NILU har tidligere utført beregning av forurensningskonsentrasjoner utenfor munningene av Vålerenga-tunnelen før den ble bygget (Larssen, 1987). Gjennom de målingene som her er rapportert, er det mulig å kontrollere noen av de inngangsdata som ble benyttet i beregningene:

- produksjon av CO og NO_x i tunnelen
- NO_2 -andelen av NO_x
- lufthastighet i tunnellopene
- kobling av forurensning mellom tunnellopene via munningene.

I en annen rapport som omhandler etterprøving av spredningsmodellen for tunnelmunninger, vil det bli tatt hensyn til avvikene mellom tidligere brukte og her målte inngangsdata.

Produksjon av CO og NO_x

Tabell 17 viser produksjonen av CO og NO_x, basert på utslippsfaktorene "målt" inne i tunnelen, og tidligere beregnet for god trafikkavvikling (50 km/h) (Larssen, 1987).

Tabell 17: Produksjon av CO og NO_x i tunnellopene

- basert på utslippsfaktorer "målt" i tunnelen (som beskrevet i denne rapporten), justert til 2 150 biler/h og 13% tungtrafikk (60% lette, 10% middel-tunge, 40% tunge)
- benyttet i tidligere beregninger av munningutslipp for tunnelen (Larssen, 1987) = 12;

	Nordgående løp +3,5% stigning 60 km/h	Sørgående løp 3,5% fall 70 km/h
<u>CO (g/s)*</u>		
"Målt" i tunnelen	4,7	2,5
Tidligere beregnet (50 km/h) (OR 33/87)	10,5	3,2
<u>NO_x (g/s)*</u>		
"Målt" i tunnelen (70 km/h)	3,4	0,44
Tidligere beregnet (50 km/h) (OR 33/87)	3,8	0,065

* For tunnel-lengde 785 m

I nordgående løp var målt CO-produksjon ca. halvparten av det som ble benyttet ved de tidligere beregningene, mens NO_x-produksjonen målt nå stemte godt med tidligere beregnet.

Ved Etterstad-munningen var det NO_x-produksjonen ved god trafikkutvikling (50 km/h) som ble betraktet som dimensjonerende for forurensningsbelastningen utenfor munningen. For denne situasjonen bekrefter altså våre målinger i tunnelen de produksjonstallene som ble benyttet i de tidligere beregningene av forurensningsbelastning utenfor Etterstad-munningen.

Ved Lodalen-munningen er det CO-produksjon ved dårlig trafikkavvikling som er dimensjonerende. Vi har ikke gode målinger for tunnelen i denne situasjonen, slik at produksjonstallene brukt i de tidligere beregningene ikke kan kontrolleres.

NO₂-andelen av NO_x

I de tidligere beregningene ble benyttet en NO₂-andel på 10%.

Målte NO₂-andeler i tunnelen (se kapittel 8.4), for rushtidsforhold (ca. 10% tungtrafikkandel) var i nordgående løp ca. 4%. I sørgående løp var NO₂-andelen 17% ved god trafikkavvikling og 20-25% ved køforhold.

Lufthastighet i tunnellopene

Tabell 18 viser at faktisk lufthastighet i tunnelmunningene, justert til de trafikkforhold som ble brukt i tidligere beregninger, avviker noe fra de lufthastigheter som ble benyttet i de tidligere beregningene, spesielt i sørgående løp.

Tabell 18: Sammenligning mellom målt lufthastighet og lufthastighet beregnet på grunnlag av bilenes stempelvirking. Tallene gjelder hastighet i utgående tunnelmunning.

	Nordgående løp	Sørgående løp
Tidligere benyttet i beregninger, ved 2150 biler/h, 50 km/h, 13% tung Munningareal: 70 m ²	5,0	6,7
Målt i tunnelen (munning) ved faktisk munningareal (62 m ²)	5	4,5
Trafikkmengde (biler/h)	ca. 1250	ca. 800
Hastighet (km/h)	ca. 60	ca. 70
Målt i munning, justert til 2 150 biler/h, 50 km/h*, 62 m ²	5,5	5,3

* ifølge stempel-effekt-beregning, se figur 22.

Kopling mellom tunnellopene

Forurensning som unnslipper fra det ene tunnellopet vil i noen grad suges inn i det andre (kobling).

I våre tidligere beregninger brukte vi en koblingsgrad på 10%, det vil si at 10% av konsentrasjonen i utgående munning tas som tillegg til forurensningskonsentrasjonen i den nærliggende inngående munningen.

Målingene i tunnelen ga koblingsgrader på 13-47% på Etterstad (fra nord til sør) og 2,5-13% i Lodalen (fra sør til nord). Regnet som forurensningsfluks (konsentrasjon x luftmengde pr. tidsenhet) var koblingsgraden 8-25% på Etterstad og 4-35% i Lodalen (kapittel 7).

Dette gir lavere forurensningsgrad i området utenfor Etterstadmunningen, og høyere forurensning inne i sørgående løp enn beregnet med 10% koblingsgrad.

10 REFERANSER

Larssen, S. (1990) Luftforurensning ved munningene av Vålerenga-tunnelen. Før-/etter-undersøkelse. Lillestrøm (NILU OR 51/89).

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

Larssen, S. og Semb, A. (1985) Hovedkilder til sot og svevestøv i byluft. Lillestrøm (NILU OR 40/85).

Peterson, H. og Tønnesen, D.A. (1990) A tracer investigation of traffic emissions from the Vålerenga tunnel at Etterstad. Lillestrøm (NILU OR 39/90).

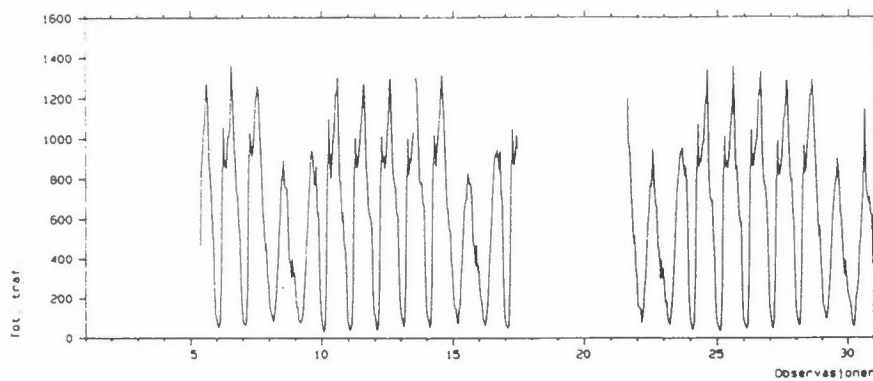
Vegdirektoratet (1990) Utforming og trafikkteknisk drift av vegtunneler. Oslo (Forslag til informasjonshefte utarbeidet av Statens vegvesen, Vegdirektoratet).

