

NILU : OR 62/97
REFERANSE : O-97119
DATO : OKTOBER 1997
ISBN : 82-425-0929-8

**Storhaugtunnelen,
Stavanger**
Vurdering av luftforurensning

Ivar Haugsbakk

Innhold

| | Side |
|---|-----------|
| Sammendrag..... | 2 |
| 1. Innledning..... | 6 |
| 2. Metoder og forutsetninger..... | 6 |
| 3. Tunnel- og trafikkdata | 7 |
| 4. Anbefalte luftkvalitetskriterier og krav til tunnelluft | 9 |
| 5. Utslipp | 10 |
| 6. Resultater fra spredningsberegningene | 11 |
| 7. Framtidig utvikling..... | 17 |
| 8. Referanser | 17 |
| Vedlegg A Generelt om luftforurensning fra trafikk..... | 18 |

Sammendrag

Norsk institutt for luftforskning (NILU) har på oppdrag fra Multiconsult AS, avd. Stavanger utført beregninger av luftforurensing fra tunnel gjennom bydelen Storhaug i Stavanger (Storhaugtunnelen). Tunnelen skal erstatte eksisterende FV427 over Storhaug, som skaper miljøproblemer i bydelen. Det er utført beregninger av produksjon av nitrogenoksider (NO_x) og karbonmonoksid (CO) i tunnelen, samt spredning av forurensninger fra tunnelmunninger. Svevestøv er ikke tatt med i beregningene, da det ikke finnes ferdig-utviklet programverktøy for å beregne produksjon og spredning av svevestøv fra tunneler. Det anbefales derfor å foreta svevestøvmålinger i området når Storhaugtunnelen tas i bruk.

Beregningene er utført for trafikksituasjoner i rushtiden, med trafikkflyt i begge retninger. Videre er krav til ventilasjon og behov for utlufting og tilførsel av ventilasjonsluft beregnet for de samme trafikksituasjonene. Forurensningsbelastningen (maksimal forurensningsgrad) ved tunnelmunningene er beregnet for karbonmonoksid (CO) og nitrogendioksid (NO₂) og sammenlignet med SFTs anbefalte luftkvalitetskriterier. Anbefalte luftkvalitetskriterier for uteluft og grenseverdier for tunnelluft er vist i tabell A.

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

| | | | |
|------------------------------------|-----------------|------------|--------------------------|
| Uteluft (SFT, 1992) | CO | 1 time | 25 mg/m ³ |
| | | 8 timer | 10 mg/m ³ |
| | NO ₂ | 1 time | 100 µg/m ³ |
| | | 24 timer | 75 µg/m ³ |
| Tunnelluft (Vegdirektoratet, 1988) | CO | Maksverdi* | 250 mg/m ³ |
| | NO _x | Maksverdi* | 28 200 µg/m ³ |
| | NO ₂ | Maksverdi* | 2 800 µg/m ³ |

* Øyeblikksverdi.

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

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

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

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

Forurensning ved tunnelmunningene

CO- og NO₂-konsentrasjoner i ventilasjonsluften i munningene er beregnet for prosjekterte trafikkmengder og ulike hastigheter. Tabell B viser resultatet av beregningene for kjørehastighet 40 km/h, 50 km/h (skiltet hastighet) og 60 km/h. Munningskonsentrasjoner er beregnet ut fra Vegdirektoratets grenseverdier for tunnelluft og derav nødvendig ventilasjonshastighet. Nødvendig ventilasjonshastigheter er for de ulike alternativ rundet oppover til 1,0 m/s. En videre økning av ventilasjonshastigheten vil gi lavere munningskonsentrasjoner, men vil også kreve mer energi.

Tabell B: Maksimale munningskonsentrasjoner ved rushtidstrafikk.

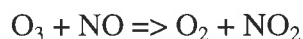
| | Kjørehastighet (km/h) | Ventilasjonshastighet (m/s) | Munningskonsentrasjoner | |
|------------------|-----------------------|-----------------------------|-------------------------|--------------------------------------|
| | | | CO (mg/m ³) | NO ₂ (µg/m ³) |
| Morgenrush | 40 | 1,0 | 25 | 1 246 |
| | | 2,0 | 13 | 623 |
| | | 3,0 | 8 | 415 |
| | 50* | 1,0 | 21 | 1 146 |
| | | 2,0 | 11 | 573 |
| | | 3,0 | 7 | 382 |
| | 60 | 1,0 | 19 | 1 088 |
| | | 2,0 | 10 | 544 |
| | | 3,0 | 6 | 363 |
| Ettermiddagsrush | 40 | 1,0 | 31 | 1 570 |
| | | 2,0 | 16 | 785 |
| | | 3,0 | 10 | 523 |
| | 50* | 1,0 | 27 | 1445 |
| | | 2,0 | 13 | 722 |
| | | 3,0 | 9 | 485 |
| | 60 | 1,0 | 24 | 1 376 |
| | | 2,0 | 12 | 688 |
| | | 3,0 | 8 | 458 |

* Skiltet hastighet.

Ved normal trafikkavvikling er NO_x-utslippene avgjørende for nødvendig ventilasjonshastighet i tunnelsystemet. I køsituasjoner vil CO-produksjonen bli avgjørende.

CO- og NO₂-konsentrasjonen reduseres (fortynnes) med økende avstand fra tunnelmunningene. Det antas at NO₂-andelen av NO_x i utslippet fra trafikken er 7,5% ved oppoverbakke og 20% ved nedoverbakke og sammenhengende kø. I beregningene er det tatt hensyn til et bakgrunnsnivå av luftforurensninger. Bakgrunnskonsentrasjonen representerer i dette tilfelle en maksimal konsentrasjon som skyldes andre kilder. I området der tunnelen er planlagt, er det regnet med et bakgrunnsnivå på 4 mg CO/m³ og 25 µg NO₂/m³.

