

NILU: OR 26/95

NILU : OR 26/95  
REFERANSE : O-95036  
DATO : MAI 1995  
ISBN : 82-425-0680-9

# **Tunneler Hop-Midtun**

## **Vurdering av luftforurensning**

**Ivar Haugsbakk og Knut Erik Grønskei**



**NILU**

**Norsk institutt for luftforskning**  
Norwegian Institute for Air Research  
Postboks 100 - N-2007 Kjeller - Norway

NILU : OR 26/95  
REFERANSE : O-95036  
DATO : MAI 1995  
ISBN : 82-425-0680-9

# **Tunneler Hop-Midtun**

## **Vurdering av luftforurensning**

**Ivar Haugsbakk og Knut Erik Grønskei**

---

# Innhold

	Side
<b>Sammendrag.....</b>	<b>2</b>
<b>1. Innledning.....</b>	<b>4</b>
<b>2. Metoder og forutsetninger.....</b>	<b>4</b>
<b>3. Tunnel- og trafikkdata.....</b>	<b>5</b>
<b>4. Anbefalte luftkvalitetskriterier og krav til tunnelluft.....</b>	<b>7</b>
<b>5. Utslipp .....</b>	<b>8</b>
<b>6. Forurensning ved tunnelmunningene .....</b>	<b>10</b>
<b>7. Framtidig utvikling.....</b>	<b>19</b>
<b>8. Referanser .....</b>	<b>20</b>
<b>Vedlegg A Meteorologiske forhold .....</b>	<b>21</b>

## Sammendrag

*Norsk institutt for luftforskning (NILU) har på oppdrag fra Statens Vegvesen Hordaland og Bergen kommune vurdert luftforurensning i tilknytning til tre planlagte tunneler i området Hop-Midtn i Bergen. Nødvendig tallmateriale angående veigeometri, trafikk og tunnelkonstruksjon er levert av oppdragsgiver.*

Alle beregninger er utført for år 2000.

Konsentrasjoner i luft av karbonmonoksid (CO) og nitrose gasser (NO<sub>x</sub> og NO<sub>2</sub>) er beregnet for maksimal timetrafikk (rushtidstrafikk). De beregnede konsentrasjoner er sammenlignet med Vegdirektoratets grenseverdier for luftkvalitet i tunneler. Beregnede konsentrasjoner utenfor tunnelene er sammenlignet med Statens forurensningstilsyns (SFT) anbefalte luftkvalitetskriterier for uteluft.

Effektiv utluftingshastighet beregnet for å tilfredstille krav til luftkvalitet i tunnelen er angitt som gjennomsnittshastighet over tunnelmunningens areal i verst tenkelig tilfelle (stillestående kø i den ene retningen (fallretningen), og trafikken beveger seg i 30 km/h (40 km/h) i den andre retningen (stigningsretningen)). Trafikkens retningsfordeling er 60/40 i tunnel med profil T9 (45,6 m<sup>2</sup>).

For å tilfredsstille kravene til luftkvalitet for tunnel 1 (800 m) må effektiv utluftingshastighet være minst 1,5 m/s. Høyere utluftingshastighet vil gi lavere konsentrasjoner i tunnelen og kortere spredningsavstand til maksimalkonsentrasjoner utenfor tunnelmunningen. For tunnel 2 (650 m) er nødvendig ventilasjonshastighet beregnet til 1,3 m/s. For tunnel 3 (90 m) er nødvendig ventilasjonshastighet beregnet til 0,5 m/s.

Langslufting av tunnelene gjennom munningene uten rensing, kan føre til overskridelser av anbefalte luftkvalitetskriterier ved tunnelmunningene. Dersom en vil unngå overskridelser ved boliger i nærheten, er ventilasjonen gjennom sjakt nødvendig. Dette er mest aktuelt for de to lengste tunnelene (800 m og 650 m). For alle tre tunnelene vil høyere utluftingshastighet bidra til lavere konsentrasjoner i tunnelene og bedre luftkvalitet ved tunnelmunningene.

Vindmålingene fra Skjold (ca. 1,5 km sør for tunnelmunningene) viste maksimal forekomst av vind i hovedvindretningen fra sørøst (ca. 25% av tiden) og at i ca. 10% av disse tilfellene vil det være svak vind og dårlige spredningsforhold. Det betyr at ved enkelteiendommer kan maksimalkonsentrasjonen forekomme i rushtiden hyppigst 2-3% av dagene i året.

De planlagte støyvollene kan redusere ulempene som følge av nedfallsstøv i boligområdene bak vollene. De kan redusere hyppigheten av maksimalkonsentrasjonene bak vollene.

Hovedvindretningene vil være langs de dominerende høydedragene i området som vist ved vindmålingene fra Skjold. Tunnelpåslagene skjer på tvers av høydekurvene, og i forurensningsepisoder vil vindretningen vanligvis være på tværs av

veien, og for eiendommer som ligger over tunnelmunningene, vil hyppigheten av høye konsentrasjoner reduseres som følge av topografien.

# Tunneler Hop-Mid tun

## Vurdering av luftforurensning

### 1. Innledning

Norsk institutt for luftforskning (NILU) har på oppdrag fra Statens Vegvesen Hordaland utført beregninger av luftforurensning vedrørende tre planlagte tofelts-tunneler i området Hop-Mid tun. Det er utført beregninger av forurensningsbelastningen i området nær munningene. Beregningene er utført for to trafikksituasjoner i rushtiden:

- Trafikkflyt i begge retninger, fire ulike kjørehastigheter.
- Stillestående kø i den ene kjøreretningen og tre ulike kjørehastigheter i den andre.

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, NO<sub>2</sub> og partikkelkonsentrasjoner (PM<sub>10</sub>). Forurensningsbelastningen ved tunnelmunningene er beregnet for karbonmonoksid (CO) og for nitrogendioksid (NO<sub>2</sub>). NO<sub>2</sub> i bileksosen gir de høyeste forurensningskonsentrasjoner i forhold til anbefalte luftkvalitetskriterier for timeverdier 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).

1. Med utgangspunkt i trafikk- og tunneldata, samt utslippsfaktorer for lette og tunge diesel- og bensinbiler, har vi beregnet utslipp av CO og NO<sub>x</sub> i tunnelene.
2. Ut fra data for utslipp av CO og NO<sub>x</sub> har vi beregnet nødvendig ventilasjonshastighet for å overholde grenseverdier for NO<sub>2</sub> og CO i tunneler.
3. Konsentrasjonene av CO og NO<sub>2</sub> 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).

5. Beregnete konsentrasjoner av CO og NO<sub>2</sub> fra munningene og veiene er sammenlignet med anbefalte retningslinjer for luftkvalitet for CO og NO<sub>2</sub>; se kapittel 4.

I beregningene er det tatt hensyn til innføring av katalysator på nye bensindrevne bilmodeller fra 1989. Det er antatt en årlig utskifting av de bensindrevne personbilene på 4-6% som 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 NO<sub>2</sub>-belastningen er mindre enn for CO-belastningen, da en betydelig del av NO<sub>x</sub>-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<sub>x</sub>-utslippet fra dieserbiler. For å kontrollere beregningsmetoden er det utført målinger blant annet ved tunneler i Bergen (Gotaas, 1981).

### 3. Tunnel- og trafikkdata

I forbindelse med reguleringsplan for Hop-Midtn ønsker Statens Vegvesen Hordaland å utrede konsekvenser av bygging av tre tunneler i området.