VEDLEGG 1**TRAFIKKREGISTRERINGER****(Timesverdier)**

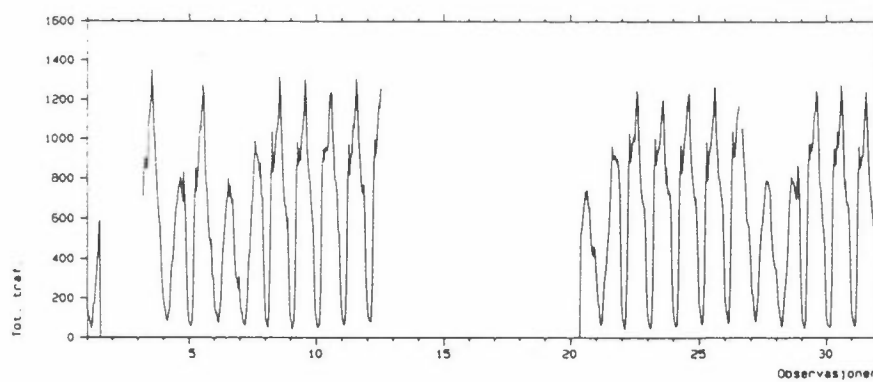
NORDGÅENDE LØP

Trafikktetthet

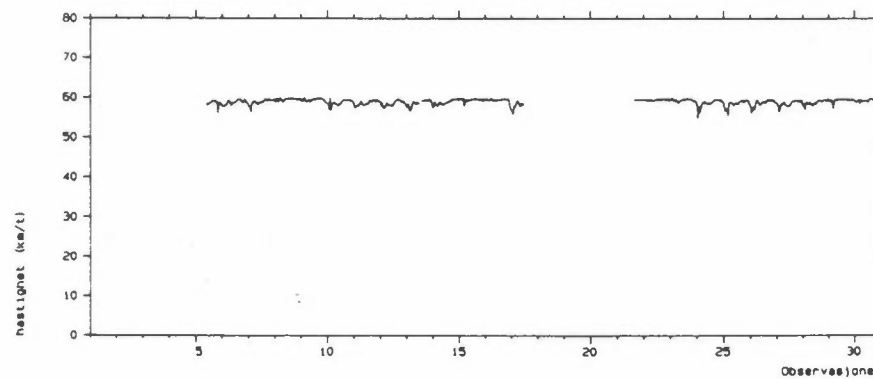
APRIL



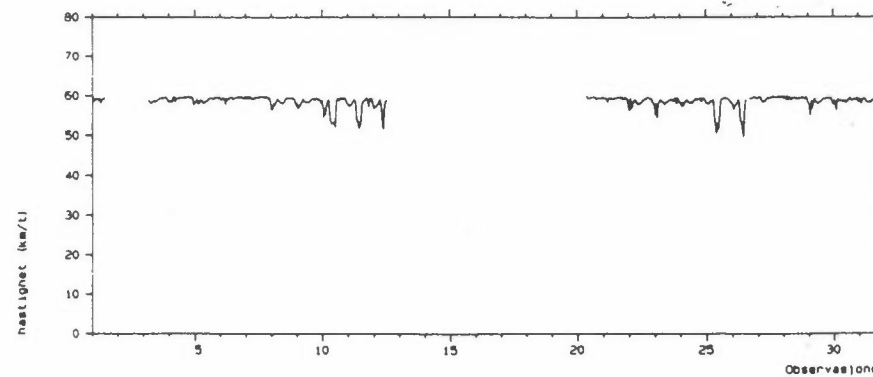
MAI

Trafikkhastighet

APRIL



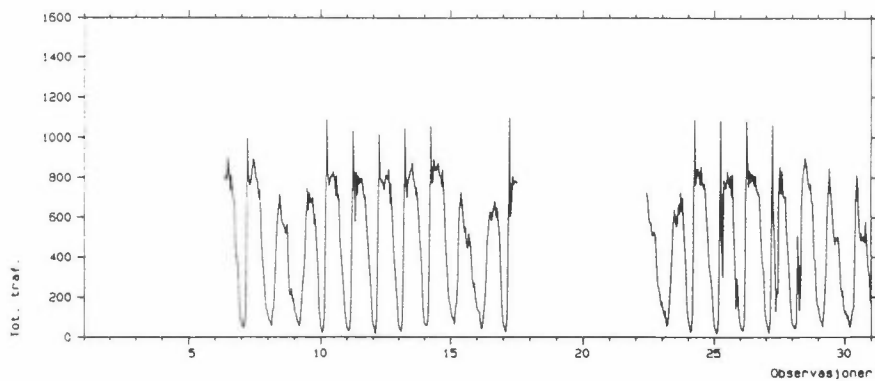
MAI



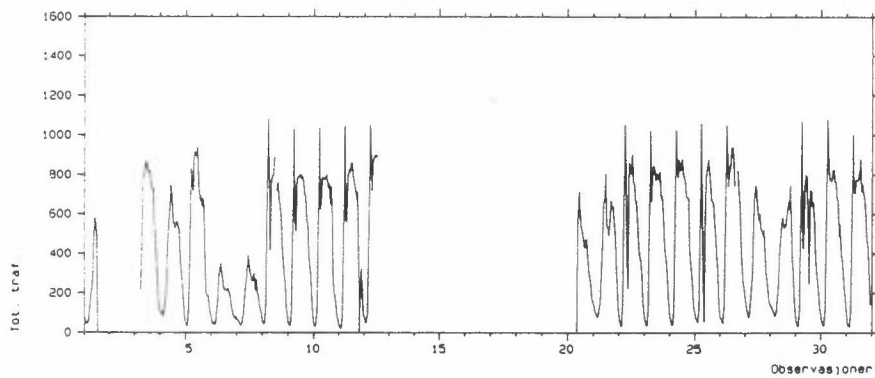
SØRGÅENDE LØP

Trafikktetthet

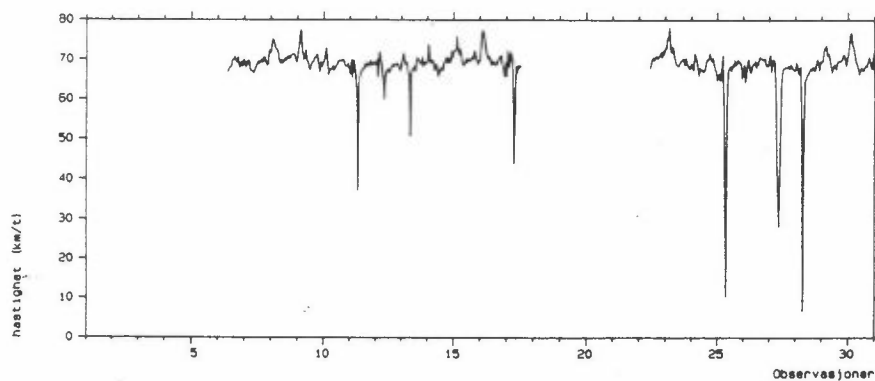
APRIL



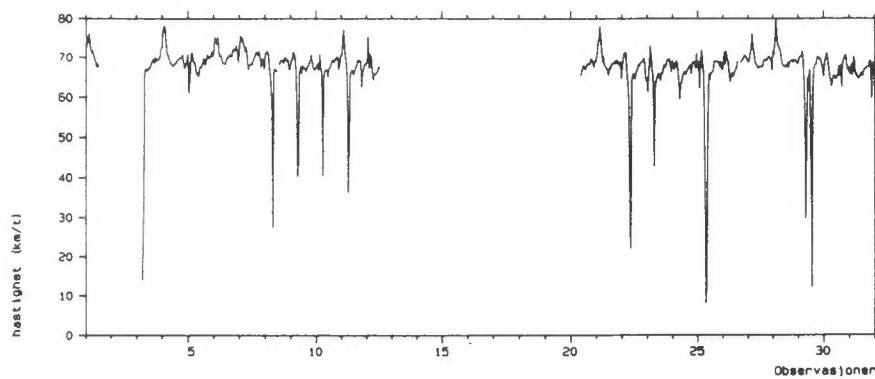
MAI

Trafikkhastighet

APRIL



MAI



VEDLEGG 2

MÅLERESULTATER

12-timer prøver og 3-4-timers prøver

Nordgående løp 10.-23.4.89

Sørgående løp 24.4.-12.5.89

PAH-profiler

VÅLERENGATUNNELEN INNE - NORDGÅENDE LØP - APRIL 1989

12-timers middelerdi (08-20), $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Dato	Øvre (stasjon 2)			Nedre (stasjon 1)			Differanse		
	NO ₂	SO ₂	Sot	NO ₂	SO ₂	Sot	NO ₂	SO ₂	Sot
10.	253	132	478	143	51	126	110	81	352
11.	255	71	402	139	40	104	116	31	298
12.	205	97	490	152	47	158	57	50	332
13.	225	145	708	123	42	116	102	103	592
14.	304	165	930	157	40	121	147	125	809
15.	180	65	221	132	16	34	48	49	187
16.	174	49	175	114	13	25	60	36	150
17.	288	156	754	117	47	115	171	109	639
18.	255	116	743	92	36	15	163	80	728
19.	265	119	785	109	40	121	156	79	664
20.	227	106	743	83	43	147	144	63	596
21.	248	110	714	111	54	244	137	56	470
22.	195	52	316	79	16	33	116	36	283
23.	127	43	147	82	17	37	45	26	110

VÅLERENGATUNNELEN INNE - NORDGÅENDE LØP - APRIL 1989

12-timers middelerdi (08-20), $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Dato	Øvre (stasjon 2)			Nedre (stasjon 1)			Differanse		
	SV.F ¹	SV.G ²	SV.TOT ³	SV.F.	SV.G.	SV.TOT	SV.F.	SV.G.	SV.TOT
13.	176	254	430	73	92	165	103	162	265
14.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15.	76	128	204	38	55	93	38	73	111
16.	58	94	152	28	30	58	30	64	94
17.	161	305	466	51	115	166	110	190	300
18.	152	238	390	44	77	121	108	161	269
19.	154	295	449	52	79	131	102	216	318
20.	154	155	309	31	95	126	123	60	183

- 1) Svevestøv, finfraksjon.
- 2) Svevestøv, grovfraksjon.
- 3) PM₁₀ (fin + grov).

VÅLERENGATUNNELEN INNE - SØRGÅENDE LØP - APRIL - MAI 1989

12-timers middelerdi (08-20), $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Dato	Øvre (stasjon 4)			Nedre (stasjon 3)			Differanse		
	NO ₂	SO ₂	Sot	NO ₂	SO ₂	Sot	NO ₂	SO ₂	Sot
24.	-	-	-	343	55	363	-	-	-
25.	-	-	-	343	39	566	-	-	-
26.	-	-	-	230	39	-	-	-	-
