
Spredningsberegninger for utslipp fra tunnelmunninger i Hammerfest

Ivar Haugsbakk og Dag Tønnesen



Oppdragsrapport

Innhold

Side

| | |
|--|-----------|
| Innhold | 3 |
| Sammendrag | 5 |
| 1 Innledning | 7 |
| 2 Metoder og forutsetninger | 9 |
| 3 Tunnel- og trafikkdata..... | 11 |
| 4 Grenseverdier og nasjonalt mål for luftkvalitet | 11 |
| 5 Utslipp | 13 |
| 6 Resultatene fra utslippsberegningene..... | 14 |
| 7 Resultater fra spredningsberegningene | 16 |
| 8 Konklusjon..... | 18 |
| 9 Referanser | 19 |
| Vedlegg A Spredningsberegninger | 21 |
| Vedlegg B Avgassproduksjon og nødvendig ventilasjonshastighet i tunnelen..... | 27 |
| Vedlegg C Spredningsberegninger for tunneler..... | 37 |

Sammendrag

NILU- Norsk institutt for luftforskning har på oppdrag fra Statens vegvesen nord utført beregninger av produksjon og spredning av luftforurensning fra tunnelmunninger i Hammerfest. De aktuelle tunneler er Salentunnelen (1.780 m) og Fuglenestunnelen (1.450 m). Begge tunnelene har ett løp med toveis trafikk, og det er utført beregninger av produksjon av nitrogenoksider (NO_x) og svevestøv (PM₁₀) i tunnellopene, samt spredning av forurensninger fra begge tunnelmunninger for Fuglenestunnelen og Salentunnelen. Beregningene er basert på trafikk tall for 2014 og 2040, oppgitt av oppdragsgiver.

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 tunnelmunningen er beregnet for svevestøv (PM₁₀) og nitrogendioksid (NO₂) og sammenlignet med grenseverdier og Nasjonalt mål for luftkvalitet.

Konklusjon

Siden tunnelene har toveis trafikk, uten separate løp for hver kjøreretning, er de ikke selv-ventilerende med stempeleffekt, slik enveiskjørtede tunneler vil være. I beregningene har vi tatt utgangspunkt i en ventilasjonshastighet på 1,0 m/s. For PM₁₀, der kildene er vei- og dekkstøv, vil resultatene bli de samme for 2014 og 2040, mens det for NO₂ vil bli en reduksjon i utslipp fra 2014 til 2040 på grunn av nyere bilpark med bedre teknologi. For normal trafikkavvikling og kjørehastighet lik skiltet hastighet i tunnelen (60 km/t), og gitte trafikkmengder viser beregningene:

- Grenseverdien og Nasjonalt mål for svevestøv (PM₁₀) som *døgnmiddel* på 50 µg/m³ vil kunne overskrides utenfor tunnelmunning for Salentunnelen på grunn av bidraget fra trafikken opptil 5 m fra tunnelmunningene med ventilasjonshastighet 1,0 m/s. For Fuglenestunnelen vil tilsvarende avstand være 7 m.
- Grenseverdien for nitrogendioksid (NO₂) som *timemiddel* på 200 µg/m³ vil bli overskredet inntil 3 m for Salentunnelens munninger i 2014. For 2040 blir avstanden 0 m. For Fuglenestunnelen blir tilsvarende tall hhv. 7 m for 2014 og 0 m for 2040.
- Nasjonalt mål for nitrogendioksid (NO₂) som *timemiddel* på 150 µg/m³ vil bli overskredet inntil 8 m for Salentunnelens munninger i 2014. For 2040 blir avstanden 4 m. For Fuglenestunnelen blir tilsvarende tall hhv. 12 m for 2014 og 0 m for 2040.
- Målverdi for konsentrasjon av PM_{2.5} på 20 µg/m³ vil være overholdt med god margin i både 2014 og 2040 i de områdene der belastningen av NO₂ som timemiddelkonsentrasjon er under 200 µg/m³.

En dobling av ventilasjonshastigheten vil halvere munningskonsentrasjoner av NO_x og PM₁₀, og dermed gi vesentlig mindre område som belastes. Ved endret kjørehastighet og eventuell køkjøring som følge av trafikale problemer vil

spredningsforholdene endres, og det er påkrevd med viftekapasitet som kan sikre nødvendig ventilasjon i tunnelene for å hindre overskridelser av grenseverdier for tunnelluft.

Spredningsberegninger for utslipp fra tunnelmunnninger i Hammerfest

1 Innledning

NILU- Norsk institutt for luftforskning har på oppdrag fra Statens vegvesen nord utført beregninger av produksjon og spredning av luftforurensning fra tunnelmunnninger i Hammerfest. De aktuelle tunneler er Salentunnelen (1.780 m) og Fuglenestunnelen (1.450 m). Begge tunnelene har ett løp med toveis trafikk, og det er utført beregninger av produksjon av nitrogenoksider (NO_x) og svevestøv (PM_{10}) i tunnellopene, samt spredning av forurensninger fra begge tunnelmunnninger for Fuglenestunnelen og for Salentunnelen.

Beregningene er basert på trafikk tall oppgitt av oppdragsgiver for 2014 og 2040. Krav til ventilasjon og behov for utlufting og tilførsel av ventilasjonsluft er beregnet for rushtidstrafikk. Forurensningsbelastningen ved tunnelmunningene er beregnet for svevestøv (PM_{10}) og nitrogendioksid (NO_2). På bakgrunn av forventet kjøretøy-sammensetning for beregningsårene og de ulike kjøretøyklassenes forventede NO_2 -andel (Hagman et al., 2011), vil 15 - 20% av utslippet av nitrogenoksider ($\text{NO}_x = \text{NO} + \text{NO}_2$) fra biltrafikken bestå av nitrogendioksid (NO_2). NO_2 i bileksosen gir vanligvis de høyeste forurensningskonsentrasjoner i forhold til anbefalte retningslinjer for timeverdier i uteluft og grenseverdier for luftkvalitet i tunneler ved lave kjørehastigheter. PM_{10} blir begrensende komponent ved høye hastigheter – det vil si konsentrasjonen av denne komponenten avgjør nødvendig ventilasjonshastighet i forhold til grenseverdiene. Grenseverdier og Nasjonalt mål for luftkvalitet er omtalt i kapittel 4. Kriterier for gul og rød luftzone er også omtalt der.

2 Metoder og forutsetninger

I beregningene er det benyttet samme metoder som er benyttet ved tilsvarende tunneler (Larssen og Iversen, 1984; Larssen, 1987; Tønnesen, 1988). Beregningsmetoden er kontrollert ved målinger utført blant annet ved tunneler i Oslo (Peterson og Tønnesen, 1990). Beregningene har omfattet følgende:

1. Med utgangspunkt i trafikk- og tunneldata mottatt fra oppdragsgiver, samt utslippsfaktorer for lette og tunge diesel- og bensinbiler, har vi beregnet utslipp av PM_{10} og NO_x i tunnelene. Utslippsfaktorer er basert på Hagman et al., (2011).
2. Basert på beregningene av utslipp av NO_x og PM_{10} er det beregnet nødvendig ventilasjonshastighet for å overholde grenseverdier i tunnelen.
3. Konsentrasjonene av PM_{10} og NO_2 utenfor munningene er beregnet ved hjelp av en modell som beskriver spredning av forurensninger fra tunneler (Iversen, 1982).
4. Tilleggskonsentrasjon fra andre forurensningskilder enn tunnelen er vurdert og lagt til tunnelbidraget.
5. Beregnete konsentrasjoner av PM_{10} og NO_2 fra munningene er sammenlignet med norske grenseverdier og nasjonalt mål for luftkvalitet gitt i kapittel 4. Det er også utført beregninger i forhold til retningslinje T-1520, og utbredelse av luftforurensning er vist i vedlegg A, figur A1 og A2.
6. Utslipp av $PM_{2.5}$ er beregnet og sammenlignet med utslipp av NO_2 . Basert på beregnet maksimal timemiddelkonsentrasjon av NO_2 er det gjort en overordnet beregning av årlig middelvei for $PM_{2.5}$. Denne metoden er anvendt fordi grenseverdien for $PM_{2.5}$ er en årlig middelvei, mens beregningsprogrammet er laget for time- og døgnmiddelveier.