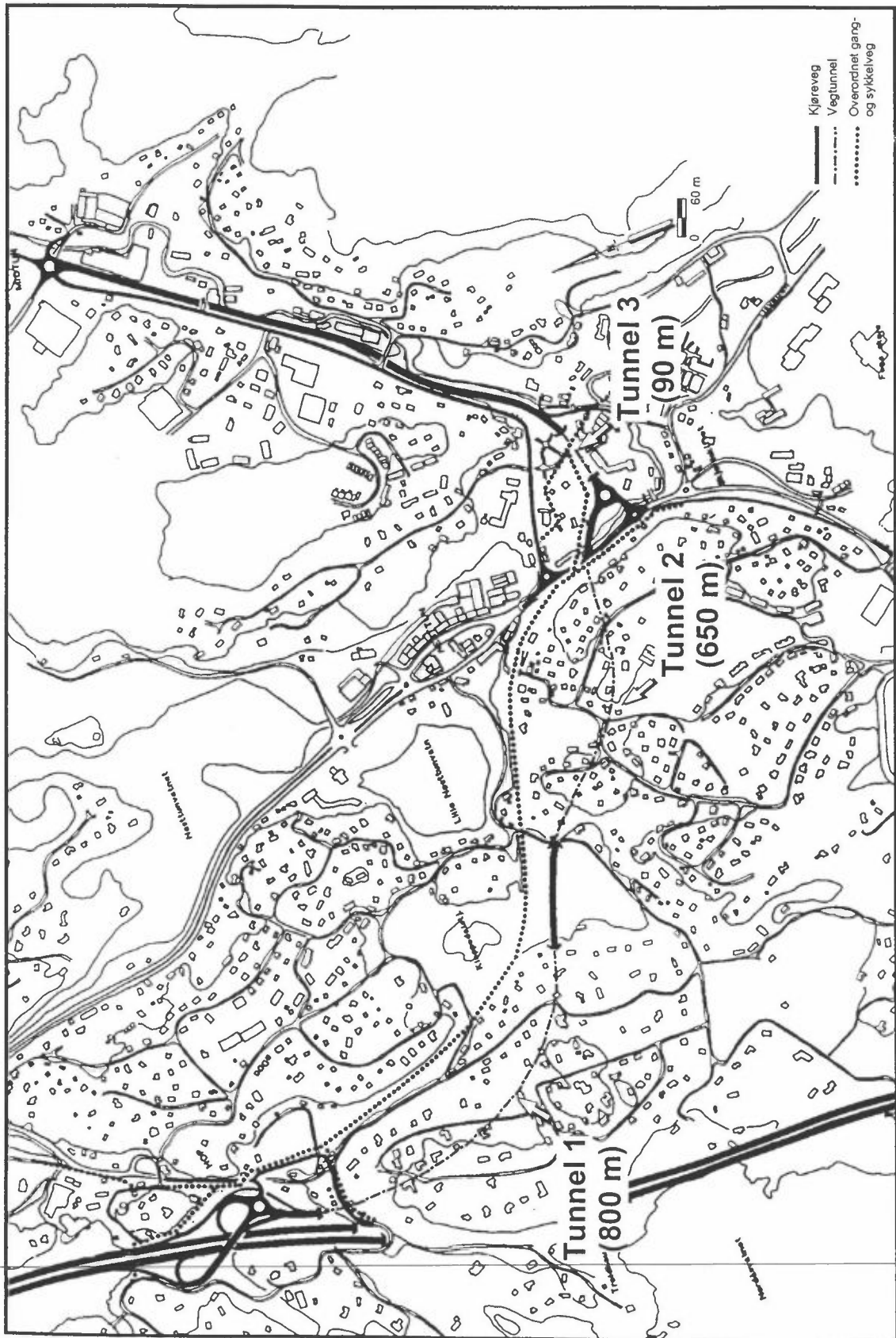
Tunnel 1 er 800 m lang, tunnel 2 er 650 m lang og tunnel 3 er 90 m lang.

Nødvendig tallmateriale angående veigeometri, trafikk- og tunnelkonstruksjon er levert av Statens Vegvesen Hordaland. De planlagte tunneler, samt området omkring, er vist i figur 1.

Statens Vegvesen har to alternativer for tunnelprofiler, T9 og T10 som vist i figur 2.

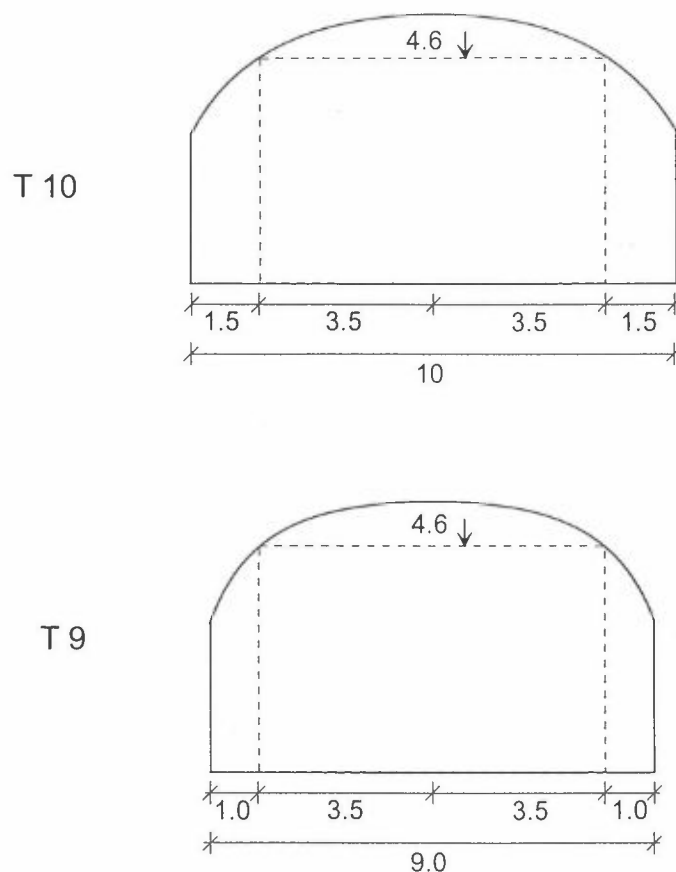
Trafikkprognose for 2000 er 20 000 kjøretøyer ÅDT for alle tre tunnelene. Timetrafikken i rushtiden utgjør maksimalt 12,5% av ÅDT. Tungtrafikkandelen er anslått av Statens Vegvesen Hordaland til 10%. Vektfordelingen av tungtrafikken er av NILU anslått til 30% mindre enn 10 tonn, 30% mellom 10 og 20 tonn, og 40% større enn 20 tonn totalvekt.

Tunnelprofil T9 har det minste tverrsnittsarealet ( $A=45,63 \text{ m}^2$ ), og dette tunnelprofilet brukes på tofeltsveier med normalbredde 10 m og 13 m, og på firefeltsveier (to rør/tuber). Tunnelprofil T10 ( $A=46,66 \text{ m}^2$ ) kan brukes for korte tunneler (under 500 m) og med bruksområde for øvrig som T9. Dette gjør at T10 kun er aktuelt for den minste av de tre tunnelene (90 m). For en 90 m lang tunnel vil det i praksis ha svært liten betydning for luftforurensning og ventilasjon om en velger T9 eller T10. Vi har derfor valgt å gjøre alle beregninger med tunnelprofil T9.



Figur 1: Planlagte tunneltraséer for tunneler i området Hop-Midtun.





Figur 2: Aktuelle tunnelprofiler Hop-Midtun.

#### 4. Anbefalte luftkvalitetskriterier og krav til tunnelluft

Statens forurensningstilsyn (1992) har utarbeidet anbefalte luftkvalitetskriterier. De er for CO og NO<sub>2</sub>:

CO Timemiddelverdi: 25 mg/m<sup>3</sup>  
8-timers verdi : 10 mg/m<sup>3</sup>

NO<sub>2</sub> Timemiddelverdi: 100 µg/m<sup>3</sup>  
24-timers verdi : 75 µg/m<sup>3</sup>

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<sub>x</sub> i veitunneler. Grenseverdiene er:

CO : 250 mg/m<sup>3</sup> (200 ppm)  
NO<sub>x</sub>: 28,2 mg/m<sup>3</sup> ( 15 ppm) tilsvare ca. NO<sub>2</sub>: 2,8 mg/m<sup>3</sup> (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<sub>x</sub> ved halv tunnellengde.

## 5. Utslipp

Utslipp av CO og NO<sub>x</sub> 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<sub>x</sub> i tunnelene, og nødvendig luftstrømhastighet for å overholde grenseverdier for luftkvalitet i tunneler.