27.	-	35	-	242	26	386	-	-9	-
28.	166	62	494	542	50	547	376	-12	53
29.	-	-	-	161	23	43	-	-	-
30.	-	-	-	147	17	121	-	-	-
1.	-	-	-	201	17	181	-	-	-
2.	-	-	-	168	34	459	-	-	-
3.	-	-	-	258	33	-	-	-	-
4.	-	-	-	155	21	156	-	-	-
5.	275	59	-	226	46	414	-49	-13	-
6.	138	16	92	151	14	-	13	-2	-
7.	137	19	103	133	16	106	-4	-3	3
8.	206	76	473	244	59	566	38	-17	93
9.	-	78	581	257	54	-	-	-24	-
10.	-	71	645	241	55	659	-	-16	14
11.	206	71	476	226	56	541	20	-15	65
12.	205	96	660	310	87	951	105	-9	291
13.	257	-	-	-	-	-	-	-	-

VÅLERENGATUNNELEN INNE - SØRGÅENDE LØP - APRIL - MAI 1989

12-timers middelerdi (08-20), $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Dato	Øvre (stasjon 4)			Nedre (stasjon 3)			Differanse		
	SV.F	SV.G	SV.TOT	SV.F	SV.G	SV.TOT	SV.F	SV.G	SV.TOT
24.	120	385	505	142	428	570	22	43	65
25.	142	211	353	180	291	471	38	80	118
26.	125	337	462	142	402	544	17	65	82
27.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
29.	45	129	174	56	143	199	11	14	25
30.	33	80	113	45	88	133	12	8	20
1.	65	55	120	78	65	143	13	10	23
2.	100	204	304	118	264	382	18	60	78
3.	122	508	630	170	750	920	48	242	290
4.	43	129	172	56	149	205	13	20	33
5.	90	291	381	112	338	450	22	47	69
6.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8.	101	231	332	-	-	-	-	-	-
9.	119	202	321	-	-	-	-	-	-
10.	110	214	324	132	269	401	22	55	77
11.	94	157	251	120	207	327	26	50	76
12.	161	254	415	190	153	343	29	-101	-72

VÅLERENGA-TUNNELLEN

Nordgående løp, øvre (stasjon 2) og nedre (stasjon 1) tverrs-
slag, april 1989. 3-4-timers middelveidier, ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Nordgående løp, øvre tverrs- slag													
DATO	NO2	SO2	sot	ssf	ssg	sst	COk	NOxk	NO2k	Form	Acet	FAHF	FAHPur
1204 1	547.	152.6	436.	171.	70.	241.	4.8	4457.	194.	18.25	9.77		
1204 2	542.	163.0	415.	175.	37.	212.	12.8	4670.	169.	17.73	13.11		
1404 3	499.	190.0	677.	219.	327.	546.	4.7	4730.	237.	16.89	5.70	247.	3546.
1404 4	412.	180.2	764.	208.	382.	590.	9.9	4598.	214.	26.79	7.16	247.	3546.
2104 5	292.	107.4	604.	174.	70.	244.				9.28	12.31	297.	6089.
2104 6	265.	107.4	217.	166.	449.	615.	10.3	4804.	151.			297.	6089.
2204 7	186.	54.2	129.	76.	245.	321.	7.9	3570.	134.	9.21	7.46	259.	
2204 8	159.	56.4	106.	60.	179.	239.	8.4	3232.	128.	8.18	7.95	259.	
2304 9	234.	51.4	85.	49.	116.	165.	7.5	2605.	116.	4.27	4.55	181.	4058.
230410	188.	56.4	108.	58.	140.	198.	9.7	3344.	135.	10.54	6.15	181.	4058.