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



Det er derfor lagt til et totalt bakgrunnsnivå på 85 µg NO₂/m³ som timemiddelverdi (dette er inkludert i beregnede konsentrasjoner).

Tabell C viser spredningsavstander fra tunnelmunninger for å komme ned på gitte konsentrasjoner av CO og NO₂. Tabellen angir utstrekning av forurensninger i verst tenkelig tilfelle, ved maksimal trafikkbelastning og ved dårlige spredningsforhold utenfor tunnelmunningene. For å kunne si noe om forekomst av ugunstige meteorologiske forhold er det behov for data angående vindstyrke og vindretning utenfor tunnelmunningene. Et normalt anslag vil være at disse ugunstige meteorologiske forhold opptrer i 10% av tiden, og da ville forurensningsnivå utenfor tunnelmunningen som skissert i Tabell C opptre i mindre enn 0,6% av tiden (52 timer i året).

Svevestøvproblematikken er knyttet til tørt vær, og de største svevestøvkonsentrasjoner blir oftest målt i slutten av piggdekkseasonen. I tider av døgnet med trafikk vil timemiddelkonsentrasjonene av svevestøv kunne komme opp i dobbelt så høye konsentrasjoner som NO₂. Døgnmiddelkonsentrasjoner i omgivelsene er spesielt avhengig av vindretningsfordeling.

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

Tabell C: Nødvendig spredningsavstand fra tunnelmunninger for at konsentrasjoner av CO og NO₂ er redusert til gitte nivåer.

| | Trafikkens hastighet (km/h) | Ventilasjons-hastighet (m/s) | Lengde av jetfase (m) | Nødvendig spredningsavstand for å komme ned på gitte luftkvalitetsnivå (m) | | | | | |
|------------------|--------------------------------|---------------------------------|--------------------------|--|---|---|---|---|---|
| | | | | CO (25 mg/m ³) | NO ₂ (100 µg/m ³) | NO ₂ (150 µg/m ³) | NO ₂ (200 µg/m ³) | NO ₂ (250 µg/m ³) | NO ₂ (300 µg/m ³) |
| Morgenrush | 50 | 1,0 | 0 | 0 | 189 | 77 | 51 | 39 | 31 |
| | 50 | 2,0 | 0 | 0 | 177 | 66 | 41 | 28 | 20 |
| | 50 | 3,0 | 34 | 0 | 180 | 68 | 43 | 29 | 21 |
| | 50 | 4,0 | 56 | 0 | 191 | 79 | 52 | 33 | 18 |
| | 50 | 6,0 | 72 | 0 | 197 | 87 | 53 | 22 | - |
| Ettermiddagsrush | 50 | 1,0 | 0 | 4 | 215 | 89 | 61 | 47 | 38 |
| | 50 | 2,0 | 0 | 0 | 204 | 78 | 50 | 36 | 27 |
| | 50 | 3,0 | 34 | 0 | 207 | 81 | 53 | 38 | 29 |
| | 50 | 4,0 | 56 | 0 | 218 | 92 | 63 | 46 | 31 |
| | 50 | 6,0 | 72 | 0 | 224 | 99 | 69 | 43 | 18 |

Storhaugtunnelen, Stavanger

Vurdering av luftforurensning

1. Innledning

Norsk institutt for luftforskning (NILU) har på oppdrag Multiconsult AS, avd. Stavanger utført beregninger av luftforurensninger fra planlagt tunnel gjennom bydelen Storhaug i Stavanger (Storhaugtunnelen).

Det er utført beregninger av forurensningskonsentrasjoner i områdene nær tunnelmunningene. Beregningene er utført for trafikksituasjoner med maksimaltrafikk (rushtid).

Krav til ventilasjon og behov for utlufting og tilførsel av ventilasjonsluft er beregnet for rushtidstrafikk med trafikkflyt i begge retninger. Forurensningsbelastningen ved tunnelmunningene er beregnet for karbonmonoksid (CO) og nitrogendioksid (NO₂). Utslippet av nitrogenoksider (NO_x) fra biltrafikk består normalt av 90% nitrogenmonoksid (NO) og ca. 10% nitrogendioksid (NO₂) på horisontal vei. NO₂ i bileksosen gir vanligvis de høyeste forurensningskonsentrasjoner i forhold til anbefalte retningslinjer for timeverdier i uteluft og grenseverdier for luftkvalitet i tunneler. Ved køsituasjoner vil imidlertid CO-konsentrasjonen være høyest i forhold til anbefalte retningslinjer og avgjørende for krav til ventilasjonsluft. Anbefalte retningslinjer for uteluft og grenseverdier for tunnelluft er omtalt i kapittel 4.

2. Metoder og forutsetninger

I beregningene er det benyttet samme metoder som for tilsvarende tunneler (Larssen og Iversen, 1984; Larssen, 1987; Tønnesen, 1988). Beregningsmetoden er kontrollert ved målinger utført blant annet ved tunneler i Bergen (Gotaas, 1981). Beregningene har omfattet følgende:

1. Med utgangspunkt i trafikk- og tunneldata, samt utslippsfaktorer for lette og tunge diesel- og bensinbiler, har vi beregnet utslipp av CO og NO_x i tunnelene.
2. Ut fra data for utslipp av CO og NO_x er det beregnet nødvendig ventilasjonshastighet for å overholde grenseverdier for NO₂ og CO i tunneler.
3. Konsentrasjonene av CO og NO₂ utenfor munningene er beregnet ved hjelp av en modell som beskriver spredning av forurensninger fra tunneler (Iversen, 1982).
4. Beregnete konsentrasjoner av CO og NO₂ fra munningene er sammenlignet med anbefalte retningslinjer for luftkvalitet for CO og NO₂. Disse er gitt i kapittel 4.