	Dieselandel (%)	Trafikkens hastighet (km/h)	Utslipp (g/s)		Nødvendig lufthastighet i tunnelen (m/s)
			CO	NO <sub>x</sub>	
Tunnel 1 (800 m)	10	10	23,03	2,09	2,1
	10	20	13,87	1,89	1,5
	10	40	6,61	1,39	1,1
	10	70	4,42	1,22	1,0
Tunnel 2 (650 m)	10	10	19,96	1,67	1,8
	10	20	12,03	1,52	1,2
	10	40	5,57	1,17	1,0
	10	70	3,73	1,09	1,0
Tunnel 3 (90 m)	10	10	3,41	0,23	0,3*
	10	20	2,06	0,22	0,2*
	10	40	0,89	0,20	0,2*
	10	70	0,60	0,21	0,2*

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

En større dieselandel vil gi større utslipp av NO<sub>x</sub>, men mindre utslipp av CO. Vanligvis vil det være NO<sub>x</sub>-utslippene som avgjør nødvendige luftstrømhastigheter for å overholde grenseverdier for luftkvalitet i tunneler. Ved dårlig trafikkavvikling eller sammenhengende kø i tunneler vil det være CO-utslippene som vanligvis er avgjørende for nødvendig utlufting av tunnelene. I tabell 1 vil CO-utslippene være avgjørende i alle tunnelene ved trafikkstrømhastighet på 10 km/h og lavere. For tunnel 3 (90 m) vil dette også være tilfelle ved trafikkstrømhastighet

på 20 km/h. I alle andre tilfeller med bevegelig trafikk vil NO<sub>x</sub>-utslippene være avgjørende.

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

Produksjonen av CO og NO<sub>x</sub> også beregnet for stillestående trafikksituasjoner i den ene kjøreretningen med sammenhengende kø i tunnelene. Det er antatt at CO-produksjonen for stillestående kjøretøy i gjennomsnitt er 0,162 g/s for biler uten katalysator og kjøretøy med kald katalysator (0,0017 g/s for biler med varm katalysator), og at man har et kjøretøy for hver 7. meter. I beregningene har vi forutsatt en katalysatorandel på 65% for år 2000.

Tabell 2 viser produsert CO (g/s) i tunnelene ved stillestående kø i en retning, og nødvendige ventilasjonshastigheter for å overholde grenseverdier for tunnelluft. Forutsatt stillestående kø i en retning i tunnelene, er nødvendig og tilstrekkelig ventilasjonshastighet inne i tunnel 1 (800 m) 1,3 m/s, dersom trafikken beveger seg 30 km/h den andre retningen (1,0 m/s ved 40 km/h). For tunnel 2 (650 m) er nødvendig og tilstrekkelig ventilasjonshastighet 1,1 m/s ved kø i en retning og 30 km/h den andre retningen (1,0 m/s ved 40 km/h). For tunnel 3 (90 m) er nødvendig og tilstrekkelig ventilasjonshastighet 0,5 m/s ved kø i en retning og uavhengig av trafikkhastigheten i den andre retningen, så lenge det ikke er stillestående.

Tabell 2: *Produksjonstall (g/s) for stillestående trafikk i en retning, og nødvendig ventilasjonshastighet (m/s) for ikke å overskride grenseverdier for tunnelluft.*

	Trafikkens hastighet i bevegelig retning (km/h)	Produsert CO (g/s)	Produsert NO <sub>2</sub> * (g/s)	Nødvendig ventilasjonshastighet (m/s)
Tunnel 1 (800 m)	30	14,11	0,19	1,5
	40	12,48	0,18	1,5
	50	12,02	0,18	1,4
Tunnel 2 (650 m)	30	11,83	0,16	1,3
	40	10,18	0,15	1,3
	50	9,79	0,15	1,2
Tunnel 3 (90 m)	30	1,92	0,02	0,5
	40	1,51	0,03	0,5
	50	1,45	0,03	0,5

\* NO<sub>2</sub>-andelen av NO<sub>x</sub> er satt til 10%.

Munningskonsentrasjonene beregnet for forskjellige kjørehastigheter ved rushtidstrafikk viser at kravene til NO<sub>2</sub>-konsentrasjonene i tunnelene kan være bestemmende for nødvendige ventilasjonshastigheter (se tabell 3). Beregningsresultatene viser at nødvendig ventilasjonshastighet i tunnel 1 er 1,5 m/s. Nødvendig ventilasjonshastighet i tunnel 2 er 1,2 m/s.

## 6. Forurensning ved tunnelmunningene

CO- og NO<sub>2</sub>-konsentrasjoner i ventilasjonsluften i munningene er beregnet for prosjekterte trafikkmengder og ulike hastigheter i begge kjøreretninger. Tabell 3 viser resultatet av beregningene.

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. Munningskonsentrasjonene for NO<sub>2</sub> er beregnet ved at det antas at køen beveger seg i en hastighet 10 km/h. Dette blir tilnærmelesvis riktig, og NO<sub>2</sub>-konsentrasjonene vil ikke bli dimensjonerende for ventilasjonshastighetene i tunnelene.

Vi har beregnet på hvilken avstand fra tunnelmunningene konsentrasjoner av CO og NO<sub>2</sub> er redusert til et nivå lik de anbefalte luftkvalitetskriterier for uteluft. Det er regnet at NO<sub>2</sub>-andelen av NO<sub>x</sub> i utslippet fra tunnelmunningene er 10,0%. I beregningene er det tatt hensyn til bakgrunnsnivå av forurensede komponenter. Ved Hop-Midtun har vi regnet med et bakgrunnsnivå på 1 mg CO/m<sup>3</sup> og 5 µg NO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>.

Vi har regnet med bakgrunnsnivå av ozon på 60 µg/m<sup>3</sup>. Ozon reagerer med nitrogenmonoksid og danner oksygen og nitrogendioksid etter etter ligningen:



Vi har derfor lagt til et totalt bakgrunnsnivå på 65 µg NO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> (dette er inkludert i beregnede konsentrasjoner som sammenlignes med anbefalte luftkvalitetskriterium på 100 µg/m<sup>3</sup>). Se for øvrig tabell 4.

Tabell 3: Munningskonsentrasjoner for forskjellige kjørehastigheter ved rush-tidstrafikk.

	Trafikkens hastighet (km/h)	Ventilasjons-hastighet (m/s)	Munningskonsentrasjoner	
			CO (mg/m <sup>3</sup> )	NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )
Tunnel 1 (800 m)	40	1,1	132	2 765
	40	2,0	73	1 521
	40	3,0	49	1 014
	70	1,0	97	2 665
	70	2,0	49	1 332
	70	3,0	32	888
	0/30	1,0	309	4 137
	0/30	2,0	155	2 069
	0/30	3,0	103	1 379
	0/40	1,0	272	3 964
	0/40	2,0	136	1 982
	0/40	3,0	91	1 321
Tunnel 2 (650 m)	40	1,0	122	2 558
	40	2,0	61	1 279
	40	3,0	41	853
	70	1,0	82	2 382
	70	2,0	41	1 191
	70	3,0	27	794
	0/30	1,0	259	3 331*
	0/30	2,0	130	1 666
	0/30	3,0	86	1 110
	0/40	1,0	223	3 218*
	0/40	2,0	112	1 609
	0/40	3,0	74	1 073
Tunnel 3 (90 m)	40	0,5	39	855
	40	1,0	20	427
	40	2,0	10	214
	70	0,5	26	920
	70	1,0	13	460
	70	2,0	7	230
	0/30	0,5	42	478
	0/30	1,0	21	239
	0/30	2,0	14	159
	0/40	0,5	33	474
	0/40	1,0	17	237
	0/40	2,0	11	158

\* Kravene til NO<sub>2</sub>-konsentrasjonene i tunnelen vil bli bestemmende for nødvendig ventilasjonshastighet.

Tabell 4: Anbefalte verdier for bakgrunnsnivå i 1993 av CO, NO<sub>2</sub> og regionalt ozon, gitt som timesmiddelverdier, avhengig av områdetype og innbyggertall i tettstedet (Torp, Tønnesen og Larssen, 1994).

Innbyggertall	CO (mg/m <sup>3</sup> )			NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )			PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )			O <sub>3</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) Alle område-typer
	Tett bebyggelse (OTY 3)	Middels tett bebyggelse (OTY 2)	Spredt bebyggelse (OTY1)	Tett bebyggelse (OTY 3)	Middels tett bebyggelse (OTY 2)	Spredt bebyggelse (OTY1)	Tett bebyggelse (OTY 3)	Middels tett bebyggelse (OTY 2)	Spredt bebyggelse (OTY1)	
<50 000	4	3	1	27	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. Resultatet av beregningene er vist i tabell 5.