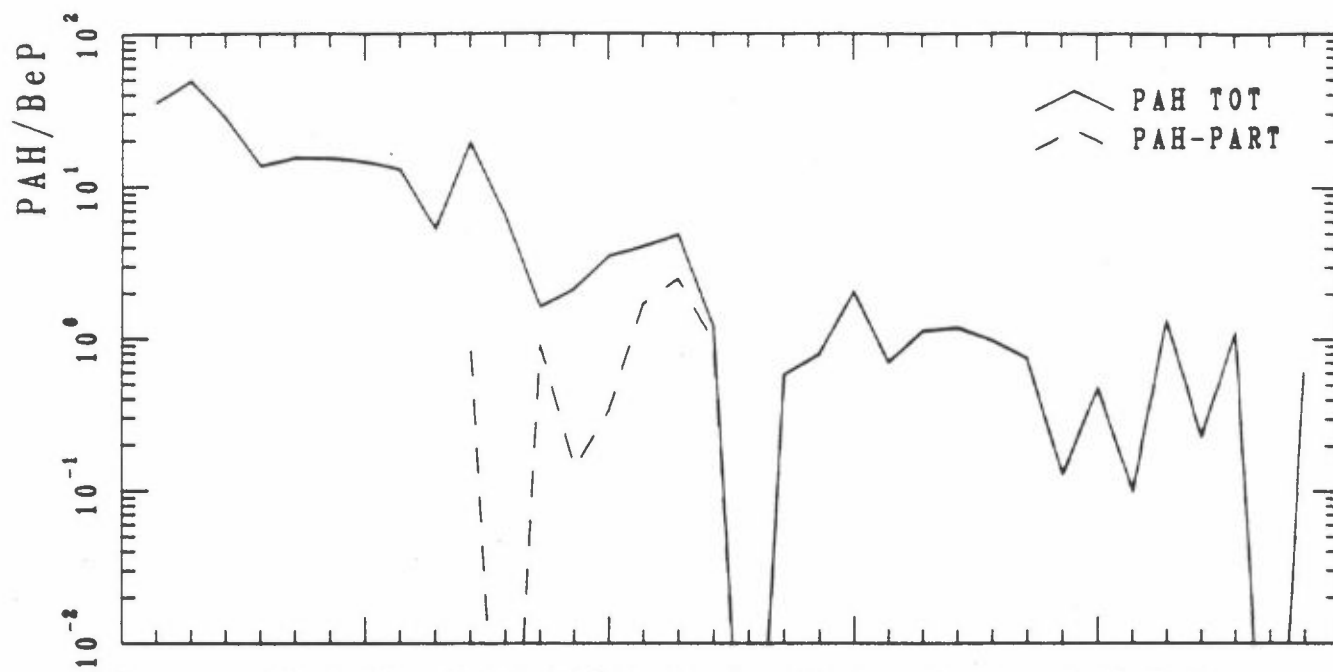
nordgående løp, nedre tverrs- slag													
DATO	1	2	3	4	5	6	7	8	9				
1204 1	161.	74.8	103.	101.	35.	136.	2.3	1225.	104.	5.18	4.78		
1204 2	205.	84.2	101.	123.	6.	129.	7.3	1269.	71.	6.53	5.85		
1404 3	173.	58.4	114.	90.	134.	224.	1.6	906.	106.	3.50	4.27	42.0	1201.
1404 4	183.	64.0	94.	90.	173.	263.	2.9	926.	117.	6.27	5.30	42.0	1201.
2104 5	135.	73.6	127.	100.	43.	143.	3.6	2073.	124.	1.13	6.30	49.7	1561.
2104 6	116.	53.2	198.	84.	208.	292.	5.3	1741.	109.	6.70	5.47	49.7	1561.
2204 7	77.	20.4	18.	23.	98.	121.	2.2	680.	79.	3.48	2.37	52.3	1566.
2204 8	97.	21.6	26.	50.	163.	213.	3.2	835.	88.	4.71	3.88	52.3	1566.
2304 9	99.	32.8		24.	112.	136.	2.8	713.	78.	3.52	3.04	31.6	2657.
230410	102.	37.6	26.	21.	109.	130.	3.6	924.	90.	4.24	3.53	31.6	2657.

Sørgående løp, øvre (stasjon 4) og nedre (stasjon 3) tverrslag,
april-mai 1989. 3-4-timers middelverdier, ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

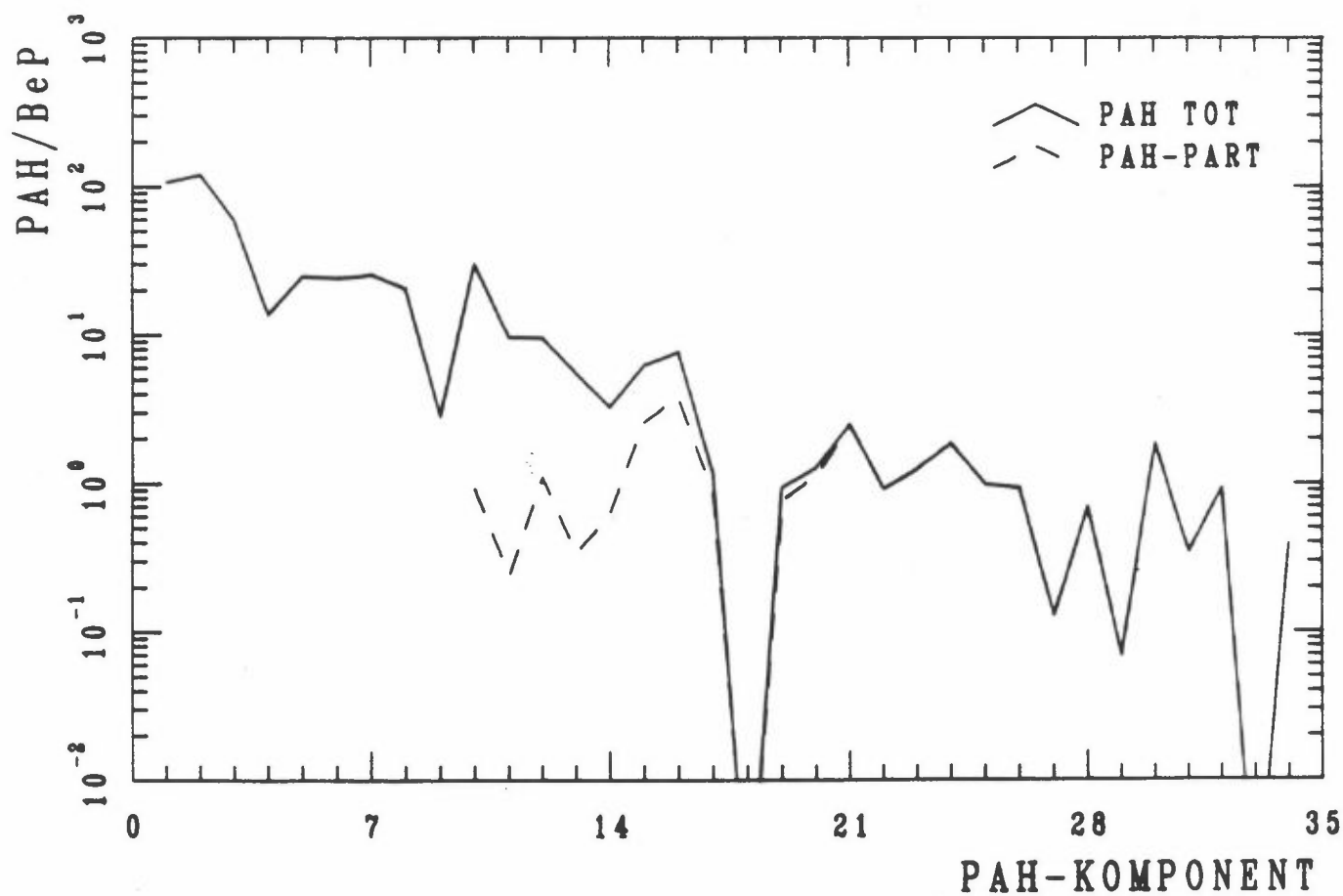
Sørgående løp, øvre tverrslag,		Sørgående løp, nedre tverrslag,		NO ₂		SO ₂		sst		COk		NOxk		NO ₂ k		Form		Acet		PAHF		PAHPur	
DATE	NO ₂	SO ₂	sot	ssf	ssg	sst	COk	NOxk	NO ₂ k	Form	Acet	PAHF	PAHPur										
270411	215.	48.0	286.	118.	41.	159.	5.3	2601.	91.	6.09	7.30	312.	3458.										
270412	217.	48.8	286.	111.	382.	493.	10.0	3015.	76.	6.02	5.42	312.	3458.										
280413	326.	66.0	416.	146.	428.	574.	7.0	3293.	106.	6.74	0.95	328.	4234.										
280414	231.	54.0	208.	92.	312.	404.	8.9	2815.	93.	6.74	0.95	328.	4234.										
060515	144.	22.2	41.	25.	77.	102.	4.5	1014.	97.	7.68	1.21												
060516	155.	25.2	34.	21.	58.	79.	4.2	992.	98.	7.68	1.21												
070517	173.	28.4	61.	27.	74.	101.	7.1	1294.	96.	9.71	2.97	132.	2030.										
070518	160.	24.8	5.	32.	103.	135.	6.1	1283.	102.	9.71	2.97	132.	2030.										
200519	135.	40.4	97.				8.2	2040.	112.	12.25	1.71	102.	2780.										
200520	145.	46.6	68.				6.5	1398.	122.	12.25	1.71	102.	2780.										
Sørgående løp, nedre tverrslag,		NO ₂		SO ₂		sst		COk		NOxk		NO ₂ k		Form		Acet		PAHF		PAHPur			
DATE	NO ₂	SO ₂	sot	ssf	ssg	sst	COk	NOxk	NO ₂ k	Form	Acet	PAHF	PAHPur										
270411	222.	53.2	59.	128.	58.	186.	6.6	2906.	195.	6.52	10.41	379.	5465.										
270412	312.	41.8	270.	130.	474.	604.	13.8	3666.	187.	28.56	23.66	379.	5465.										
280413	298.	54.4	286.	169.	600.	769.	8.9	3760.	221.	13.28	2.95	413.	4959.										
280414	216.	46.6	248.	106.	359.	465.	12.0	3315.	139.	13.28	2.95	413.	4959.										
060515	110.	31.6	61.	37.	106.	143.	7.3	1279.	86.	11.92	2.84												
060516	148.	21.0	58.	28.	90.	118.	6.5	1206.	93.	11.92	2.84												
070517	150.	32.8	83.	50.	137.	187.	11.8	1687.	99.	17.32	2.79	161.	3298.										
070518	142.	24.6	146.	41.	144.	185.	8.7	1435.	98.	17.32	2.79	161.	3298.										
200519	216.	44.0	146.				12.6	2511.	124.	14.62	5.06	159.	4936.										
200520	194.	31.6	92.				9.5	1754.	122.	14.62	5.06	159.	4936.										