I beregningene er det tatt hensyn til innføring av katalysator på nye bensindrevne bilmodeller fra 1989. Det er antatt en årlig utskifting av de bensindrevne personbilene på 4-6% som betyr at ca. 65% av bilene i år 2000 har katalysator. Det antas videre at tilnærmevis alle bensindrevne biler har katalysator innen år 2010. Katalysatorens betydning for NO₂-konsentrasjonen er mindre enn for CO-konsentrasjonen, da en betydelig del av NO_x-produksjonen kommer fra dieseldrevne kjøretøy. For tunge dieserbiler ble strengere avgasskrav innført i 1994, mens krav til dieseldrevne personbiler og lette dieseldrevne varebiler ble innført i 1990. Først noen år etter innføringen vil dette ha en merkbar innvirkning på det totale NO_x-utslippet fra dieserbiler.

3. Tunnel- og trafikkdata

Storhaugtunnelen er vist i Figur 1. Nødvendige tegninger og tallmateriale angående veigeometri, trafikk tall og trafikksammensetning er gitt av Rogaland Vegkontor. Trafikkprognose for år 2010, er benyttet med ÅDT 12 000. Beregningene er utført med hensyn på morgenrush/ettermiddagsrush.

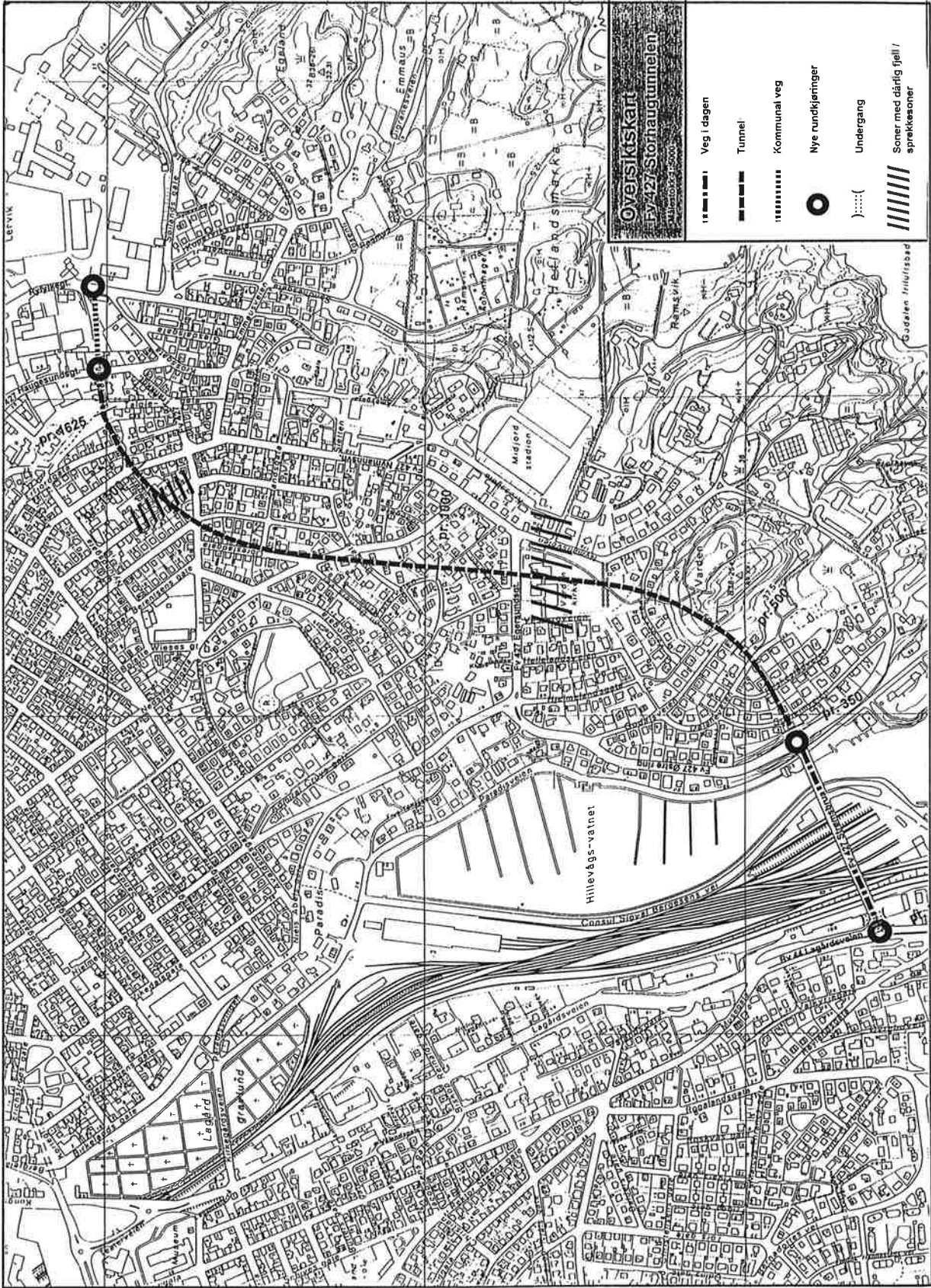
Maksimal timetrafikk (inkl. retningsfordeling)

| | | | |
|------------------|----------------------------------|---|----------------|
| Morgenrush | Totalt (8% av døgnetrafikken) | : | 960 kjt/time |
| | Retning øst; Haugesundsgt. (36%) | : | 346 kjt/time |
| | Retning vest; Strømsbrua (65%) | : | 614 kjt/time |
| Ettermiddagsrush | Totalt (10% av døgnetrafikken) | : | 1 200 kjt/time |
| | Retning øst; Haugesundsgt. (43%) | : | 516 kjt/time |
| | Retning vest; Strømsbrua (57%) | : | 684 kjt/time |