Vi ser da av tabell 5 at NO<sub>2</sub>-nivået blir avgjørende for nødvendige avstander fra tunnelmunninger for å komme ned på et forurensningsnivå som er lavere enn anbefalte retningslinjer for uteluft.

Tabell 2 viser at ventilasjonshastigheter på 1,5 m/s i tunnel 1, 1,3 m/s i tunnel 2 og 0,5 m/s i tunnel 3 er tilstrekkelig for at grenseverdier for tunnelluft overholdes ved stillestående kø i en retning i tunnelene. Tabell 5 viser da at nødvendig spredningsavstand fra tunnelmunningene for å komme ned på anbefalt retningslinje (100 µg/m<sup>3</sup>) ved kø i en retning og 30 km/h i den andre retningen er 230 m for tunnel 1, 205 m for tunnel 2 og 45 m for tunnel 3. Ved ytterligere å øke ventilasjonshastigheten vil maksimalbelastningen forflyttes langs veien og reduseres. Dersom tungtrafikkandelen blir mindre enn 10% vil dette gi mindre område med NO<sub>2</sub>-belastning over akseptable forurensningsnivå.

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.

De enkelte boligene belastes videre av utslippet i tunnelmunningen ved spesielle vindretninger. Frekvensen av vind i de enkelte 30°-sektorer er vist i vedlegg A.

Vindmålingene fra Skjold viser at frekvensen av vind i de enkelte sektorene maksimalt er ca. 25% og i ca. 10% av disse tilfellene vil det være svak vind og dårlige spredningsforhold. Det betyr at ved enkelteiendommer kan maksimalkonsentrasjonen forekomme i rushtiden maksimalt 2-3% av dagene i året.

Tabell 5: Nødvendig spredningsavstand fra tunnelmunninger for at konsentrasjoner av CO og NO<sub>2</sub> er redusert til et nivå lik de anbefalte luftkvalitetskriterier for uteluft. Verst tenkelige tilfelle er skraveret, og gjengitt i figurene 3-5.

	Trafikkens hastighet (km/h)	Ventilasjons-hastighet (m/s)	Lengde av jettfase (m)	Nødvendig spredningsavstand for å komme med på anbefalte luftkvalitetskriterier for uteluft		
				CO (25 mg/m <sup>3</sup> )	NO <sub>2</sub> (100 µg/m <sup>3</sup> )	NO <sub>2</sub> (200 µg/m <sup>3</sup> )*
Tunnel 1 (800 m)	40	1,1	0,0	32 m	190 m	85 m
	40	2,0	0,0	24 m	185 m	78 m
	70	1,1	0,0	23 m	180 m	78 m
	70	2,0	0,0	14 m	170 m	68 m
	0/30	1,3	0,0	56 m	230 m	100 m
	0/30	2,0	0,0	50 m	220 m	93 m
	0/40	1,1	0,0	54 m	230 m	100 m
	0/40	2,0	0,0	44 m	210 m	91 m
Tunnel 2 (650 m)	40	1,1	0,0	27 m	175 m	78 m
	40	2,0	0,0	18 m	165 m	66 m
	70	1,0	0,0	18 m	170 m	73 m
	70	2,0	0,0	9 m	158 m	63 m
	0/30	1,1	0,0	51 m	205 m	90 m
	0/30	2,0	0,0	41 m	193 m	82 m
	0/40	1,0	0,0	46 m	200 m	90 m
	0/40	2,0	0,0	37 m	188 m	78 m
Tunnel 3 (90 m)	40	0,5	0,0	5 m	64 m	24 m
	40	1,0	0,0	0 m	58 m	17 m
	40	2,0	0,0	0 m	48 m	8 m
	70	0,5	0,0	1 m	68 m	26 m
	70	1,0	0,0	0 m	60 m	19 m
	70	2,0	0,0	0 m	50 m	9 m
	0/30	0,5	0,0	5 m	45 m	14 m
	0/30	1,0	0,0	0 m	35 m	7 m
	0/30	2,0	0,0	0 m	36 m	0 m
	0/40	0,5	0,0	3 m	45 m	14 m
	0/40	1,0	0,0	0 m	35 m	7 m
	0/40	2,0	0,0	0 m	36 m	0 m

\* Tidligere anbefalt retningslinjer for NO<sub>2</sub> som timemiddel.

Når tungtrafikkandelen er mindre enn 10% fører det til mindre område med NO<sub>2</sub>-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.

Figurene 3-6 viser områder belastet av NO<sub>2</sub> ved rushtrafikk. Figurene viser også at langslufting av tunnelene gjennom munningsutslipp uten rensing ved ettermiddagsrush vil gi konsentrasjoner over 100 µg/m<sup>3</sup> i boligområder ved tunnelmunningene. Ved rimelig god trafikk-avvikling uten stillestående køer vil NO<sub>2</sub> være et problem, og dersom det oppstår stillestående køer i begge retninger vil også CO være et problem i de samme områder. Tabell 5 viser at med rimelig god trafikk-avvikling i ettermiddagsrushet, kan det forekomme NO<sub>2</sub>-konsentrasjoner over 100 µg/m<sup>3</sup> ut til ca. 200 m fra tunnelmunningene hvor utslippet skjer for tunnel 1 og tunnel 2. 200 µg/m<sup>3</sup> kan forekomme ut til ca. 75 m fra munningene. Ved

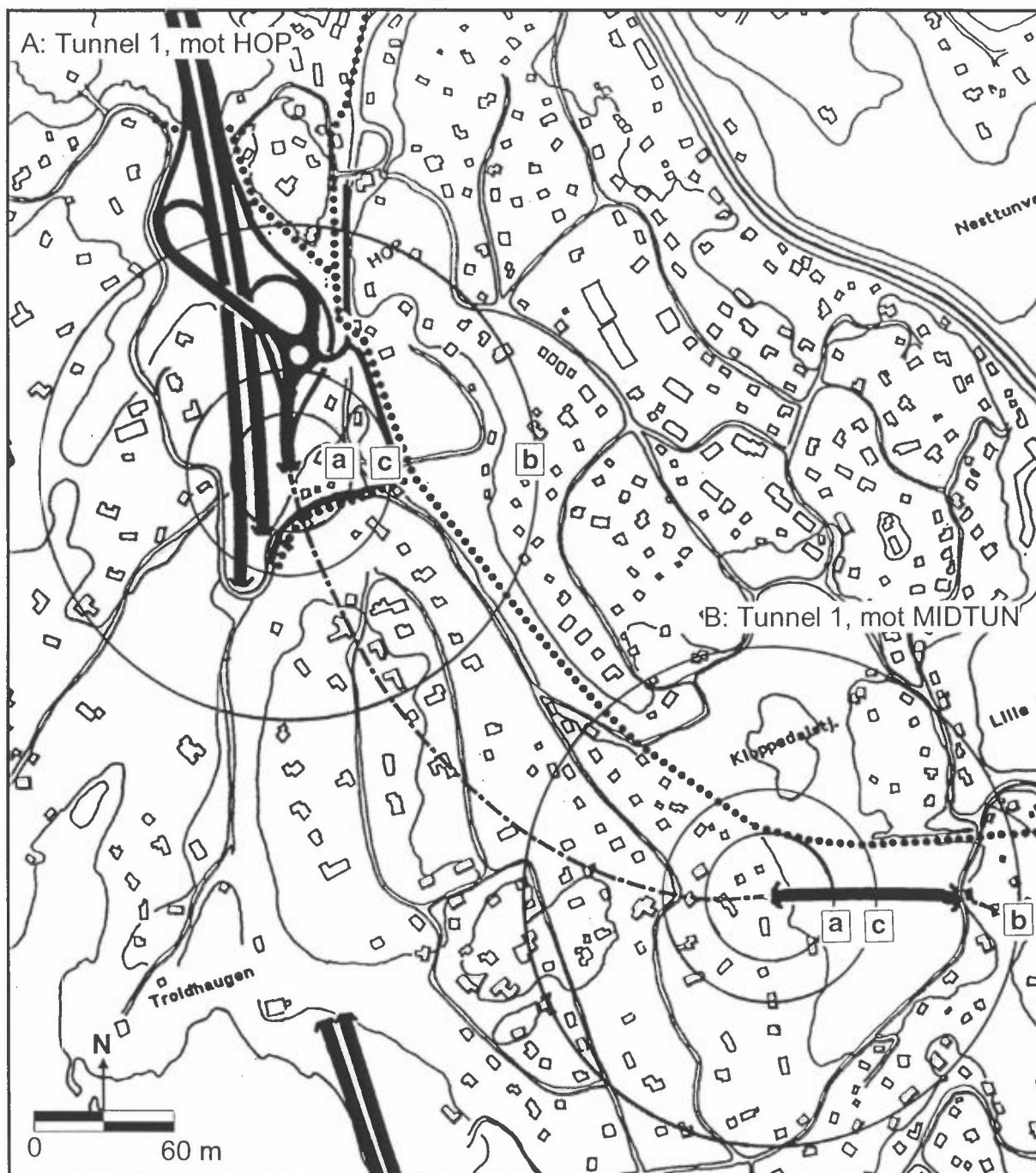
munningene i tunnel 3 er forurensningsbelastningen mindre. Når konsentrasjonene er over  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  vil det også forekomme partikkelkonsentrasjoner ( $\text{PM}_{10}$ ) over grenseverdiene. Tabell 5 viser også at en økning av ventilasjonshastigheten utover det det nødvendige for å overholde grenseverdier for luftkvalitet i tunnelene, vil gi et mindre område med forurensningsbelastning over anbefalt nivå i uteluft. Dersom en vil unngå overskridelser, er det nødvendig med utslipp gjennom sjakt i tunnel 1 og tunnel 2.