★ sannsynligvis feil-analyse

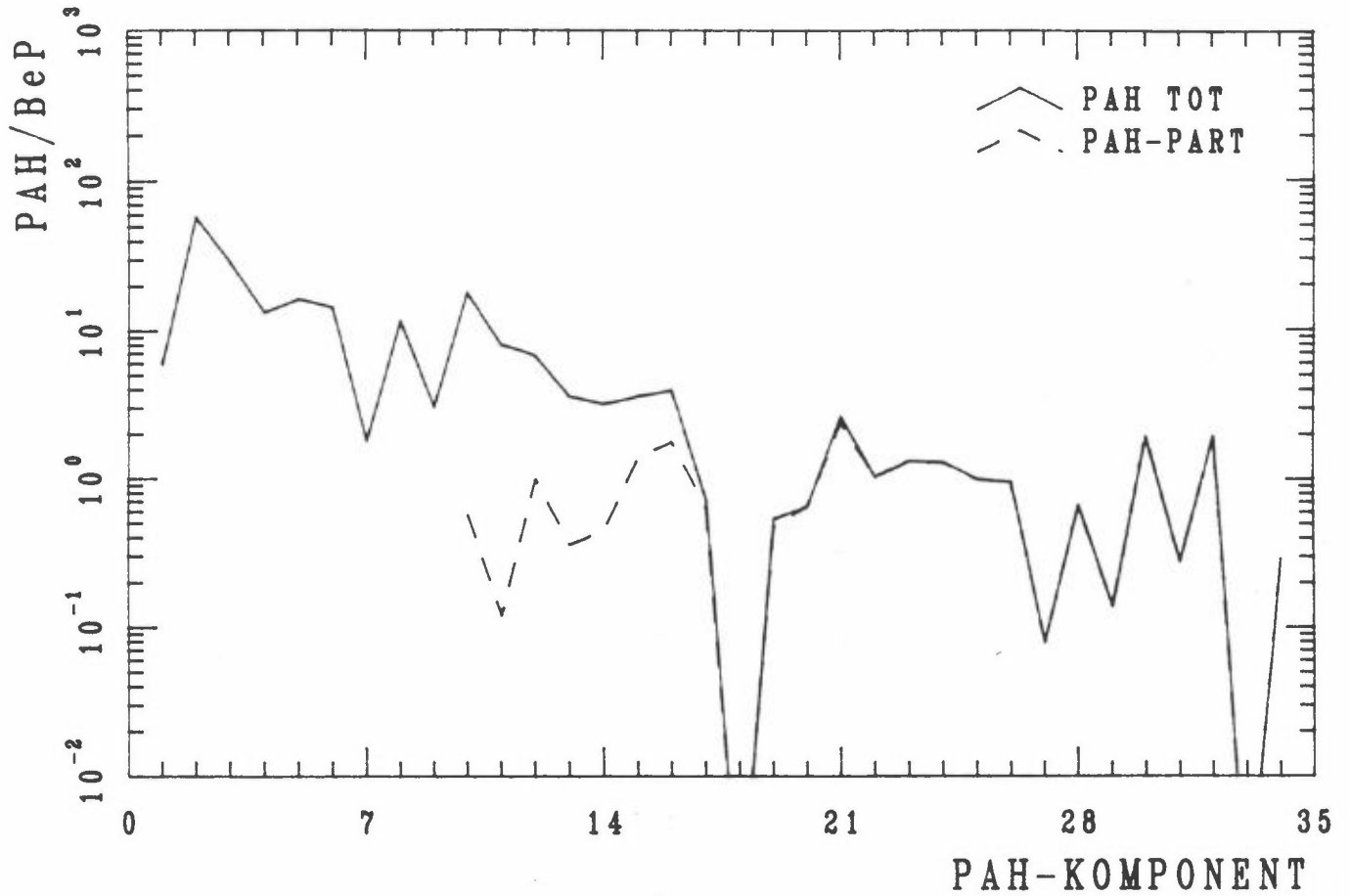
PAH-PROFIL, 14.04.1990
NORDGÅENDE LØP



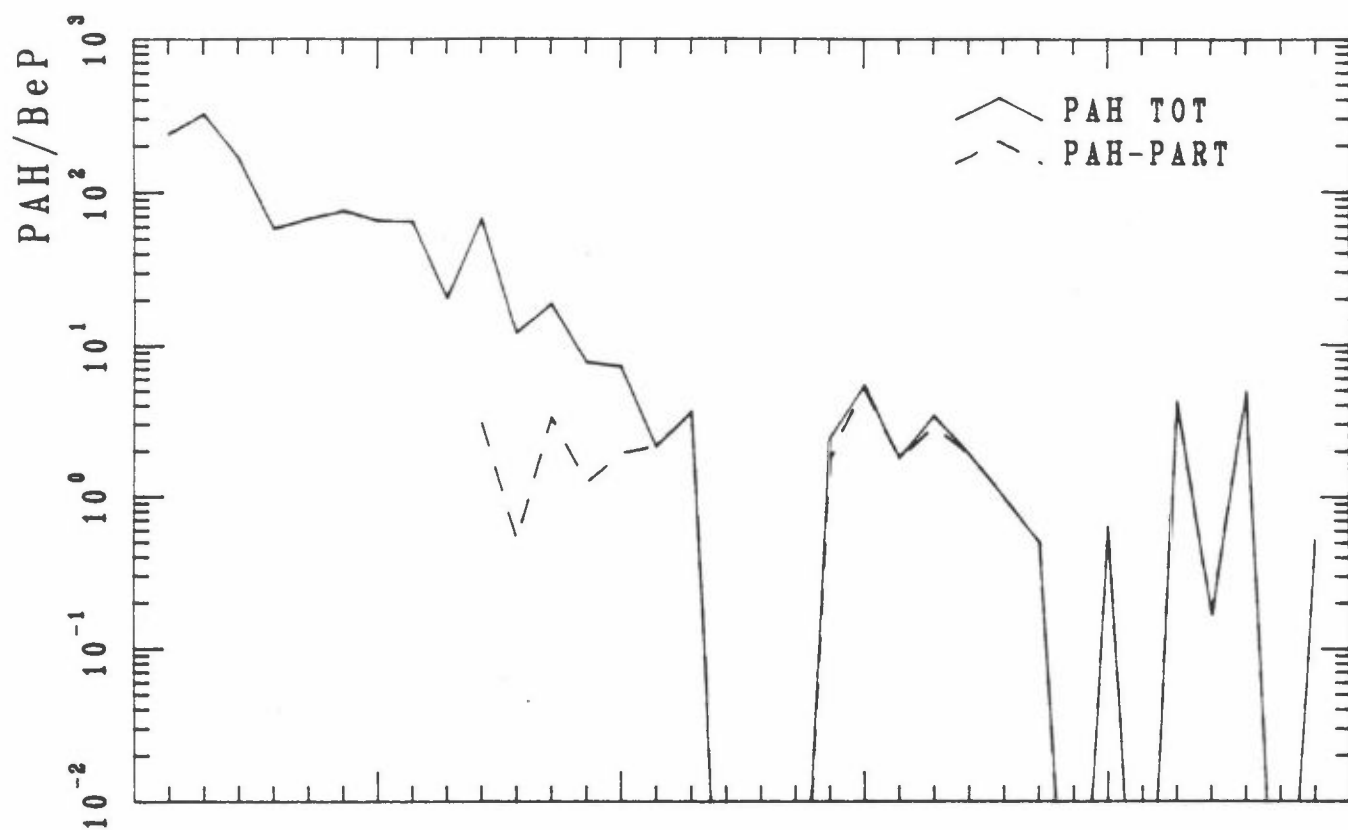
PAH-PROFIL, 21.04.1990
NORDGÅENDE LØP



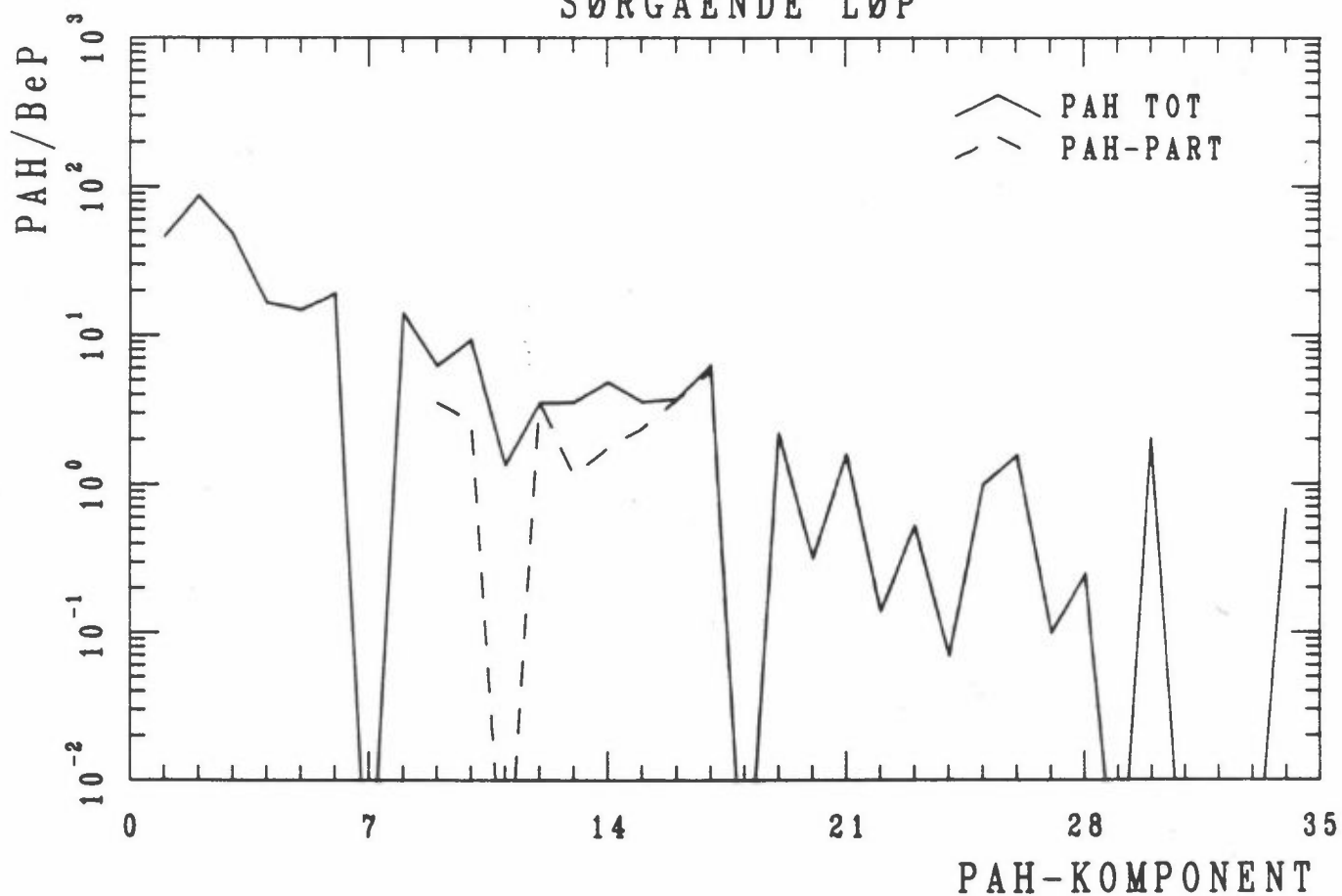
PAH-PROFIL, 23.04.1990
NORDGÅENDE LØP



PAH-PROFIL, 27.04.1990
SØRGÅENDE LØP

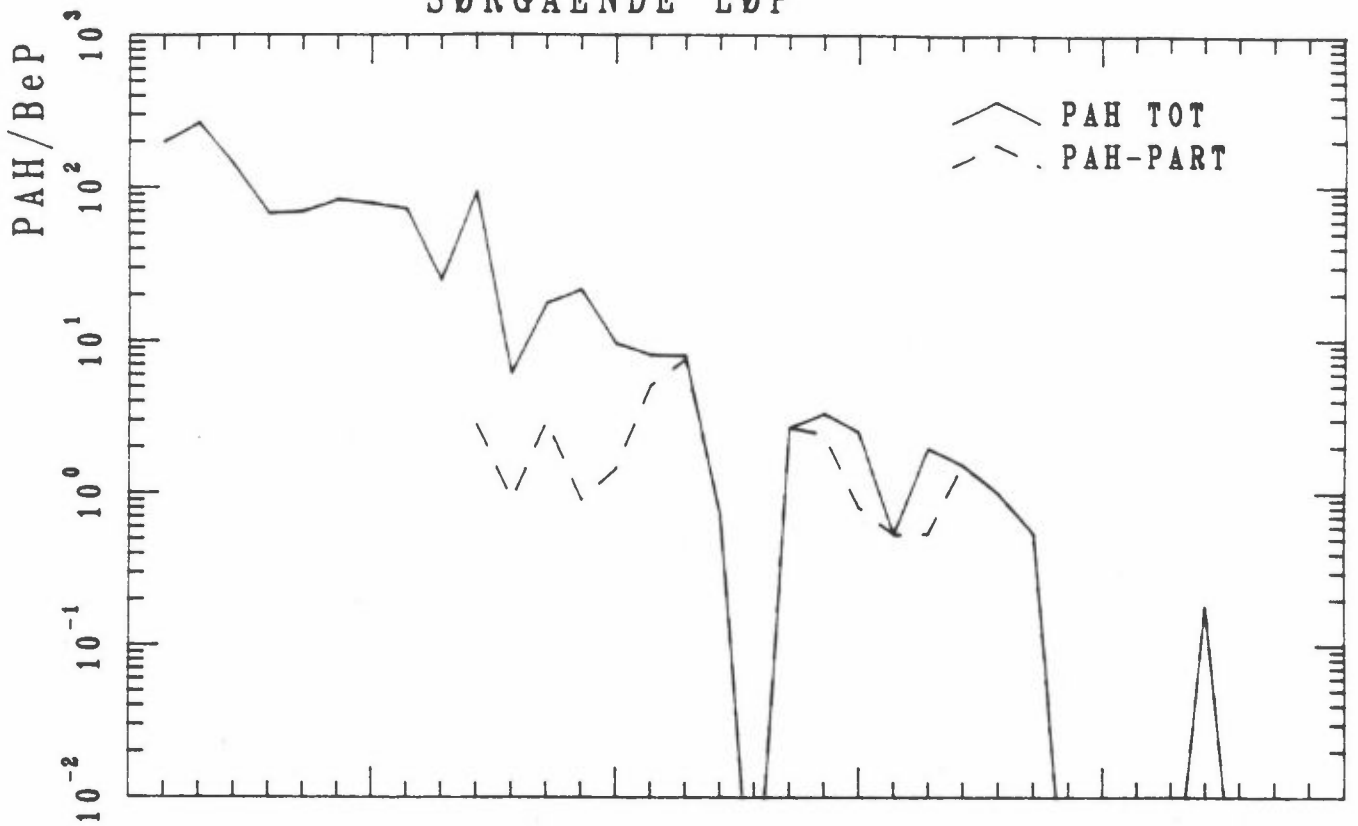


PAH-PROFIL, 28.04.1990
SØRGÅENDE LØP



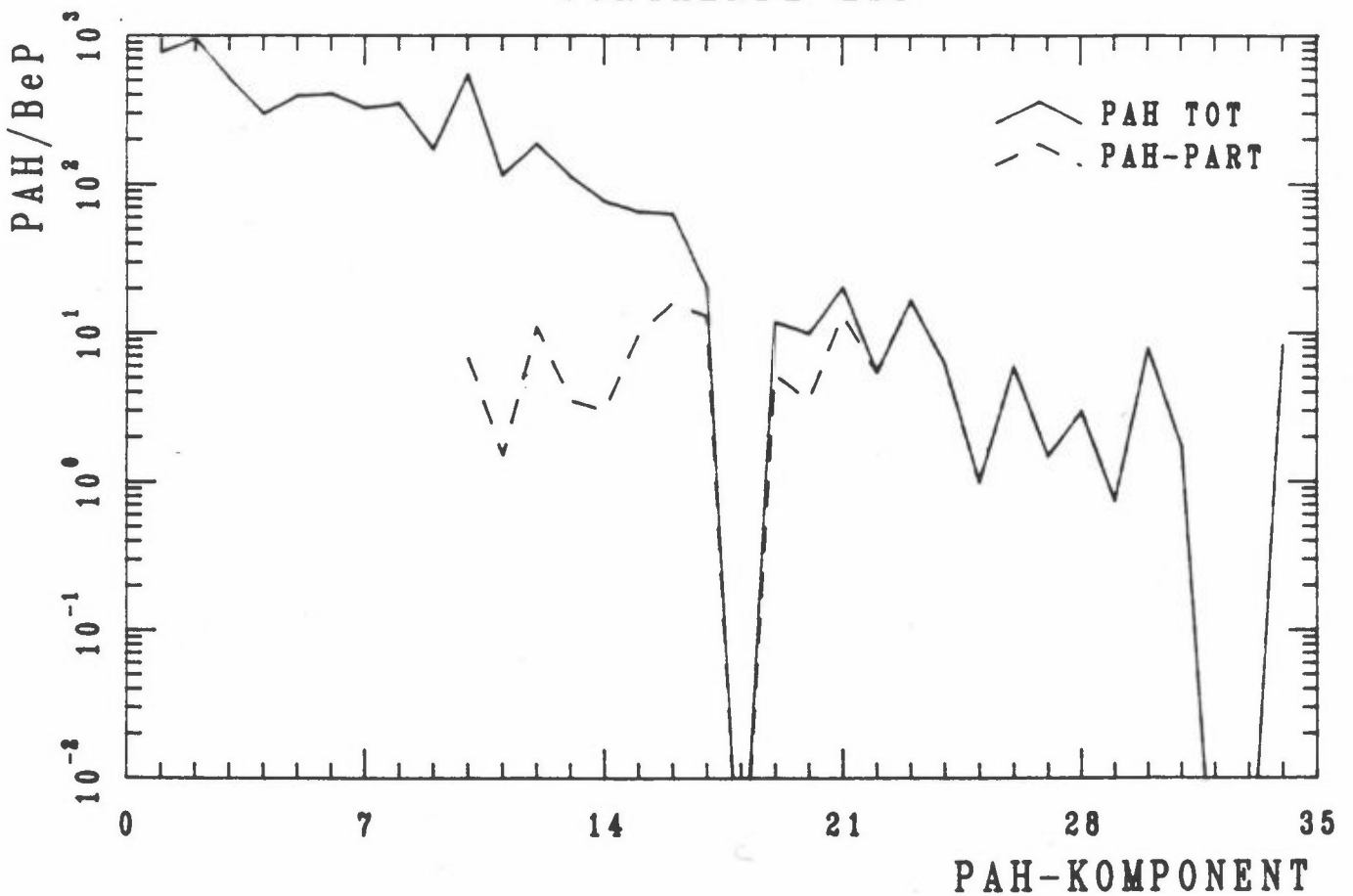
PAH-PROFIL, 07.05.1990

SØRGÅENDE LØP



PAH-PROFIL, 20.05.1990

SØRGÅENDE LØP



VEDLEGG 3

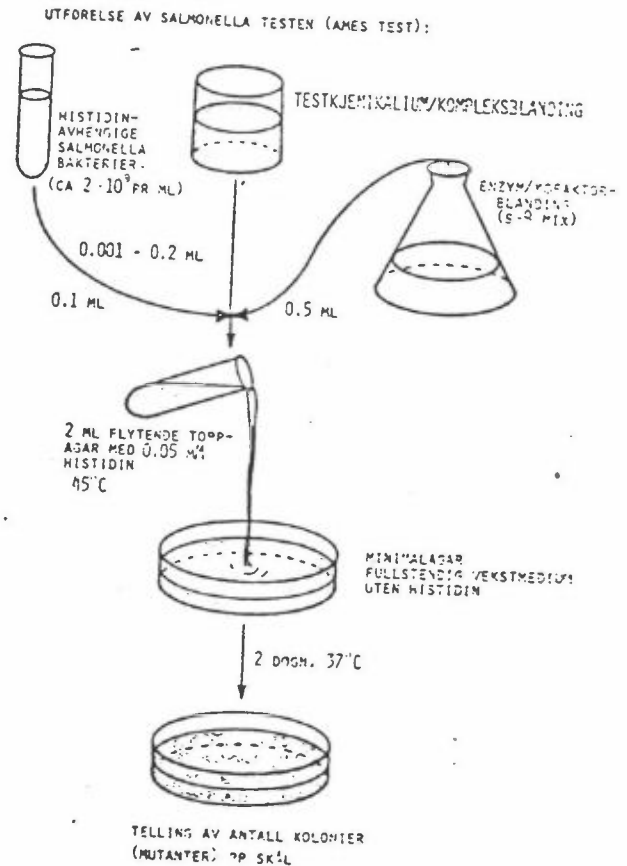
Ames' test

HVA ER AMES' TEST?

Ames' test (Salmonella-testen) benyttes til orienterende undersøkelser av stoffers mutagene (arvestoffskadende), eventuelt kreftfremkallende virkning. Ved forsøk er det funnet at 80-90% av de stoffer som er kreftfremkallende i dyreforsøk, også er mutagene i Ames' test. Metoden er en korttidstest med Salmonella-bakterier, utviklet av Bruce Ames, Berkeley, California.