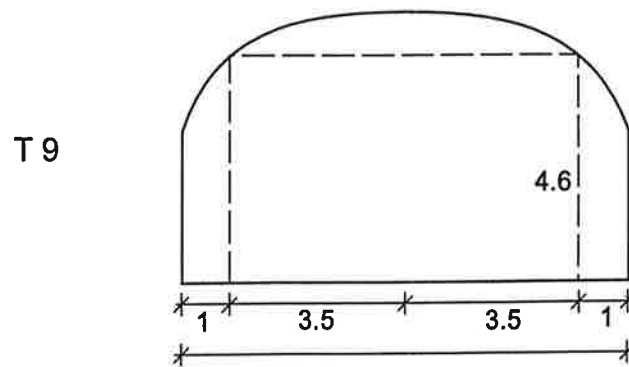
Tungtrafikkandelen er av Rogaland Vegkontor anslått til 10%, og vektfordelingen av denne er av NILU anslått til 25% under 10 tonn, 25% mellom 10 og 20 tonn og 50% over 20 tonn totalvekt.

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

Tunnelmunningene vil få tunnelprofil T9 (50,45 m²). Se Figur 2.



Figur 1: Tunneltrasé, Storhaugtunnelen..



Figur 2: Tunnelprofil Storhaugtunnelen.

4. Anbefalte luftkvalitetskriterier og krav til tunnelluft

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

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

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

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

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

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

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

5. Utslipp

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

1. Trafikktall (antall og hastighet).
2. Tunneldata (lengde, tverrsnittsareal, stigning).
3. Tungtrafikkandel (10%).
4. Kaldstartandel (5%).

Resultatet av utslippsberegningene er vist i Tabell 1. Tabellen viser også nødvendig luftstrømhastighet for å overholde Vegdirektoratets grenseverdier for tunnel-luft. Tabell 1 viser at belastningen vil bli størst på ettermiddagen, og at ingen trafikksituasjoner utenom kødannelser krever ventilasjonshastigheter over 1,0 m/s.

En lavere dieselandel vil gi mindre utslipp av NO_x, men større utslipp av CO. Tabellen viser at det er liten forskjell i CO- og NO_x-utslipp med ulik hastighet i området 40-60 km/h. Lavere hastighet gir mindre NO_x-utslipp og større CO-utslipp. Vanligvis vil det være NO_x-utslippene som avgjør nødvendige luftstrømhastigheter for å overholde grenseverdier for luftkvalitet i tunneler. Ved dårlig trafikk-avvikling eller sammenhengende kø i tunneler vil det være CO-utslippene som vanligvis er avgjørende for nødvendig utlufting av tunnelene.

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

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

| | Trafikkens-hastighet (km/h) | Nødvendig ventilasjonshastighet (m/s) | Utslipp | |
|------------------|-----------------------------|---------------------------------------|----------|-----------------------|
| | | | CO (g/s) | NO _x (g/s) |
| Morgenrush | 0 | 4,72 | 59,61 | -* |
| | 10 | 0,67 | 4,50 | 0,94 |
| | 20 | 0,58 | 2,73 | 0,82 |
| | 30 | 0,50 | 2,10 | 0,71 |
| | 40 | 0,45 | 1,26 | 0,63 |
| | 50** | 0,41 | 1,07 | 0,58 |
| | 60 | 0,39 | 0,96 | 0,55 |
| Ettermiddagsrush | 0 | 4,72 | 59,61 | -* |
| | 10 | 0,84 | 5,65 | 1,18 |
| | 20 | 0,73 | 3,43 | 1,04 |
| | 30 | 0,63 | 2,63 | 0,89 |
| | 40 | 0,56 | 1,59 | 0,79 |
| | 50** | 0,52 | 1,34 | 0,73 |
| | 60 | 0,49 | 1,21 | 0,69 |

* CO-produksjonen er dimensjonerende for ventilasjonsanlegget.

** Skiltet hastighet.

6. Resultater fra spredningsberegningene

NO₂- og CO-konsentrasjoner i ventilasjonsluften i munningene er beregnet for prosjekterte trafikkmengder og hastigheter i begge kjøreretninger. Tabell 2 viser resultatet av beregningene. Det er tatt utgangspunkt i skiltet hastighet 50 km/h, men beregninger er også utført for 40 km/h og 60 km/h for å vise variasjonen i munningskonsentrasjonen.

Tabell 2: Maksimale munningskonsentrasjoner ved rushtidstrafikk.

| | Kjørehastighet (km/h) | Ventilasjons-hastighet (m/s) | Munningskonsentrasjoner | |
|------------------|-----------------------|------------------------------|-------------------------|--------------------------------------|
| | | | CO (mg/m ³) | NO ₂ (µg/m ³) |
| Morgenerush | 40 | 1,0 | 25 | 1 246 |
| | | 2,0 | 13 | 623 |
| | | 3,0 | 8 | 415 |
| | 50* | 1,0 | 21 | 1 146 |
| | | 2,0 | 11 | 573 |
| | | 3,0 | 7 | 382 |
| | 60 | 1,0 | 19 | 1 088 |
| | | 2,0 | 10 | 544 |
| | | 3,0 | 6 | 363 |
| Ettermiddagsrush | 40 | 1,0 | 31 | 1 570 |
| | | 2,0 | 16 | 785 |
| | | 3,0 | 10 | 523 |
| | 50* | 1,0 | 27 | 1445 |
| | | 2,0 | 13 | 722 |
| | | 3,0 | 9 | 485 |
| | 60 | 1,0 | 24 | 1 376 |
| | | 2,0 | 12 | 688 |
| | | 3,0 | 8 | 458 |

* Skiltet hastighet.