De forurensede sonene ved munningene er vist på figurene 3-6. Konsentrasjonsbelastningen fra 2 munninger skal ikke adderes fordi utlippene kun skjer ved en av munningene. Ifølge vindmålinger fra Skjold i perioden januar 1983-februar 1984 var hyppigst forekommende vinder fra nordøst om sommeren og sørvest om vinteren.

Figur 7 viser konsentrasjoner av  $\text{NO}_2$ , CO og  $\text{PM}_{10}$  som funksjon av avstand fra veikant mellom tunnelene basert på 20 000 ÅDT. Her er også bakgrunnsverdier ifølge tabell 4 lagt til.  $200 \mu\text{g NO}_2/\text{m}^3$  kan forekomme til ca. 15 m fra veikanten.  $100 \mu\text{g NO}_2/\text{m}^3$  kan forekomme betydelig lengere fra veikant.

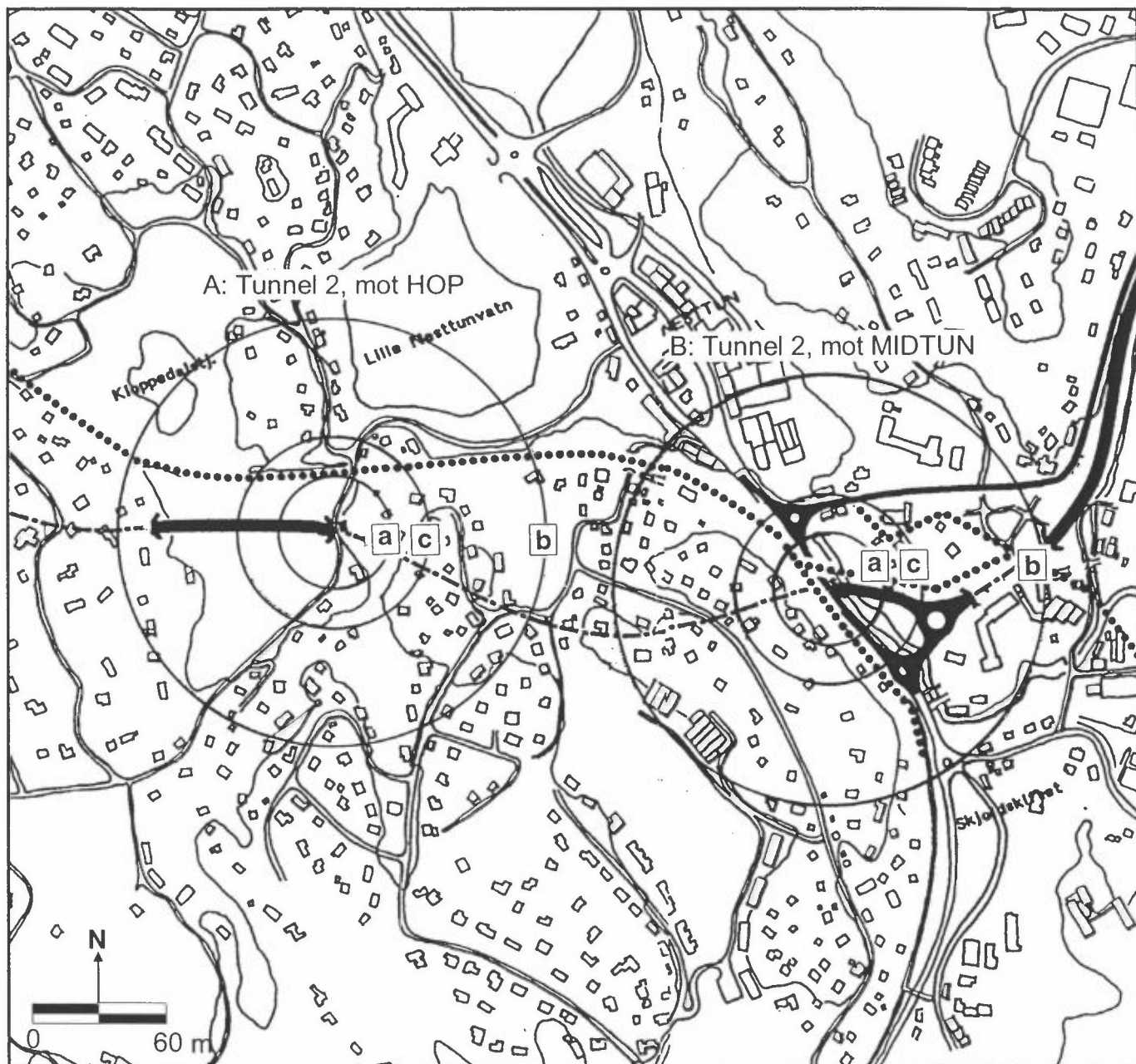
Forurensningsbelastning ved enkelteiendommer i nærheten ved åpne veier vil skje ofter enn ved tunnelmunninger.





Figur 3: Tunnel 1 (800 m). Figuren viser verst tenkelig tilfelle med kø i den ene retningen og 30-40 km/h i den andre retningen. Sirklene om tunnelmunningene viser ytre grense for overskridelser av

- a) 25 mg CO/m<sup>3</sup>
- b) 100 µg NO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>
- c) 200 µg NO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>