3 Tunnel- og trafikkdata

Tunneltraséer er vist i Figur 3-1. Nødvendige tegninger og tallmateriale angående veigeometri og trafikksammensetning er gitt av oppdragsgiver. Beregningene er utført med hensyn til ettermiddagsrush for 2014 og 2040.

Uten separate løp for de to kjøreretningene vil trafikken ikke kunne generere en pumpevirkning/stempeleffekt fra trafikken. Det vil derfor være nødvendig med viftekapasitet for å ventilere og fortynne forurensninger fra biltrafikken til under grenseverdier for luftkvalitet i tunneler fastsatt av Vegdirektoratet. Dette ligger inne i programvaren som benyttes til å beregne produksjon av forurensende utslipp fra trafikken gjennom tunnelen. Ved kødannelse må vifteanlegget ha nødvendig kapasitet for tilstrekkelig ventilasjon i tunnelen.

Figur 3-1: Tunneltraséer i Hammerfest.



4 Grenseverdier og nasjonalt mål for luftkvalitet

Luftkvaliteten i et område vurderes ved å sammenligne målinger eller beregninger av konsentrasjoner av luftforurensning med grenseverdier for virkning på helse og/eller vegetasjon. Begrepene grenseverdi og nasjonalt mål er tallverdier for forurensningsgrad. Grenseverdier er juridisk bindende, mens nasjonalt mål er en målsetning. Grenseverdiene i Norge er fastsatt av Miljøverndepartementet, Forskrift for lokal luftkvalitet.

Tabell 4-1 viser grenseverdier og nasjonalt mål for luftkvalitet for de aktuelle komponenter. I denne rapporten har vi i første rekke sammenlignet beregnede konsentrasjoner med grenseverdier¹ men også med nasjonalt mål for luftkvalitet².

¹ Forurensningsforskriften kap. 7 (del 3). Miljøverndepartementet (1999) Mål for forbedret luftkvalitet. St.meld. nr 8 (1999 – 2000).

Regjeringens miljøvernpolitikk og rikets miljøtilstand, 29. okt 1999.

² Regjeringens miljøvernpolitikk og rikets miljøtilstand, 29. okt 1999.

Tabell 4-1: Grenseverdier og Nasjonalt mål for luftkvalitet. Tallene i parentes viser hvor mange ganger grenseverdien tillates overskredet hvert år.

| Komponent | Enhet | Midlingstid | Norske grenseverdier | Nasjonalt mål |
|-------------------|-------------------|-------------|------------------------|---------------|
| NO ₂ | µg/m ³ | Time | 200 (18) | 150 (8) |
| | µg/m ³ | År | 40 | |
| PM ₁₀ | µg/m ³ | Døgn | 50 (35) | 50 (7) |
| | µg/m ³ | År | 40 | |
| PM _{2.5} | µg/m ³ | År | 25¹⁾ | |

1) Gjeldende fra 1.1.2015

Grenseverdier er generelt skjerpet de siste tiårene. Dette gjelder grenseverdier satt av både WHO, EU og Norge. Forskriften med grenseverdier, vedtatt ved Kgl. Res. 4. oktober 2002 er lik EUs grenseverdier (2008/50/EF).

Nasjonalt mål for luftkvaliteten i byer og tettsteder ble vedtatt av Regjeringen høsten 1998. Nasjonalt mål er i hovedsak litt strengere enn forskriften. Forskriften og nasjonalt mål tillater et visst antall overskridelser pr. år for NO₂ og PM₁₀, som vist i tabell 4-1.

Retningslinje for behandling av luftforurensning i arealplanlegging (T-1520) definerer rød og gul sone for luftkvalitet for årsmiddel og vintermiddel av NO₂ og fra den 7. høyeste døgnmiddelkonsentrasjonen av PM₁₀. Rød sone er definert ved at årsmiddelverdi av NO₂ er på over 40 µg/m³ eller at den 7. høyeste døgnmiddelverdien av PM₁₀ er over 50 µg/m³. I rød sone bør det ikke være luftfølsom bebyggelse, som boliger, sykehus, barnehager og idrettsanlegg. Gul sone er definert ved at vintermiddelkonsentrasjonen av NO₂ er over 40 µg/m³ eller at den 7. høyeste døgnmiddelverdien PM₁₀ er over 35 µg/m³. I gul sone bør det gjøres nærmere vurderinger før oppføring av ny luftfølsom bebyggelse.

Tabell 4-2 Luftforurensningszone – gul og rød sone

| Komponent | Luftforurensningszone ¹ | |
|--------------------|---|--|
| | Gul sone | Rød sone |
| PM ₁₀ | 35 µg/m ³ 7 døgn per år | 50 µg/m ³ 7 døgn per år |
| NO ₂ | 40 µg/m ³ vintermiddel ² | 40 µg/m ³ årsmiddel |
| Helserisiko | | |
| | Personer med alvorlig luftveis- og hjertekarsykdom har økt risiko for forverring av sykdommen. Friske personer vil sannsynligvis ikke ha helseeffekter. | Personer med luftveis- og hjertekarsykdom har økt risiko for helseeffekter. Blant disse er barn med luftveislidelser og eldre med luftveis- og hjertekarlidelser mest sårbare. |

¹ Bakgrunnskonsentrasjonen er inkludert i sonegrensene.

² Vintermiddel defineres som perioden fra 1.nov til 30. april.

5 Utslipp

Utslipp av PM₁₀ og NO_x er beregnet for tiden med størst trafikkbelastning, rushtid om ettermiddagen, med følgende inngangsdata:

1. Trafikktall, maksimal timetrafikk om ettermiddagen.
2. Tunneldata (lengde, tverrsnittsareal, stigning).
3. Tungtrafikkandel 10 %.
4. Piggdekkandel 80 %.
5. Dieselandel 52 %.
6. Kjøretøysammensetning i 2014 og 2040.

Kjøretøysammensetning i 2014 er basert på sammensetningene i 2010 og 2020 (Hagman et al., 2011). I 2040 er det forutsatt at alle kjøretøy har Euro6 teknologi.

6 Resultatene fra utslippsberegningene

Resultatene fra utslippsberegningene er vist i Tabell 6-1. Detaljerte beregningsresultater for de enkelte tunnellopene er vist i vedlegg B. NO₂- og PM₁₀-konsentrasjoner i ventilasjonsluften ved munningene er beregnet for prosjekterte trafikkmengder og ulike hastigheter. Tabell 2 viser resultatet av beregningene for skiltet kjørehastighet (60 km/t). Munningskonsentrasjonene skal i utgangspunktet beregnes ut fra Vegdirektoratets grenseverdier for tunnelluft og derav nødvendig ventilasjonshastighet. Uten separate tunnellop for begge kjøreretningene, vil det ikke bli pumpevirkning/stempeleffekt fra trafikken, og nødvendig ventilasjonshastighet må besørges av vifter for å ventilere tunnelen. Luftstrømmen inne i tunnelen og i umiddelbar nærhet av munningen vil være tilnærmet upåvirket av vindretninger og vindhastigheter i friluft.