I de videre beregninger har vi høynet alle ventilasjonshastigheter opp til 1,0 m/s. Det er i praksis vanskelig å styre luftstrømmen i en trafikkert tunnel med ventilasjonshastigheter under 1,0 m/s.

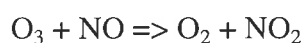
Vi har kjørt beregninger med ulike ventilasjonshastigheter. Jo høyere ventilasjonshastighet, jo bedre fortykning av luftforurensninger. Men ved ventilasjonshastigheter over 3,0 m/s vil det dannes en jettfase som "flytter" de høyeste konsentrasjoner lengre ut fra tunnelmunningen. En jettfase vil også føre til mindre område i bakkant av tunnelmunningen med høye forurensningskonsentrasjoner. Dette kan være gunstig dersom det er boligmassen i bakkant av tunnelmunningen man ønsker å ta hensyn til, som tilfellet er med tunnelmunning ved Strømsbrua. På den annen side vil det kreve mer energi for å holde en høyere ventilasjonshastighet i tunnelen.

Det er viktig å merke seg at beregningene er utført med 10% tungtrafikkandel. Dersom tungtrafikkandelen skulle bli lavere vil en få noe høyere CO-kon-

sentrasjoner ved samme trafikkmengde totalt men CO-utslippene vil kun bli dimensjonerende for ventilasjonsanlegget dersom det blir kødannelse i tunnelen.

Det er beregnet ved hvilken avstand fra tunnelmunningene konsentrasjoner av CO og NO₂ er redusert til et nivå lik de anbefalte luftkvalitetskriteriene for uteluft. Det er regnet at NO₂-andelen av NO_x i utslippet fra tunnelmunningene er 7,5% i tunnel oppover, 20% i tunnel nedover og ved tomgangskjøring (kø). I beregningene er det også tatt hensyn til bakgrunnsnivå av forurensede komponenter. Bakgrunns-konsentrasjoner representerer i dette tilfellet en maksimal konsentrasjon som skyldes andre kilder utenfor tunnelmunningen. Vi har regnet med et bakgrunns-nivå på 4 mg CO/m³ og 25 µg NO₂/m³ som timemiddel.

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



Vi har derfor lagt til et totalt bakgrunnsnivå på 85 µg NO₂/m³ (dette er inkludert i beregnede konsentrasjoner som sammenlignes med anbefalt luftkvalitetskriterium på 100 µg/m³). Se for øvrig Tabell 3.

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

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

Det er ellers ikke tatt hensyn til bidrag fra andre veier i nærheten eller andre forurensningskilder fordi disse bidragene inngår i bakgrunnsnivået. Resultatet av beregninger av konsentrasjoner **utenfor** tunnelmunningene er vist i Tabell 4.

Maksimalkonsentrasjonene forekommer ved stor trafikk (i rushtiden) og ved dårlige spredningsforhold.

Når tungtrafikkandelen er mindre enn 10% fører det til mindre område med maksimalt NO₂-nivå.

Det kan ikke ses bort fra at utslipp fra tunnelen kan bidra til luktplager i tunnelmunningens umiddelbare nærhet ved normal trafikkavvikling. Erfaringsmessig vil eksoslukt kunne merkes på større avstander enn der NO₂-konsentrasjonen er 200 µg/m³.

I punkt 3 (tunnel- og trafikkdata) har vi gitt inngangsdata som viser at trafikstrømmen er størst i retning mot vest (Strømsbrua) både om formiddagen og ettermiddagen. Det vil derfor være naturlig å la ventilasjonen gå samme veien. Siden det er toveis trafikk i tunnelen vil en ikke oppnå naturlig ventilering av tunnelen, og vifter er nødvendig for å ventilere tunnelen i ønsket retning.

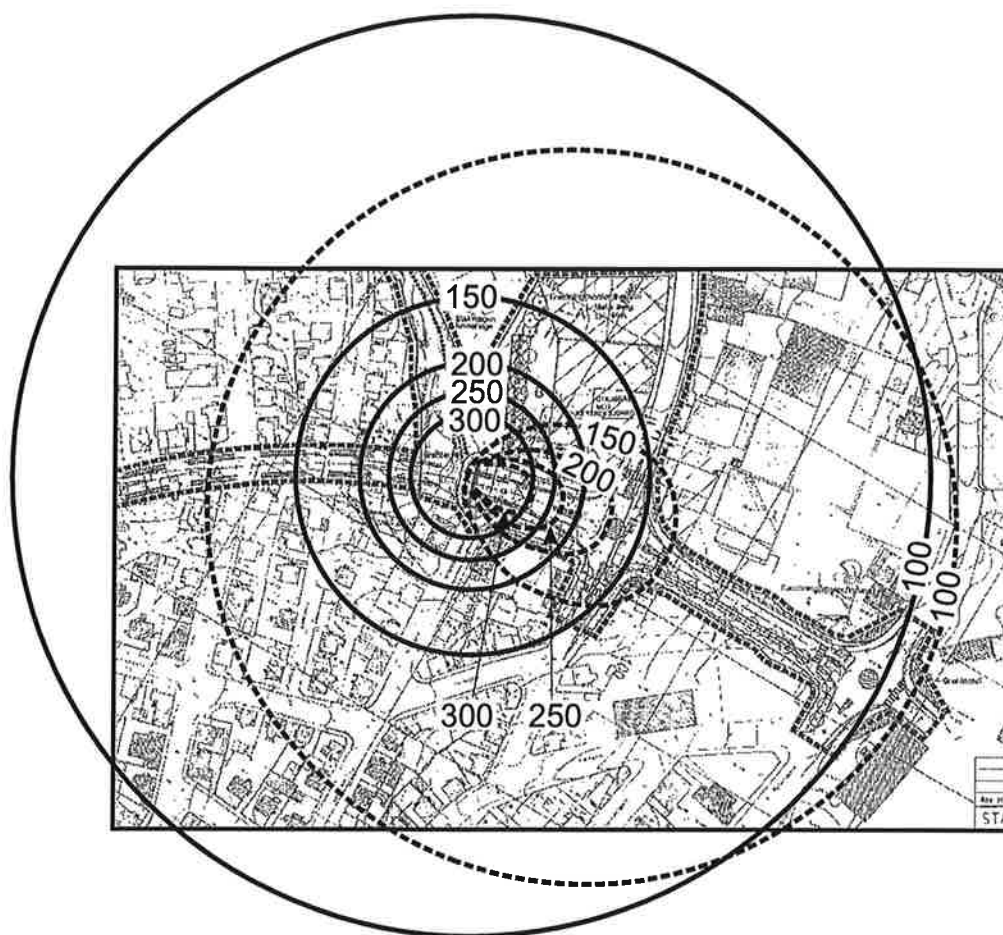
Figur 3 viser hvilke områder som blir belastet ved rushtidstrafikk. det er tatt utgangspunkt i skiltet hastighet 50 km/h som gjennomsnitt i tunnelen. Figur 3a og 3b er alternative løsninger, avhengig av hvilken munning ventilasjonsluften skyves ut fra. Tabell 2 viser at høyere hastighet (60 km/h) mindre utslipp, mens lavere hastighet (40 km/h) gir mer utslipp. På Figur 3 er nødvendig ventilasjonshastighet økt fra 1,0 m/s til 2 m/s fordi dette halverer konsentrasjonene i tunnelmunningene.