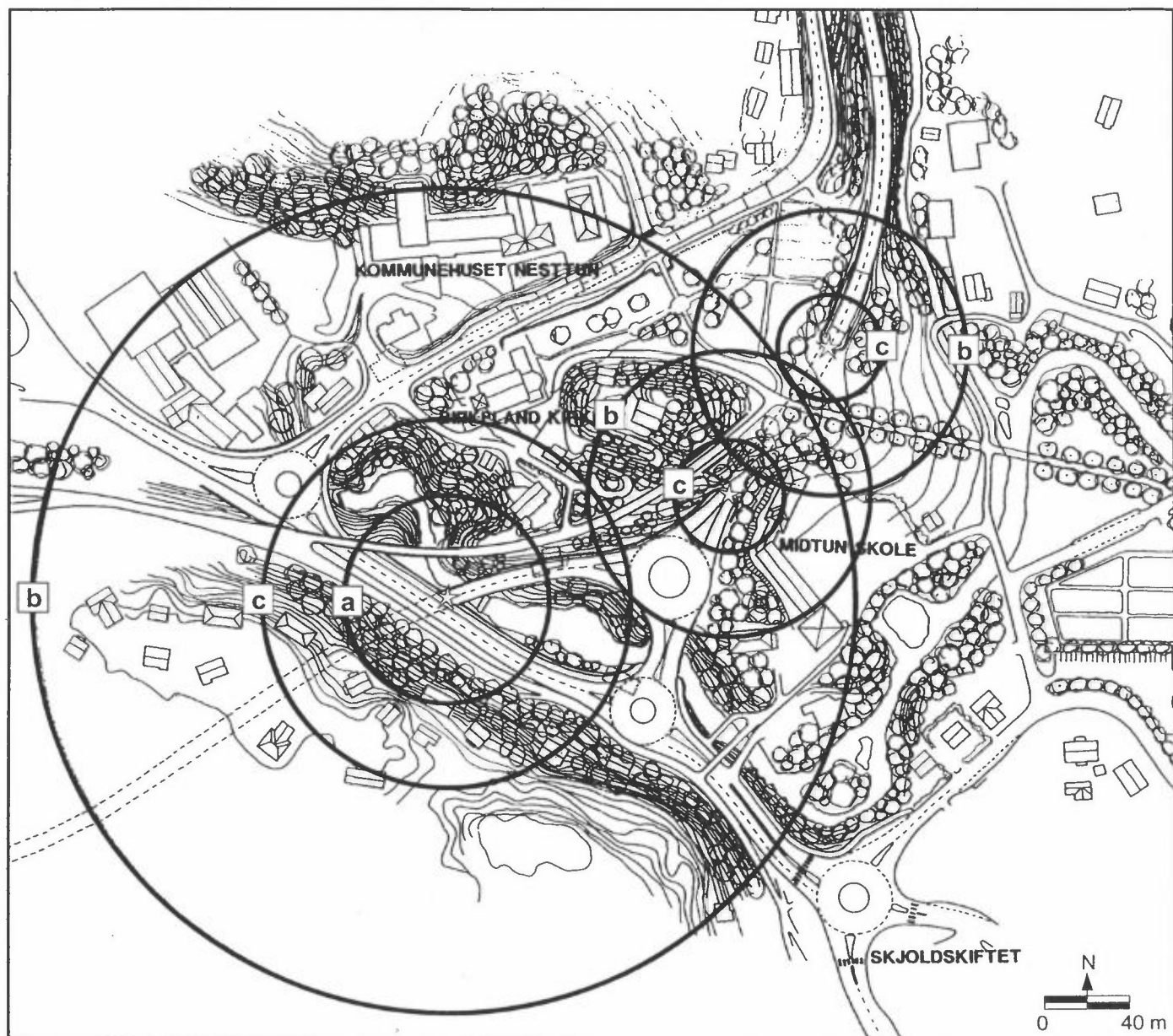
Figur 4: Tunnel 2 (650 m). Figuren viser verst tenkelig tilfelle med kø i den ene retningen og 30-40 km/h i den andre retningen. Sirklene om tunnelmunningene viser ytre grense for overskridelser av

- a) 25 mg CO/m<sup>3</sup>
- b) 100 µg NO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>
- c) 200 µg NO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>

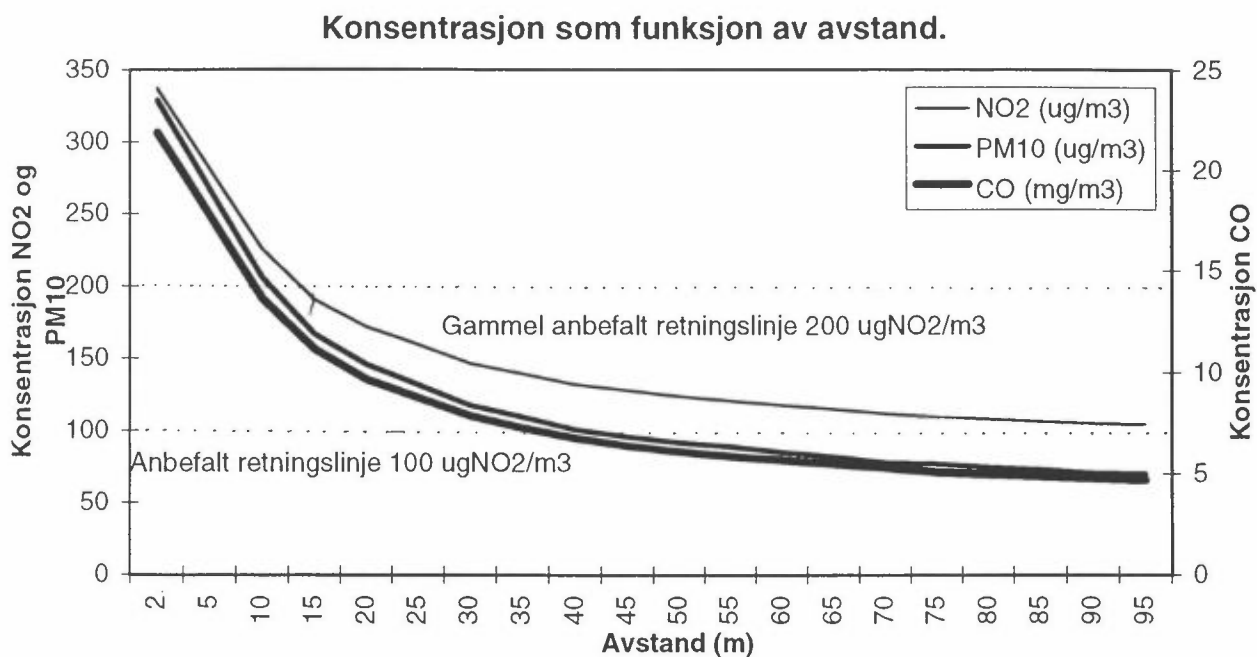


Figur 5: Tunnel 3 (90 m). Figuren viser verst tenkelig tilfelle med kjørehastighet 70 km/h. Sirklene om tunnelmunningene viser ytre grense for overskridelser av

- a) 25 mg CO/m<sup>3</sup> (kun 1 meters avstand)
- b) 100 µg NO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>
- c) 200 µg NO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>



Figur 6: Tunnel 2 (munning mot Midtun) og tunnel 3 ved verst tenkelig tilfelle. Sirklene om tunnelmunningene viser ytre grense for overskridelser av  
a)  $25 \text{ mg CO/m}^3$   
b)  $100 \mu\text{g NO}_2/\text{m}^3$   
c)  $200 \mu\text{g NO}_2/\text{m}^3$



Figur 7: Konsentrasjoner av NO<sub>2</sub>, CO og PM<sub>10</sub> som funksjon av avstand fra veikant mellom tunnelene basert på 20 000 ÅDT i makstime (12,5% av ÅDT).

## 7. 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<sub>x</sub> (og NO<sub>2</sub>)-utslipp fra slike biler. Med halvert NO<sub>x</sub>-utslipp fra de nye bilene, og en utskiftingstakt på 10% pr. år, vil dette kunne motvirke en trafikkøkning på anslagsvis 2-3% pr. år.

## 8. Referanser

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

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

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

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

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

Statens forurensningstilsyn (1986) Avgassbestemmelser for personbiler. Oslo.

Torp, C., Tønnesen, D. og Larssen, S. (1994) Programdokumentasjon VLUFT versjon 3.1. Lillestrøm (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**  
**Meteorologiske forhold**

## Meteorologiske forhold

NILU har tidligere (Larssen et al., 1986) foretatt målinger av meteorologi og luftkvalitet i området for de planlagte tunnelene ved Hop-Midtn. Sprednings-meteorologiske målinger fra Skjold vil være representative for vurderingsområdet (se figur A1).

Resultatene av meteorologiske målinger fra perioden januar 1983-februar 1984 viser at vindmålinger i Bergen-området er preget av sørøstlige vinder om vinteren. Nordvestlige vinder om sommeren forekommer hyppigere. Skjold ligger i et mer åpent og småkupert område og er derfor ikke så påvirket av topografiske forhold. Vindrosene på Skjold er derfor mer runde i formen, og likner i hovedtrekk vindrosene fra Flesland (se figur A2).

Frekvensfordelingen av vindretninger viste forholdsvis små avvik fra "normalt" i måleperioden (januar 1983-februar 1984). Den milde vinteren 1983 (særlig januar) ga mer vind fra nordvestlig kant og mindre vind fra sørvestlig kant enn "normalt".