Tabell 6-1: *Maksimale munningskonsentrasjoner ved rushtidstrafikk. Alle konsentrasjoner som timemidler.*

| Tunnelmunning | Ventilasjons hastighet** (m/s) | Munningskonsentrasjoner* | |
|-------------------------|--------------------------------------|--|---|
| | | PM ₁₀ (µg/m ³) | NO ₂ (µg/m ³) |
| Salentunnelen | | | |
| 60 km/t* 2014 | 1,00 | 105 | 226 |
| 60 km/t* 2040 | 1,00 | 105 | 174 |
| Fuglenestunnelen | | | |
| 60 km/t* 2014 | 1,00 | 150 | 298 |
| 60 km/t* 2040 | 1,00 | 150 | 139 |

*Utslipet av NO₂ avtar med høyere hastighet. For PM₁₀ er det omvendt.

**Ingen stempeleffekt fra trafikken – nødvendig ventilasjonshastighet

En lavere tungtrafikkandel vil gi mindre utslipp av NO_x. Det vil vanligvis være NO_x-utslippene som avgjør nødvendige luftstrøms-hastigheter for å overholde grenseverdier for luftkvalitet i tunneler ved lave hastigheter, og PM₁₀ ved høyere hastigheter.

Årlig middelutslipp av PM_{2.5} (eksospartikler og vegstøv) er beregnet til 10 % av NO₂-utslippet. Dette er et konservativt estimat basert på utslippsfaktorer for NO₂ og eksospartikler for de aktuelle kjøretøysammensetningene.

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

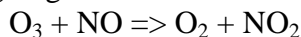
7 Resultater fra spredningsberegningene

NO₂- og PM₁₀-konsentrasjoner i ventilasjonsluften i munningene er beregnet for prosjekterte trafikkmengder og hastigheter i begge kjøre-retninger. Tabell 7-1 viser resultatet av beregningene. Det er tatt utgangspunkt i skiltet kjørehastighet, 60 km/t.

Basert på utslippsberegningen er det foretatt spredningsberegning for å estimere hvilken avstand fra tunnelmunningene konsentrasjoner av PM₁₀ og NO₂ er redusert til et nivå lik grenseverdier og Nasjonalt mål for uteluft/grenseverdier.

I beregningene er det også tatt hensyn til bakgrunnsnivå av forurensete komponenter. Bakgrunnskonsentrasjoner representerer i dette tilfellet en maksimal konsentrasjon som skyldes andre kilder utenfor tunnelmunningen. Vi har regnet med et bakgrunnsnivå på 5,4 µg NO₂/m³ som timemiddel og 6,6 µg PM₁₀/m³ som døgnmiddel ved tunnelmunninger (Hak, C 2013). Det er også regnet med et bakgrunnsnivå av ozon på 60 µg/m³.

Ozon reagerer med nitrogenmonoksid og danner oksygen og nitrogendioksid etter ligningen:



Det teoretiske maksimalnivået for NO₂-bidrag fra andre kilder blir dermed 65,4 µg NO₂/m³. Dette forutsetter imidlertid at det er nok O₃ til stede.

Det er ellers ikke tatt hensyn til direkte bidrag fra andre veier i nærheten eller andre forureningskilder fordi disse bidragene inngår i bakgrunnsnivået. Nødvendig spredningsavstand fra tunnelmunning for at konsentrasjon av PM₁₀ og NO₂ er redusert til gitte nivå, er vist i tabell 7-1.

Maksimalkonsentrasjonene forekommer i rushtiden og ved dårlige spredningsforhold, det vil si for svak vindstyrke. Ved sterkere vind blir spredningen bedre, og området med høye konsentrasjoner mindre.

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

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

Figur A1 og A2 i vedlegg A viser maksimal utbredelse av forurensning tilsvarende grenseverdi for PM₁₀ som døgnmiddel utenfor tunnelmunningen og grenseverdi for NO₂ som timemiddel. I vedlegg C er forutsetninger omkring spredning rundt tunnelmunningene forklart mer detaljert.

Figur A 1 og A 2 i vedlegg A viser rød og gul sone i henhold til T-1520.

Tabell 7-1: Nødvendig spredningsavstand fra tunnelmunning for at konsentrasjoner av PM_{10} og NO_2 er redusert til gitte nivåer. Verdier for PM_{10} gjelder døgnmiddel og NO_2 som timemiddel. Se også Figurer i vedlegg A.

| Tunnel | Lengde av jettfase (m) | Ventilasjons-hastighet (m/s) | Nødvendig spredningsavstand for å komme ned på luftkvalitetsnivå (m) | | | |
|-------------------------|------------------------|------------------------------|--|--|--|--|
| | | | PM_{10} (50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) | NO_2 (100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) | NO_2 (150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) | NO_2 (200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) |
| Salentunnelen | | | | | | |
| 2014 - 60 km/t | 0 | 1,0 | 5 | 16 | 8 | 3 |
| 2040- 60 km/t | 0 | 1,0 | 5 | 10 | 4 | 0 |
| Fuglenestunnelen | | | | | | |
| 2014- 60 km/t | 0 | 1,0 | 7 | 22 | 12 | 7 |
| 2040- 60 km/t | 0 | 1,0 | 7 | 7 | 0 | 0 |

Grenseverdien for $PM_{2.5}$ er en årlig middelværdi, mens beregningsprogrammet er laget for time- og døgnmiddelværdier. Derfor er årlig middelkonsentrasjon for $PM_{2.5}$ estimert. Siden både NO_2 og $PM_{2.5}$ har eksosutslippet som viktigste kilde er estimatet basert på beregnede NO_2 -verdier og forholdet mellom utslippsfaktorer for $PM_{2.5}$ og NO_2 . En skalering av timemiddelkonsentrasjon for NO_2 med forholdet mellom maksimalt timeutslipp og gjennomsnittlig årlig utslipp, samt med forholdet mellom utslipp av $PM_{2.5}$ og NO_2 , viser at en timemiddelkonsentrasjon av NO_2 på 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ svarer til en årlig middelkonsentrasjon av $PM_{2.5}$ på under 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Målværdi for konsentrasjon av $PM_{2.5}$ for 2040 på 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ vil derfor være overholdt med god margin i de områdene der belastningen av NO_2 som timemiddelkonsentrasjon er under 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Utbredelse av rød og gul luftkvalitetssone vil være bestemt av PM_{10} -konsentrasjonene. For Salentunnelen strekker rød sone seg ut til 5 m fra munningen og gul sone til 7 m. For Fuglenestunnelen er utbredelse av rød og gul sone henholdsvis 7 m og 8 m fra munningen. På grunn av at soneutbredelsen er såpass begrenset, er formen på utbredelsen lite avhengig av de dominerende vindretningene.

8 Konklusjon

Siden tunnelene har toveis trafikk uten separate løp for hver kjøreretning, er de ikke selv-ventilerende med stempeleffekt, slik enveiskjorte tunneler vil være.

I beregningene har vi tatt utgangspunkt i en ventilasjonshastighet på 1,0 m/s. For PM₁₀ der de dominerende kildene er vei og dekkstøv, vil resultatene bli de samme for 2014 og 2040, mens det for NO₂ vil bli en reduksjon i utslipp fra 2014 til 2040 på grunn av nyere bilpark med bedre teknologi. Imidlertid er utslippsreduksjonen beregnet her basert på de strengeste kravene til utslipp fra dagens bilpark, Euro 6-krav. Eventuelle ytterligere forbedringer i teknologi fram til 2040 er det ikke tatt hensyn til. For normal trafikkavvikling og kjørehastighet lik skiltet hastighet i tunnelen (60 km/t), og gitte trafikkmengder viser beregningene:

- Grenseverdien og nasjonalt mål for svevestøv (PM₁₀) som *døgnmiddel* på 50 µg/m³ vil kunne overskrides utenfor tunnelmunning for Salentunnelen på grunn av bidraget fra trafikken opptil 5 m fra tunnelmunningene med ventilasjonshastighet 1,0 m/s.