Isokonsentrasjonskurvene utenfor tunnelmunningene angir utstrekning av forurensninger i verst tenkelig tilfelle, ved maksimal trafikkbelastning og ved dårlige spredningsforhold utenfor tunnelmunningene. For å kunne si noe om forekomst av ugunstige meteorologiske forhold er det behov for data angående vindstyrke og vindretning for stedet. Et normalt anslag vil være at disse ugunstige meteorologiske forhold opptrer i 10% av tiden, og da ville forurensningsnivå utenfor tunnelmunningen som skissert på Figur 3 opptre i mindre enn 0,6% av tiden (52 timer i året).

Selv om det fra dags dato ikke finnes egnet beregningsverktøy for produksjon og spredning av svevestøv fra tunneler kan det opplyses følgende: Svevestøvproblematikken er knyttet til tørt vær, og de største svevestøvkonsentrasjoner blir oftest målt i slutten av piggdekkseongen. I tider av døgnet med trafikk vil timemiddelkonsentrasjonene av svevestøv kunne komme opp i dobbelt så høye konsentrasjoner som NO_2 . Døgnmiddelkonsentrasjoner i omgivelsene er spesielt avhengig av vindretningsfordeling.

Tabell 4: Nødvendig spredningsavstand fra tunnelmunninger for at konsentrasjoner av CO og NO₂ er redusert til gitte nivåer.

| | Trafikkens hastighet (km/h) | Ventilasjons-hastighet (m/s) | Lengde av jettfase (m) | Nødvendig spredningsavstand for å komme ned på gitte luftkvalitetsnivå (m) | | | | | |
|------------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------|--|---|---|---|---|---|
| | | | | CO (25 mg/m ³) | NO ₂ (100 µg/m ³) | NO ₂ (150 µg/m ³) | NO ₂ (200 µg/m ³) | NO ₂ (250 µg/m ³) | NO ₂ (300 µg/m ³) |
| Morgenrush | 50 | 1,0 | 0 | 0 | 189 | 77 | 51 | 39 | 31 |
| | 50 | 2,0 | 0 | 0 | 177 | 66 | 41 | 28 | 20 |
| | 50 | 3,0 | 34 | 0 | 180 | 68 | 43 | 29 | 21 |
| | 50 | 4,0 | 56 | 0 | 191 | 79 | 52 | 39 | 18 |
| | 50 | 6,0 | 72 | 0 | 197 | 87 | 53 | 22 | - |
| Ettermiddagsrush | 50 | 1,0 | 0 | 4 | 215 | 89 | 61 | 47 | 38 |
| | 50 | 2,0 | 0 | 0 | 204 | 78 | 50 | 36 | 27 |
| | 50 | 3,0 | 34 | 0 | 207 | 81 | 53 | 38 | 29 |
| | 50 | 4,0 | 56 | 0 | 218 | 92 | 63 | 46 | 31 |
| | 50 | 6,0 | 72 | 0 | 224 | 99 | 69 | 43 | 18 |



*Figur 3a: Tunnelmunning mot Haugesundsgate.
Fordeling av maksimal NO_2 -konsentrasjon i rushtid om ettermiddagen
(50 km/h) med ventilasjonshastighet på 2,0 m/s (heltrukket linje) og
ventilasjonshastighet 4,0 m/s (stiplet linje).*

7. Framtidig utvikling

Alle nye personbiler solgt etter 1989 er utstyrt med treveis katalysator. Strengere avgasskrav til dieseldrevne personbiler ble innført i 1990, og tyngre dieseldrevne biler fikk strengere avgasskrav i 1994. Det var tidligere forventet en årlig utskifting av bilparken til katalysatorbiler på 7%, regnet fra 1989, men bilsalget fra 1988 til nå har vært lavere enn antatt. Dette innebærer antagelig at i underkant av 65% av bensindrevne biler antagelig vil ha katalysator i 2000, og at tilnærmet alle bilene vil ha katalysator i 2010.

Avgasskrav til dieseldrevne lastebiler fra 1994 vil etter hvert redusere NO_x (og NO₂)-utslipp fra slike biler. Med halvert NO_x-utslipp fra de nye bilene, og en utskiftingstakt på 10% pr. år, vil dette motvirke en trafikkøkning på anslagsvis 2-3% pr. år.