Det anvendes spesielle Salmonella-bakterier, som mangler evnen til å gro uten aminosyren histidin, dvs bakteriene formerer seg ikke i fravær av histidin. For å vokse og danne kolonier på et histidin-fritt medium, må bakteriene gjennomgå en mutasjon. Et mutagent stoff vil føre til at et økt antall kolonier vokser opp.

Mange stoffer virker som aktive mutagener eller karsinogener først etter omdanning (metabolisering) i kroppen (indirekte mutagener). Bakterier, som har et meget enklere enzymsystem enn pattedyr, vil normalt ikke metabolisere indirekte mutagener. For å simulere betingelsene i pattedyr, aktiveres testsubstansen ved tilsetning av et leverenzympreparat fra rotter til testsystemet.



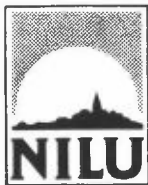
HVORDAN TESTES PRØVER I PRAKSIS?

Metoden utføres som beskrevet av Ames et al. (Mutation Research 31, 1975, 347).

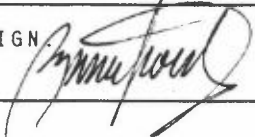
Rent eksperimentelt gjøres følgende:

Til et reagensrør med 2 ml smeltet toppagar (45°C) tilsettes 0.1 ml bakteriekultur (ca 10^8 celler) og testsubstans. Det hele blandes raskt og helles over på vekstplater. (Minimalplater kun tilsatt spor av histidin for igangsettelse av vekst.) Til halvparten av skålene