For Fuglenestunnelen vil tilsvarende avstand være 7 m.

- Grenseverdien for nitrogendioksid (NO₂) som *timemiddel* på 200 µg/m³ vil bli overskredet inntil 3 m for Salentunnelens munnings i 2014. For 2040 blir avstanden 0 m. For Fuglenestunnelen blir tilsvarende tall hhv. 7 m for 2014 og 0 m for 2040.
- Nasjonalt mål for nitrogendioksid (NO₂) som *timemiddel* på 150 µg/m³ vil bli overskredet inntil 8 m for Salentunnelens munnings i 2014. For 2040 blir avstanden 4 m. For Fuglenestunnelen blir tilsvarende tall hhv. 12 m for 2014 og 0 m for 2040.
- Målverdi for konsentrasjon av PM_{2.5} for 2014 og 2040 på 20 µg/m³ vil være overholdt med god margin i de områdene der belastningen av NO₂ som timemiddelkonsentrasjon er under 200 µg/m³.

En dobling av ventilasjonshastigheten vil halvere munningskonsentrasjoner av NO_x og PM₁₀, og dermed gi vesentlig mindre område som belastes. Ved endret kjørehastighet og eventuell køkjøring som følge av trafikale problemer vil spredningsforholdene endres, og det er påkrevd med viftekapasitet som kan sikre nødvendig ventilasjon i tunnelene for å hindre overskridelser av grenseverdier for tunneluft.

Utbredelse av rød og gul luftkvalitetssone vil være bestemt av PM₁₀-konsentrasjonene. For Salentunnelen strekker rød sone seg ut til 5 m fra munningen og gul sone til 7 m. For Fuglenestunnelen er utbredelse av rød og gul sone henholdsvis 7 m og 8 m fra munningen.

9 Referanser

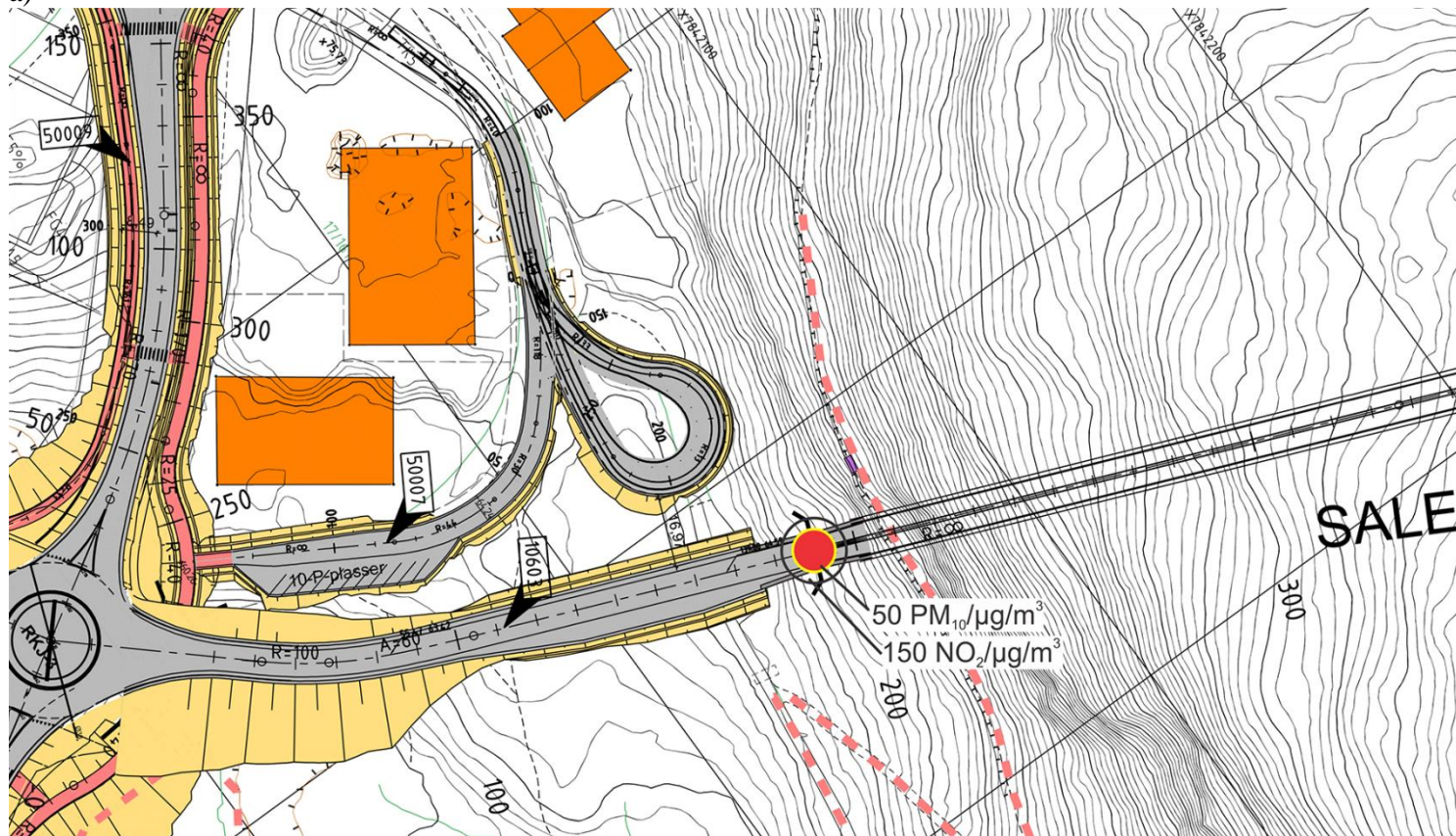
- Hagman, R., Gjerstad, K.I., Amundsen, A.H. (2011) NO₂-utslipp fra kjøretøyparken i norske storbyer. Utfordringer og muligheter frem mot 2025. Oslo, Transportøkonomisk institutt (TØI rapport 1168/2011).
- Hak, C., (2013) Måledata juli 2011 – juni 2012. Miljøovervåking av utslipp til luft fra Snøhvit-Hammerfest LNG. Kjeller, NILU (NILU OR 3/2013).
- Folkehelseinstituttet (2013) Luftkvalitetskriterier. Virkninger av luftforurensning på helse. Oslo, Nasjonalt folkehelseinstitutt (Rapport 2013:9).
- Peterson, H.G., Tønnesen, D. (1990) A tracer investigation of traffic emissions from the Vålerenga tunnel at Etterstad. Lillestrøm, NILU (NILU OR 39/90).
- Larssen, S. (1987) Vålerenga-tunnelen, Oslo. Reviderte beregninger av luftforurensninger ved munningene. Lillestrøm, NILU (NILU OR 33/87).
- Larssen, S., Iversen, T. (1984) Vurdering av luftforurensning ved veitunneler gjennom Vålerenga og Gamlebyen. Lillestrøm, NILU (NILU OR 52/84).
- Statens vegvesen (2014) Vegtunneler. Normal. Oslo (Håndbok N500).