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).

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

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

Vegdirektoratet (1988) Vegdirektoratets anbefalinger for tunnelluft. Oslo.

Vedlegg A

Generelt om luftforurensning fra trafikk

Oversikt

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

Utslippet av NO_x og flyktige hydrokarboner (VOC) bidrar til forsuring og dannelse av troposfærisk ozon, som kan gi et bidrag til forekomsten av vegetasjonsskader. Utslippet av karbondioksid (CO₂) og andre "drivhusgasser" som metan (CH₄) og dinitrogenoksid ("lystgass", N₂O) bidrar til den oppvarming av atmosfæren som mange mener vil fortsette i tiårene som kommer. N₂O kan også delta i nedbryting av ozonlaget i stratosfæren.

Tabell A1: Viktige luftforurensningsproblemer som biltrafikken bidrar til

| Skala | Problem | Stoffer i bileksos |
|----------------------|--------------------------------|--|
| LOKAL | Helseeffekt | CO, NO ₂ , Veistøv (PM ₁₀ *), eksospartikler (PM _{2.5} *), tungmetaller (f.eks. bly), sot, VOC, tyngre organiske stoffer (f.eks. PAH) |
| | Nedsmussing | Veistøv, sot |
| | Lukt | Organiske stoffer (fra dieseleksos) |
| REGIONAL 1 000 km | Forsuring av vann og jordsmonn | S- og N-forbindelser |
| | Troposfærisk ozon | NO _x , VOC |
| GLOBAL | Drivhuseffekt | CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, CO |
| | Ozon-nedbryning | N ₂ O |

* Partikler med diameter mindre enn 2.5 eller 10 µm.

Biltrafikk og lokal luftforurensning

Generelt

De viktigste lokale luftforurensningsproblemene knyttet til biltrafikk er mulighetene for helseskade ved høye konsentrasjoner av NO₂ og partikler, samt nedsmussing og ubehag knyttet til veistøv. Biltrafikken er den dominerende kilden til stoffer som gir overskridelser av grenseverdier for luftkvalitet, lokalt i gater og i byer generelt. Dette er dokumentert bl.a. gjennom basisundersøkelser NILU har foretatt i Oslo, Bergen, Drammen og Sarpsborg/Fredrikstad.

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

PM_{10} består i hovedsak av partikler fra veidekket, mens $\text{PM}_{2,5}$ domineres av eksospartiklene. De maksimale PM_{10} -konsentrasjonene måles i perioder med stor trafikk når veiene tørker opp mot slutten av piggdekkelsesongen. Da vil det være mer veistøv enn eksospartikler i lufta.

SFT har kommet med forslag til anbefalte luftkvalitetskriterier for maksimale konsentrasjoner av CO , NO_2 , $\text{PM}_{2,5}$ og PM_{10} (SFT, 1992). Til luftkvalitetskriteriene er det knyttet en midlingstid. Det anbefales at forurensningskonsentrasjonen, målt som gjennomsnitt over den gitte midlingstiden, ikke skal overskride den gitte verdien. Helsevirkninger knyttet til overskridelse av de ulike luftkvalitetskriteriene er omtalt i SFTs rapport (SFT, 1992). Den vesentligste endringen med tanke på trafikkforurensning i forhold til det forrige settet med luftkvalitetskriterier, er at kriteriet for timemiddelkonsentrasjon av NO_2 er redusert fra 200 til 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Overskridelser av luftkvalitetskriterier for NO_2 og PM_{10} forekommer i dag relativt hyppig i byer og tettsteder. Hvilke luftkvalitetskriterier som overskrides har forandret seg de siste 10-15 årene. Tidligere forekom overskridelser av grenseverdiene for CO og bly relativt hyppig nær trafikkerte veier. CO og bly representerer ikke lenger lokale forurensningsproblemer, mens problemene knyttet til NO_2 og PM_{10} har økt i omfang. Overskridelsene av luftkvalitetskriterier for NO_2 og PM_{10} forekommer hyppigere langs veiene enn generelt i byområdene. Tabell A2 gir en oversikt over de luftkvalitetskriteriene som er aktuelle i forbindelse med forurensning fra trafikk, og i hvilke områder disse erfaringsmessig kan overskrides.

Tabell A2: *Oversikt over hvilke luftkvalitetskriterier som i dag overskrides i sentrum i byer og tettsteder. Nær middels og sterkt trafikkerte veier kan samtlige luftkvalitetskriterier overskrides.*

| Områdetype | Luftkvalitetskriterier som kan overskrides | | |
|---------------------------------------|--|-------------|------------------------------|
| | Stoff | Midlingstid | Grenseverdi |
| Bysentra, middels store og store byer | NO_2 | Time | 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ |
| | NO_2 | Døgn | 75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ |
| | PM_{10} | Døgn | 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ |
| Nær sterkt trafikkerte veier | I tillegg: | | |
| | NO_2 | Halvår | 75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ |
| | PM_{10} | Halvår | 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ |

Helseeffekter

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

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

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

Undersøkelser av effekten av NO₂ på mennesker i kontrollerte forsøk viser store variasjoner mellom forsøkspersoner. I lungefunksjonstester viser det seg at astmatikere er den mest følsomme gruppen. I sammenligninger mellom grupper av forsøkspersoner har man funnet signifikante effekter på lungefunksjon etter eksponering for 460 µg/m³ eller mer i 20 minutter lenger.

Epidemiologiske undersøkelser er blitt foretatt på befolkningsgrupper i forurensede områder, og i nyere studier har man også sammenlignet grupper eksponert for ulike NO₂-konsentrasjoner innendørs. De få epidemiologiske data som foreligger tyder på at NO₂ fra 110-150 µg/m³ kan føre til økt antall tilfeller av luftveissykdommer hos barn. Dessuten har man ved eksponering for 200 µg/m³ NO₂, sammen med andre forurensningskomponenter, funnet økt forekomst av lungesykdommer og nedsatt lungefunksjon hos barn og voksne.