tilsettes leverenzymblanding (S9-mix), 25 mg protein/plate. Platene inkuberes ved 37°C, og etter 2 døgn telles antall kolonier (mutanter) på platene. Et vanlig krav til positivt resultat er en fordobling av antall revertanter i forhold til bakgrunnen, eller en lineær doseavhengighet. Prøvene testes i 3-5 doser, med to paralleller pr dose.

For å kontrollere antall spontanmutasjoner, inkluderes plater uten tilsatt av testsubstans. Som positive kontroller blir benzo(a)pyren (BaP) og 1-nitropyren (1NP) benyttet.



NORSK INSTITUTT FOR LUFTFORSKNING (NILU)
NORWEGIAN INSTITUTE FOR AIR RESEARCH
POSTBOKS 64, N-2001 LILLESTRØM

RAPPORTTYPE OPPDRAGSRAPPORT	RAPPORTNR. 38/90	ISBN-82-425-0144-0	
DATO AUGUST 1990	ANSV. SIGN. 	ANT. SIDER 97	PRIS NOK 150,-
TITTEL Luftkvalitet og utslippsfaktorer for bileksos i Vålerenga-tunnelen		PROSJEKTLEDER S. Larssen	
		NILU PROSJEKT NR. 0-8865	
FORFATTER(E) S. Larssen		TILGJENGELIGHET * A	
		OPPDRAGSGIVERS REF.	
OPPDRAGSGIVER (NAVN OG ADRESSE) Vegdirektoratet, Planavd./Driftsavd., Etterstad, Oslo Statens Vegvesen v/Veisjefen i Oslo			