Vinteren 1983 var det mindre vind enn "normalt" i en sektor fra øst til sør og tilsvarende mer i en sektor fra sørvest til nordvest. Dette skyldes det milde været (særlig januar). Både våren og sommeren 1983 hadde relativ "normal" vindretningsfordeling. Høsten 1983 hadde lavere frekvens av østlige og sørøstlige vinder enn "normalt", og tilsvarende høyere frekvens av sørvestlige vinder.

Vindstyrken var høyest om høsten og vinteren, økte med høyden over bakken, var høyere om dagen om natta vår og sommer og var lavere i Bergen sentrum enn utenfor byen.

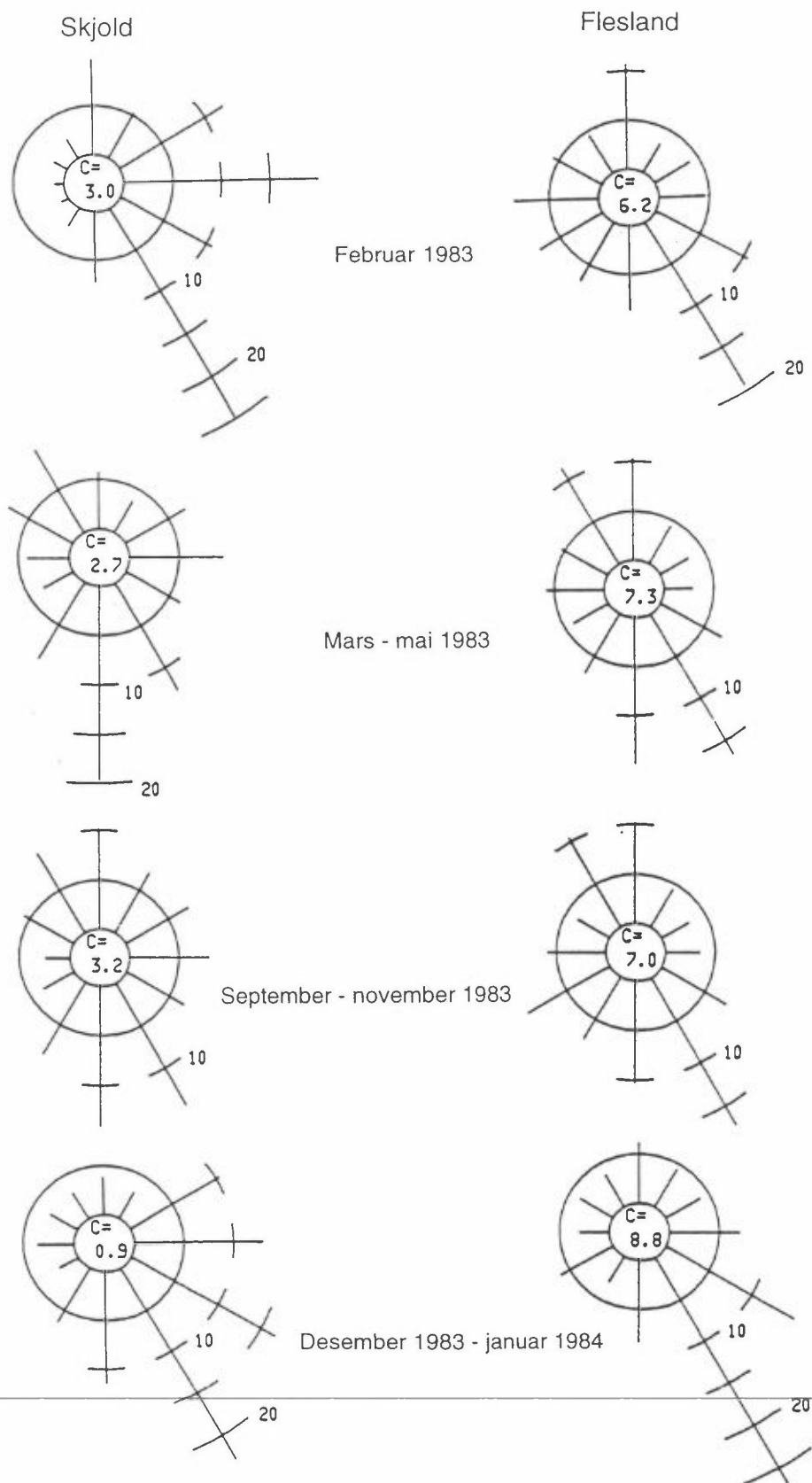
Figur A3 viser midlere vindstyrke for hver årstid på Skjold (36 m o.b.) og Flesland (10 m o.b.). Vindstyrken på Flesland, som ligger nærmest kysten, var vanligvis høyere enn på Skjold. Figuren viser også at vindstyrken på Skjold var høyere vinteren 1983-1984 enn sommeren 1983 i alle vindretninger.

De svakeste vindene på Skjold var fra nordøst og øst (om sommeren også fra vest). De sterkeste vindene var fra vest om vinteren. Figur A4 viser "normalkart" for temperaturforholdene på Skjold, og figur A5 viser frekvens av stabilitetsklasser på Skjold.