Vedlegg A

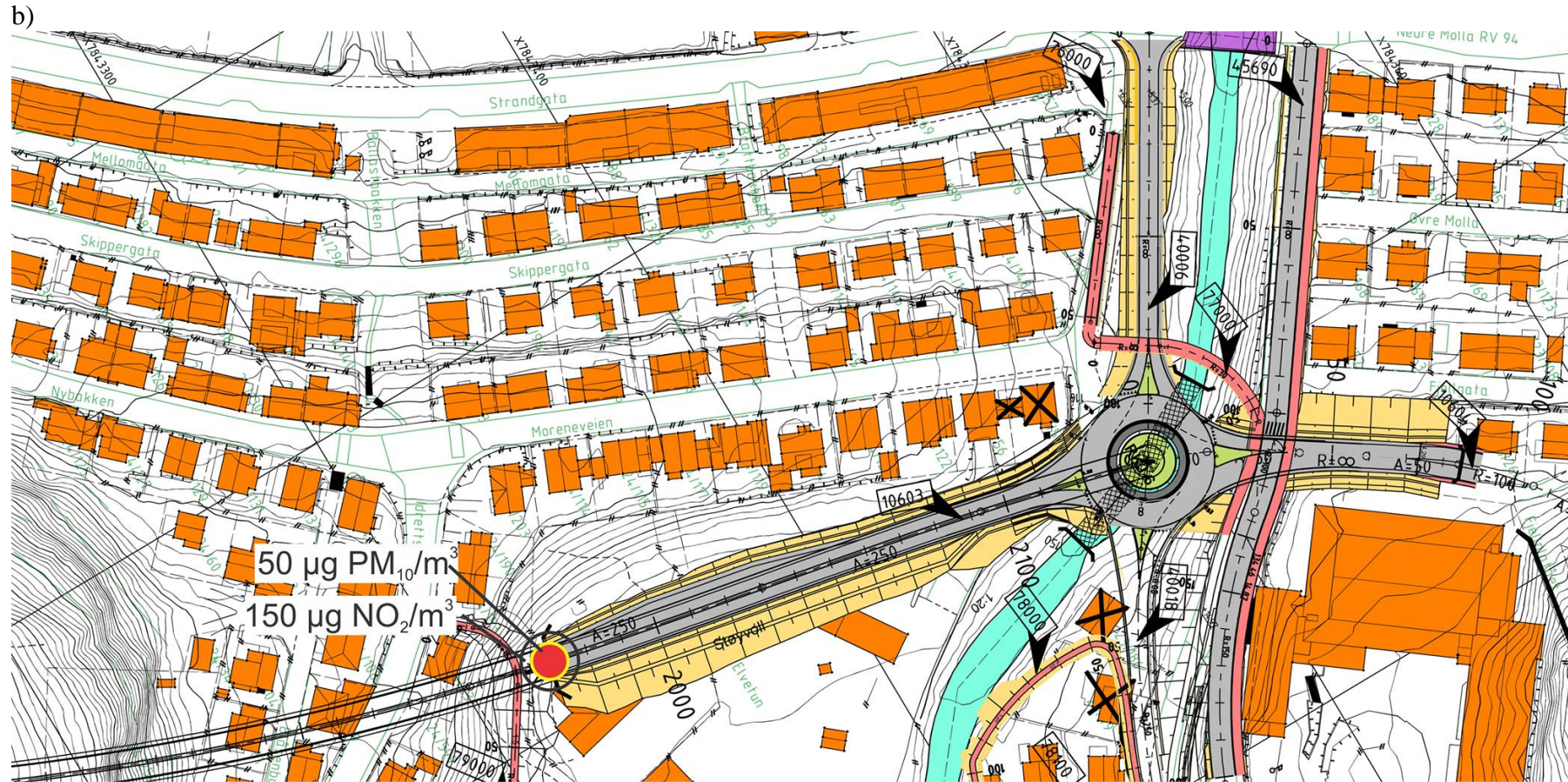
Spredningsberegninger

Salentunnelen er en to-felts, toveiskjørt tunnel med et tverrsnitt på 78,8 kvadratmeter. Den er 1.780 m lang, med en maksimal stigning på 4,81% sørover fra Hammerfest.

a)



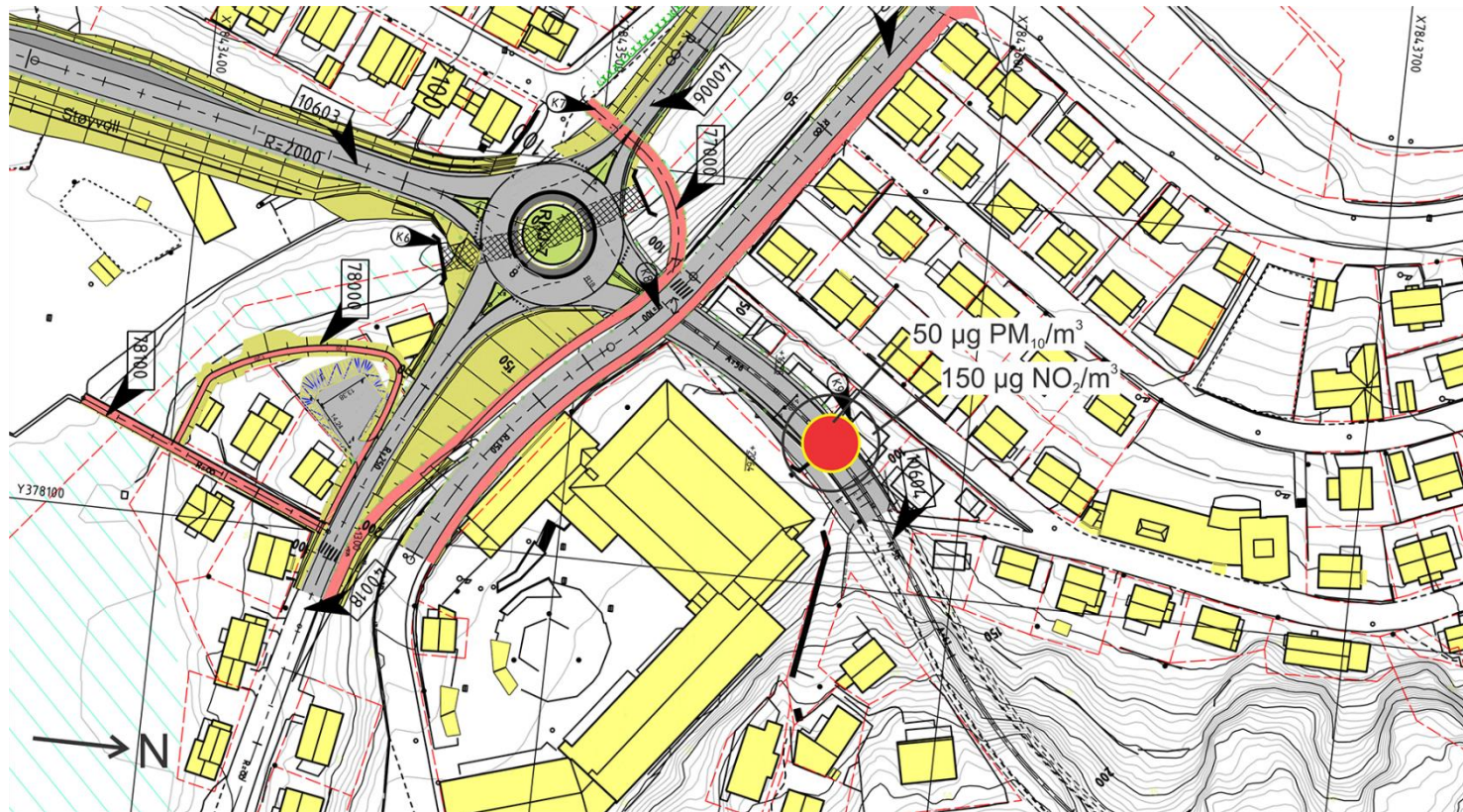
Figur A 1: Spredningsberegninger for Salentunnelens søndre munning (a) og nordre munning (b) for trafikktall for 2014. Utbredelse av $50 \mu\text{g PM}_{10}/\text{m}^3$ som døgnmiddel og utbredelse av $150 \mu\text{g NO}_2/\text{m}^3$ som timemiddel. Rød og gul sone er også inntegnet.



Figur A 1 forts.