3 STIKKORD (a maks. 20 anslag) Veitunneler Luftforurensning Utslipp			
REFERAT (maks. 300 anslag, 7 linjer) Rapporten presenterer resultater fra målinger av luftforurensning (CO, NO _x , NO ₂ , SO ₂ , partikler, sot, bly, PAH, aldehyder, mutagenitet), trafikk og lufthastighet i de to enveiskjørtede løpene av Vålerenga-tunnelen i Oslo, i april-mai 1989. På grunnlag av måleresultatene er utført beregninger av utslippsfaktorer for bensindrevne personbiler og dieseldrevne lastebiler i tunnelen.			

TITLE	Air quality and emission factors for car exhaust in the Vålerenga road tunnel in Oslo, Norway
ABSTRACT (max. 300 characters, 7 lines)	The report presents results from measurements of air quality (CO, NO _x , NO ₂ , SO ₂ , particles, soot, Pb, PAH, aldehydes, mutagenicity), car traffic and air velocity in the two tunnel tubes with one-way traffic of the Vålerenga tunnel in Oslo. Based on these measurements, emission factors for light duty gasoline and heavy duty diesel vehicles have been calculated.

* Kategorier: Åpen - kan bestilles fra NILU A
 Må bestilles gjennom oppdragsgiver B
 Kan ikke utleveres C