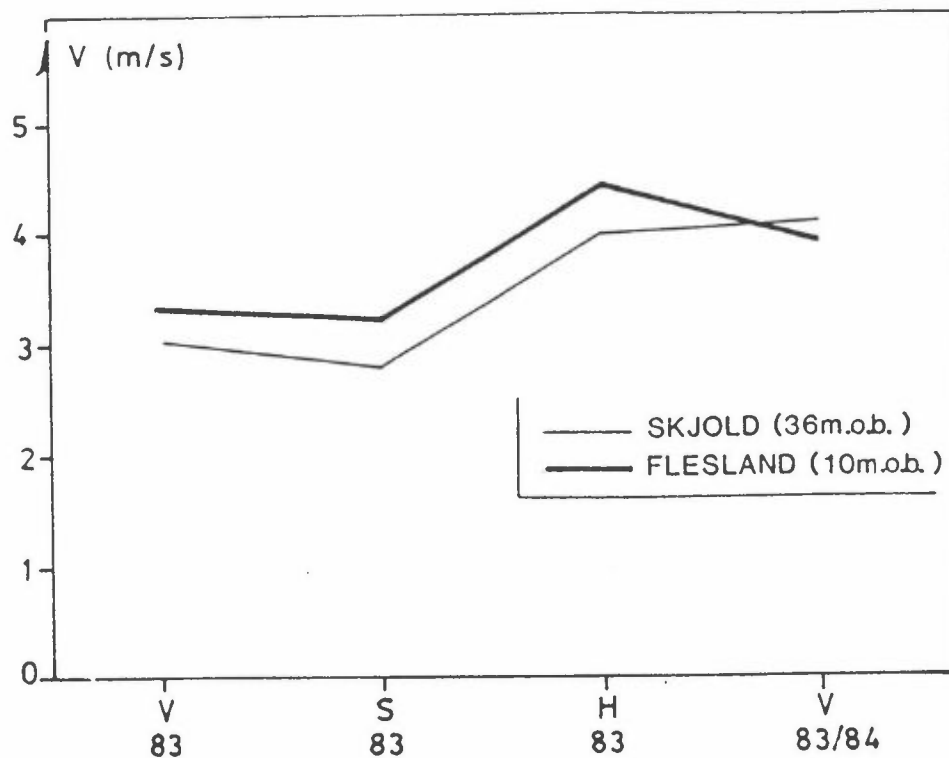




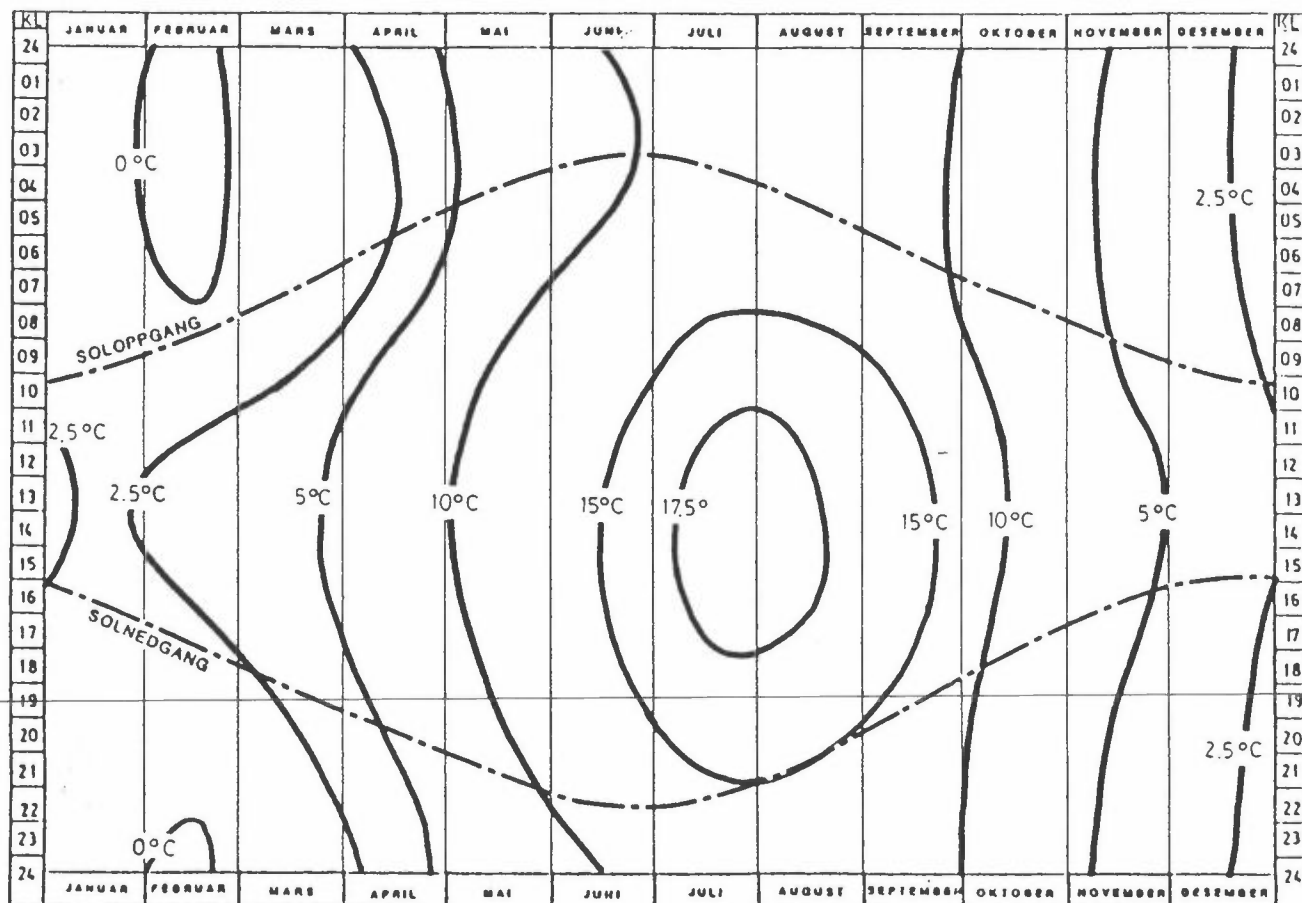
Figur A1: Figuren viser:  
 a) Stasjonsplassering, meteorologiske målinger Skjold  
 b) Tunneltrase Hop-Midtun.



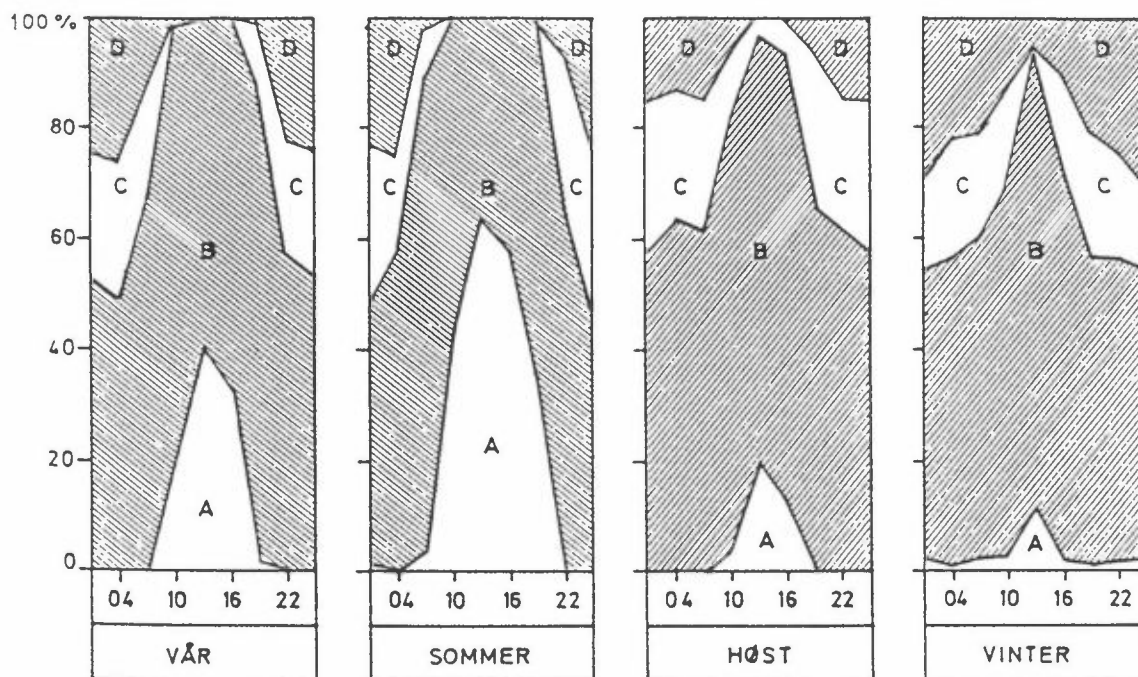
Figur A2: Vindroser fra Skjold og Flesland, januar 1983-februar 1984.



Figur A3: Midlere vindstyrke for hver årstid, Skjold og Flesland.



Figur A4: "Normalkart" for temperaturforholdene på Skjold.



Figur A5: Frekvens (%) av fire stabilitetsklasser for hver tredje time midlet for hver årstid på Skjold basert på temperaturforskjellen mellom 36 m o.b. og 10 m o.b.  
(A: ustabilt, B: nøytralt, C: lett stabilt, D: stabilt.)

## Referanser

Larssen, S., Hagen, L.O., Dahl, J.E. og Hongslo, J. (1986) Basisundersøkelse av luftkvaliteten i Bergen 1983-85. Delrapport A: Måling av meteorologi og luftkvalitet. Eksponering og helsevirkninger. Lillestrøm (NILU OR 54/86).



# Norsk institutt for luftforskning (NILU)

Postboks 100, N-2007 Kjeller

RAPPORTTYPE OPPDRAKS RAPPORT	RAPPORT NR. OR 26/95	ISBN-82-425-0680-9	
DATO 23/5-95	ANSV. SIGN. P. Berg	ANT. SIDER 26	PRIS NOK 45,-
TITTEL Tunneler Hop-Midtun Vurdering av luftforurensning		PROSJEKTLEDER Knut Erik Grønseki	
		NILU PROSJEKT NR. O-95036	
FORFATTER(E) Ivar Haugsbakk og Knut Erik Grønseki		TILGJENGELIGHET * A	
		OPPDRAKSGIVERS REF.	
OPPDRAKSGIVER Statens Vegvesen Hordaland Postboks 3645 5033 FYLLINGSDALEN			
STIKKORD Tunnel	Forurensning	Spredningsberegninger	
REFERAT Tre tunneler er planlagt bygget i området Hop-Midtun. Det er beregnet maksimale konsentrasjoner av CO og NO <sub>x</sub> i tunnelene, og nødvendig spredningsavstand fra tunnelmunningene for å komme ned på anbefalte luftkvalitets-kriterier for uteluft. Det er videre beregnet minste ventilasjonskapasitet i tunnelene for å overholde grenseverdier for luftkvalitet i tunnelene, ved de ugunstigste trafikkforhold (stillestående kø i en retning).			
TITLE Tunnels in Hop-Midtun area. Evaluation of air pollution			
ABSTRACT			

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