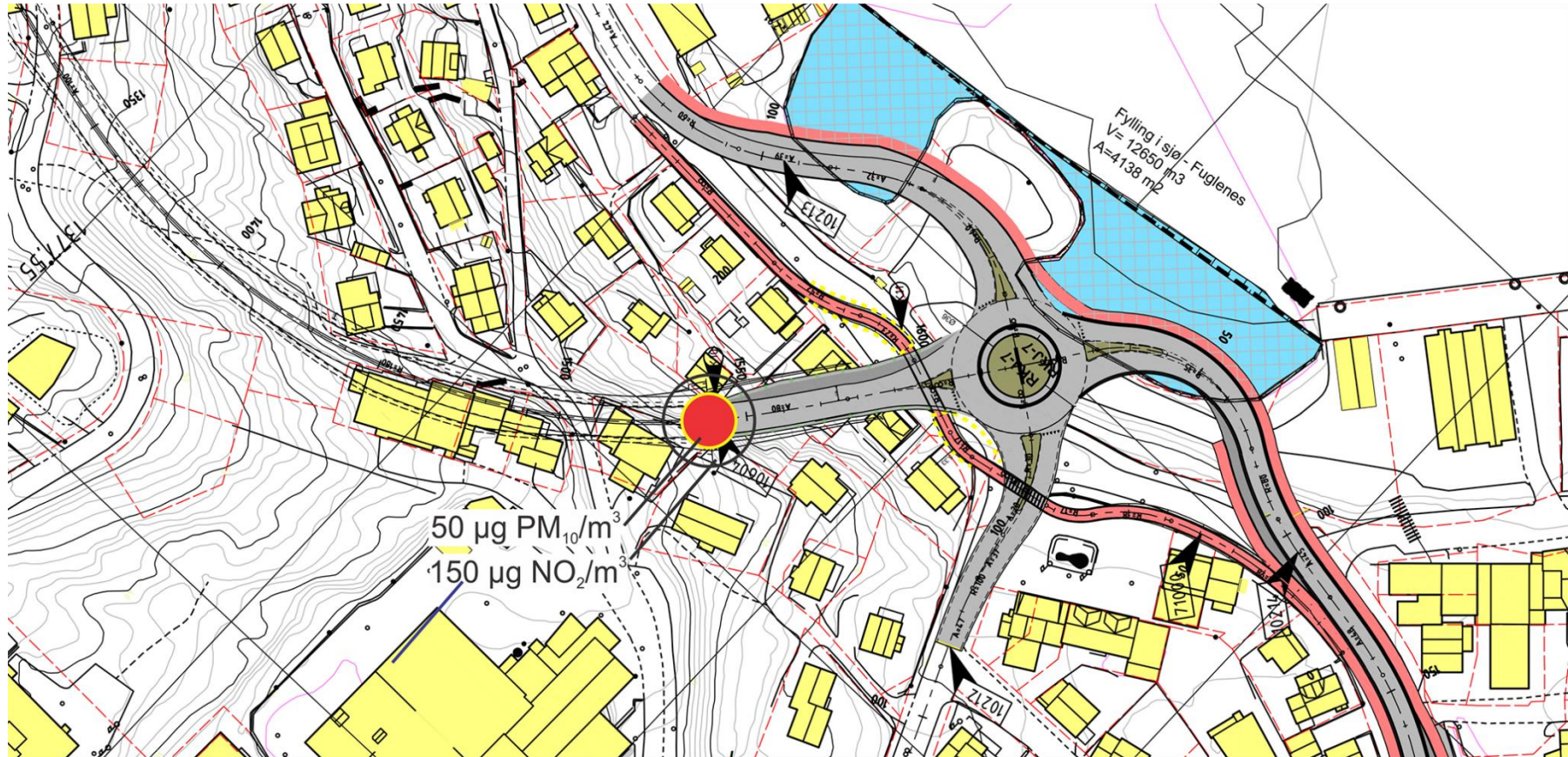
Fuglenestunnelen er en to-felts, toveiskjørt tunnel med et tverrsnitt på 78,8 kvadratmeter. Den er 1.450 m lang, med en maksimal stigning på 1,63% nordover fra Hammerfest.

a)



Figur A 2: Spredningsberegninger for Fuglenestunnelens munning i sør mot Hammerfest a) og b) i nord. Utbredelse av 50 $\mu\text{g PM}_{10}/\text{m}^3$ som døgnmiddel og utbredelse av 150 $\mu\text{g NO}_2/\text{m}^3$ som timemiddel. Rød og gul sone er også inntegnet.

b)



Figur A 2 forts.

Vedlegg B

Avgassproduksjon og nødvendig ventilasjons hastighet i tunnelen

Forklaring trafikksammensetning (se neste side)

DPD = dieselandel lette biler

DL = dieseler lange (>10 tonn, 10 – 20 tonn, >20 tonn)

SALENTUNNELEN

BEREGNINGSÅR: 2014

TRAFIKKSAMMENSETNING:

| | | | |
|-----|-------|---------|-------|
| DPD | DL<10 | DL10-20 | DL>20 |
| 52. | 5. | 3. | 2. |

VEGSEGMENTER:

DEL TRAF. LENGDE PROFIL

| | | | |
|---|------|------|-------|
| 1 | 80. | 0,20 | 0,00 |
| 2 | 175. | 0,93 | -4,31 |
| 3 | 200. | 0,85 | -2,34 |
| 4 | 175. | 0,93 | 4,31 |
| 5 | 200. | 0,85 | 2,34 |

HASTIGHET PM10-PROD(G/S) NOX-PROD(G/S)

| | | |
|----|-------|-------|
| 10 | 0,008 | 0,312 |
| 20 | 0,008 | 0,248 |
| 30 | 0,009 | 0,219 |
| 40 | 0,007 | 0,142 |
| 50 | 0,008 | 0,119 |
| 60 | 0,008 | 0,088 |
| 70 | 0,010 | 0,085 |
| 80 | 0,012 | 0,084 |
| 90 | 0,015 | 0,082 |

VENTILASJON OG MUNNINGSKONSENTRASJONER:
 PM10 ER GITT I mg/m³ , NO_x ER GITT I mg/m³

TUNNELAREAL: 78.8 M**2

NØDV. VENTILASJON FRA STØV ER TOTALT STØV!

| TRAFIKK- HAST. | PUMPE- VIRKN. | NØDVEN. VENT.H. | MUNNINGSKONSENTRASJONER | | | |
|-------------------|------------------|--------------------|-------------------------|--------|---------|--------|
| | | | PM10(P) | NOX(P) | PM10(N) | NOX(N) |
| 10 | 0,00 | 0,14 - | 1.000 - | 1.000 | 0,679 | 28.000 |
| 20 | 0,00 | 0,11 - | 1.000 - | 1.000 | 0,905 | 28.000 |
| 30 | 0,00 | 0,10 - | 1.000 - | 1.000 | 1,119 | 28.000 |
| 40 | 0,00 | 0,06 - | 1.000 - | 1.000 | 1,378 | 28.000 |
| 50 | 0,00 | 0,06 - | 1.000 - | 1.000 | 1,500 | 23.528 |
| 60 | 0,00 | 0,07 - | 1.000 - | 1.000 | 1,500 | 15.579 |
| 70 | 0,00 | 0,09 - | 1.000 - | 1.000 | 1,500 | 12.507 |
| 80 | 0,00 | 0,11 - | 1.000 - | 1.000 | 1,500 | 10.131 |
| 90 | 0,00 | 0,13 - | 1.000 - | 1.000 | 1,500 | 8.169 |

FUGLENESTUNNELEN

BEREGNINGÅR: 2014

TRAFIKKSAMMENSETNING:

| | | | |
|-----|-------|---------|-------|
| DPD | DL<10 | DL10-20 | DL>20 |
| 52. | 5. | 3. | 2. |

VEGSEGMENTER:

DEL TRAF. LENGDE PROFIL

| | | | | |
|---|------|------|---|------|
| 1 | 335. | 0,71 | | 1,63 |
| 2 | 335. | 0,74 | - | 1,57 |
| 3 | 335. | 0,71 | - | 1,63 |
| 4 | 335. | 0,74 | | 1,57 |

HASTIGHET PM10-PROD(G/S) NOX-PROD(G/S)

| | | |
|----|-------|-------|
| 10 | 0,011 | 0,442 |
| 20 | 0,011 | 0,348 |
| 30 | 0,013 | 0,303 |
| 40 | 0,010 | 0,193 |
| 50 | 0,011 | 0,156 |
| 60 | 0,012 | 0,114 |
| 70 | 0,015 | 0,110 |
| 80 | 0,018 | 0,109 |
| 90 | 0,022 | 0,107 |

VENTILASJON OG MUNNINGSKONSENTRASJONER:

PM10 ER GITT I mg/m³ , NO_x ER GITT I mg/m³

TUNNELAREAL: 78.8 M**2

| NØDV. TRAFIKK- HAST. | VENTILASJON PUMPE- VIRKN. | FRA STØV NØDVEN. VENT.H. | ER TOTALT STØV! | | | |
|----------------------------|---------------------------------|--------------------------------|-------------------------|--------|---------|--------|
| | | | MUNNINGSKONSENTRASJONER | | | |
| | | | PM10(P) | NOX(P) | PM10(N) | NOX(N) |
| 10 | 0,00 | 0,20 | -1.000 | -1.000 | 0,683 | 28.000 |
| 20 | 0,00 | 0,16 | -1.000 | -1.000 | 0,921 | 28.000 |
| 30 | 0,00 | 0,14 | -1.000 | -1.000 | 1,158 | 28.000 |
| 40 | 0,00 | 0,09 | -1.000 | -1.000 | 1,462 | 28.000 |
| 50 | 0,00 | 0,09 | -1.000 | -1.000 | 1,500 | 21.381 |
| 60 | 0,00 | 0,10 | -1.000 | -1.000 | 1,500 | 13.991 |
| 70 | 0,00 | 0,13 | -1.000 | -1.000 | 1,500 | 11.101 |
| 80 | 0,00 | 0,15 | -1.000 | -1.000 | 1,500 | 8.993 |
| 90 | 0,00 | 0,18 | -1.000 | -1.000 | 1,500 | 7.318 |

SALENTUNNELEN 2014 (timemiddelverdier av NO₂)

| | |
|------------------------------------|-------------------------|
| Vindhastighet | 1,0 m/s |
| Vindhastighet korrigert | 0,4 m/s |
| Tunnel ventilasjon Jet hastighet | 1,0 m/s |
| Areal av tunnelåpningen | 78,8 m ² |
| Timemiddelkons. i tunnelåpningen | 226,0 ug/m ³ |
| Største høyde (gulv-tak) i tunnel: | 4,8 m |
| Timemiddel bakgrunnskonsentrasjon: | 6,0 ug/m ³ |
| Avstand til slutten av Jet-fasen | 0,0 m |

Avstand som funksjon av gitte timemiddelkonsentrasjoner (inkl. bakgrunn) av NO₂

| Konsentrasjon (ug/m ³) | Avstand (m) |
|------------------------------------|-------------|
| 200,0 | 3,0 |
| 150,0 | 7,7 |
| 100,0 | 15,9 |

SALENTUNNELEN 2014 OG 2040 (timemiddelverdier av PM₁₀)

| | |
|-----------------------------------|-------------------------|
| Vindhastighet | 1,0 m/s |
| Vindhastighet korrigert | 0,4 m/s |
| Tunnel ventilasjon Jet hastighet | 1,0 m/s |
| Areal av tunnelåpningen | 78,8 m ² |
| Timemiddelkons. i tunnelåpningen | 105,0 ug/m ³ |
| Største høyde (gulv-tak) i tunnel | 4,8 m |
| Døgnmiddel bakgrunnskonsentrasjon | 7,0 ug/m ³ |
| Avstand til slutten av Jet-fasen | 0,0 m |

Avstand som funksjon av gitte døgnmiddelkonsentrasjoner (inkl. bakgrunn) av PM₁₀ for 12 vindretninger

Konsentrasjon (ug/m³) Vindretning (grader)

| | 030 | 060 | 090 | 120 | 150 | 180 | 210 | 240 | 270 | 300 | 330 | 360 |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 150,0 | -1. | -1. | -1. | -1. | - | 1. | -1. | - | 1. | -1. | - | 1. |
| 100,0 | 1. | 1. | 1. | 1. | 1. | 1. | 1. | 1. | 1. | 1. | 1. | 1. |
| 75,0 | 4. | 4. | 4. | 4. | 4. | 4. | 4. | 4. | 4. | 4. | 4. | 4. |
| 50,0 | 6. | 6. | 6. | 6. | 6. | 6. | 6. | 6. | 6. | 6. | 6. | 6. |
| 35,0 | 8. | 8. | 8. | 8. | 8. | 8. | 8. | 8. | 8. | 8. | 8. | 8. |

Forekomst (antall timer) med svak vind oppgitt for hver 30 graders retning

| | | | | | | | | | | | | |
|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 8,0 | 6,0 | 3,0 | 4,0 | 8,0 | 6,0 | 4,0 | 8,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 |
|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|

FUGLENESTUNNELEN 2014 OG 2040 (døgnmiddelverdier av PM₁₀)

| | |
|-----------------------------------|-------------------------|
| Vindhastighet | 1,0 m/s |
| Vindhastighet korrigert | 0,4 m/s |
| Tunnel ventilasjon Jet hastighet | 1,0 m/s |
| Areal av tunnelåpningen | 78,8 m ² |
| Timemiddelkons. i tunnelåpningen | 150,0 ug/m ³ |
| Største høyde (gulv-tak) i tunnel | 4,8 m |
| Døgnmiddel bakgrunnskonsentrasjon | 7,0 ug/m ³ |
| Avstand til slutten av Jet-fasen | 0,0 m |

Avstand som funksjon av gitte døgnmiddelkonsentrasjoner (inkl. bakgrunn) av PM₁₀ for 12 vindretninger

Konsentrasjon (ug/m₃) Vindretning (grader)

| | 030 | 060 | 090 | 120 | 150 | 180 | 210 | 240 | 270 | 300 | 330 | 360 |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 150,0 | 1. | 0. | 0. | 0. | 1. | 0. | 0. | 1. | 0. | 0. | 0. | 0. |
| 100,0 | 4. | 4. | 4. | 4. | 4. | 4. | 4. | 4. | 4. | 4. | 4. | 4. |
| 75,0 | 6. | 6. | 6. | 6. | 6. | 6. | 6. | 6. | 6. | 6. | 6. | 6. |
| 66,0 | 7. | 6. | 6. | 6. | 7. | 6. | 6. | 7. | 6. | 6. | 6. | 6. |
| 46,0 | 8. | 8. | 8. | 8. | 8. | 8. | 8. | 8. | 8. | 8. | 8. | 8. |

Forekomst (antall timer) med svak vind oppgitt for hver 30 graders retning

| | | | | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 8,0 | 6,0 | 3,0 | 4,0 | 8,0 | 6,0 | 4,0 | 8,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|

Vedlegg C

Spredningsberegninger for tunneler

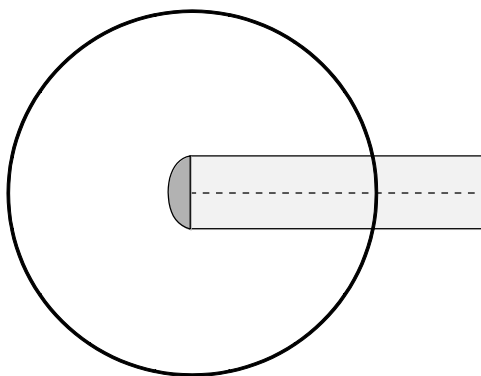
Generelt om spredning av luftforurensning fra tunnelmunninger

For å ventilere tunneler med trafikk i begge retninger, må det installeres vifter som trekker "frisk" luft inn i tunnelen fra den ene munningen. Dette gjøres for å fortynne avgassproduksjonen fra bilene til et akseptabelt nivå i selve tunnelen, og dernest for å transportere luftforurensningene ut av tunnelen gjennom den andre munningen.