Karbonmonoksid (CO): Karbonmonoksids helseskadelige virkninger skyldes at CO konkurrerer med O₂ om bindingsstedene på hemoglobinmolekylet. Derved reduseres den oksygenmengden som blodet kan transportere fra lungene til vevene i kroppen. Fordi hemoglobinet har mer enn 200 ganger større affinitet for CO enn for O₂, kan karbonmonoksid svekke oksygentransporten selv ved meget lave CO-konsentrasjoner. Foruten å senke den oksygenmengden som blodet kan transportere til vevene, hemmer CO ved sin tilstedeværelse også frigjøringen av oksygen fra hemoglobinet, og derved overføringen av O₂ til vevene.

CO i luften kan påvirke mennesker dersom gassen i tilstrekkelig grad fortrenger oksygen fra dets bindingssted på blodets hemoglobin. Opptaket av CO i kroppen skjer i to trinn; *innåndingen*, som gir økt CO-konsentrasjon i lungeblærene (alveolene), og *diffusjonen* gjennom alveoleveggen over i blodet. Både lungeventilasjonen og diffusjonshastigheten påvirker CO-opptaket. Opptaket varierer med alder, fysisk aktivitet og lungenes tilstand. Også lufttrykket, og dermed høyden over havet, har betydning for opptakshastigheten. For vurderingen av enkeltindividenes CO-eksponering i løpet av dagen er CO-opptaket, og den prosentdelen av hemoglobinet bindingskapasitet for oksygen som er blokkert av CO (COHb%), en god biologisk dose-indikator. Under opphold i luft med en konstant konsentrasjon av CO, øker COHb% i blodet i løpet av en del timer til et metningspunkt svarende til eksponeringsnivået. Den tid det tar før likevekt oppstår mellom blod og uteluft avhenger av en rekke faktorer som er nevnt ovenfor. Bindingen av CO til hemoglobinet er reversibel og forhøyet COHb% oppnådd i forurenset luft vil reduseres under påfølgende opphold i mindre forurenset luft. Halveringstiden ved utluftning under hvile er ca. 4 1/2 time.

Siden opptak og utskillelse av CO foregår relativt langsomt og konsentrasjonen av CO i luften i bymiljø varierer relativt mye fra sted til sted og fra time til time, vil CO-påvirkningen på en typisk "omflakkende" byborger vanskelig kunne forutsies på basis av et like antall faste målesteder i byen. Norsk institutt for luftforskning (NILU) foretok i 1987 målinger både innendørs og utendørs langs en av Norges mest forurensete gater, Rådhusgaten i Oslo, samtidig som det ble målt COHb% hos personer som arbeidet langs gaten. CO-konsentrasjonen utendørs i prøveperioden lå rundt 10 mg/m³ (8 timers-middel). COHb% hos ikke-røykere økte lite i løpet av dagen. Ettermiddagsverdien overkred ikke 1,5%. Økningen i COHb% var noe større de dager det ble målt høye nivåer av forurensning, men forskjellene ble ikke bedømt å ha helsemessig betydning. Videre ble det i rapporten konkludert med at CO-innholdet i blodet ble påvirket langt sterkere av røyking enn av den trafikkforurensning som ble registrert.

Anbefalte luftkvalitetskriterier er gitt i tabell A3.

Tabell A3: Anbefalte luftkvalitetskriterier.

| Komponent | Måleenhet | Virknings- område | Midlingstid | | | | | |
|-----------------|-------------------|----------------------|-------------|-----|-----|------|------|-------|
| | | | 15 min | 1 t | 8 t | 24 t | 30 d | 6 mnd |
| NO ₂ | µg/m ³ | Helse | 500 | 100 | | 75 | | 50 |
| CO | mg/m ³ | Helse | 80 | 25 | 10 | | | |



Norsk institutt for luftforskning (NILU)

Postboks 100, N-2007 Kjeller

| | | | |
|---|------------------------------------|--------------------------------------|------------------|
| RAPPORTTYPE OPPDRAKS RAPPORT | RAPPORT NR. OR 62/97 | ISBN 82-425-0929-8 ISSN 0807-7207 | |
| DATO 27.11.97 | ANSV. SIGN. <i>Oystein Horn</i> | ANT. SIDER 22 | PRIS NOK 45,- |
| TITTEL Storhaugtunnelen, Stavanger Vurdering av luftforurensning | | PROSJEKTLEDER Ivar Haugsbakk | |
| | | NILU PROSJEKT NR. O-97119 | |
| FORFATTER(E) Ivar Haugsbakk | | TILGJENGELIGHET * A | |
| | | OPPDRAKSGIVERS REF. | |
| OPPDRAKSGIVER Multiconsult AS Region Stavanger Birkelandsgate 8 4012 STAVANGER | | | |
| STIKKORD Tunnel | Forurensning | Spredningsberegninger | |
| REFERAT Tunnel er planlagt bygget gjennom bydelen Storhaug i Stavanger. Det er beregnet maksimale konsentrasjoner av CO og NO _x i tunnelen og det er beregnet minste tilstrekkelig ventilasjonshastighet i tunnelen for å overholde grenseverdier for luftkvalitet i tunnelen ved ugunstige trafikkforhold (rushtrafikk morgen/kveld). Konsentrasjonsreduksjon som funksjon av avstand fra utslippsområdet er vist og konsentrasjonene er sammenlignet med SFTs luftkvalitetskriterier. | | | |
| TITLE Air pollution from traffic in the Storhaug tunnel, Stavanger | | | |
| ABSTRACT | | | |

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