Noen tunneler, ofte med stor trafikkbelastning, har separate tunnellop for begge kjøreretninger. I dette tilfellet vil all trafikken "rive med" tunnelluften i samme retning. Det vil da ikke være nødvendig med vifter i tunnelen for å fortynne og drive forurensningene ut gjennom den ene munningen, bortsett fra i situasjoner der kjøretøyhastigheten blir svært lav. Disse selvventilerte tunneler vil derfor ha montert vifter til bruk i forbindelse med uhellssituasjoner eller dårlig trafikkavvikling.

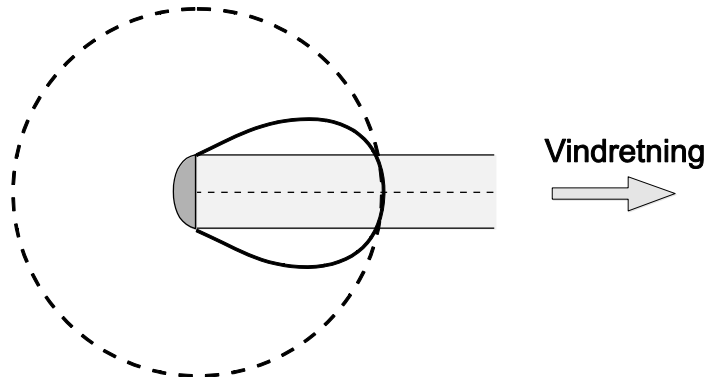
Spredning av luftforurensninger fra en tunnelmunning vil altså normalt være drevet av vifter i tunnelen ved toveiskjørtede tunneler, men av en pumpevirkning fra trafikken selv i enveiskjørtede tunneler. I det siste tilfellet vil pumpevirkningen normalt være større enn nødvendig ventilasjonshastighet for å overholde grenseverdier for luftkvalitet i tunneler. Vi snakker i begge tilfeller om ventilasjonshastighet i tunneler.

Dersom ventilasjonshastigheten i tunnelmunningen er lavere enn ca. 3 m/s, vil maksimalutbredelsen av gitte konsentrasjoner fra tunnelmunningen kunne beskrives som en sirkel med sentrum i tunnelmunningen som vist i C 1.



Figur C 1: Figuren beskriver maksimalutbredelse av en gitt konsentrasjon for alle vindretninger

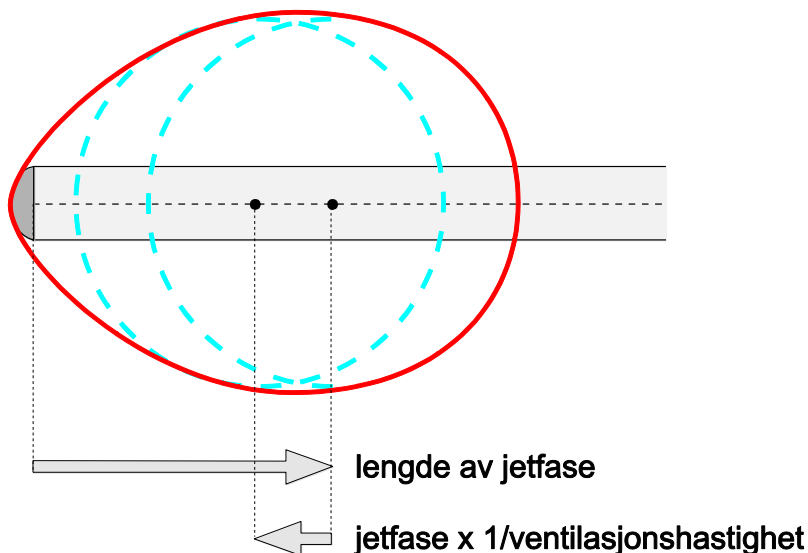
Figur C 1 viser maksimalutbredelsen for alle vindretninger utenfor tunnelmunningen. Siden det bare blåser fra en vindretning om gangen, har vi vist i Figur C 2 hvordan utbredelsen av luftforurensninger vil være i et gitt tilfelle med vind fra vest



Figur C 2: Figuren viser maksimalutbredelse av en gitt konsentrasjon for en gitt vindretning (fra vest)

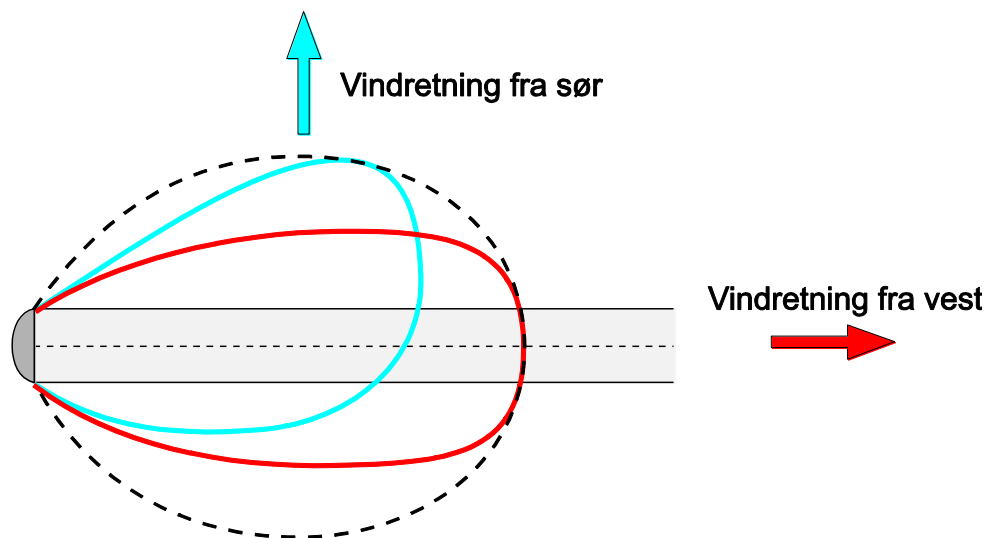
Dersom ventilasjonshastigheten i tunnelmunningen er ca 3 m/s eller høyere vil det dannes en jetfase. Lengden av jettfasen viser hvor langt ut fra tunnelmunningen forurensningen blir sendt før jettfasen går i oppløsning og den vind-drevne spredningen overtar.

Figur C 3 viser en generell beskrivelse av maksimalutbredelse av luftforurensninger fra en tunnelmunning med jettfase.



Figur C 3: Figuren beskriver maksimalutbredelse av en gitt konsentrasjon for alle vindretninger. Dersom ventilasjonshastigheten er 4 m/s vil redusert jettfase med motvind være lik en fjerdedel av jettfasen med medvind

Figur C 3 viser maksimalutbredelse for alle vindretninger utenfor tunnelmunningen. Siden det bare blåser fra en vindretning om gangen, har vi vist i Figur C 4 hvordan utbredelsen av luftforurensningen vil være i gitte tilfeller med vind fra vest og sør.



Figur C 4 Figuren beskriver maksimalutbredelse av en gitt konsentrasjon for to gitte vindretninger, fra vest og fra sør

| | | | |
|--|--|---|------|
| RAPPORTTYPE OPPDRAGSRAPPORT | RAPPORT NR. OR 12/2015 | ISBN: 978-82-425-2789-9 (trykt) 978-82-425-2790-5 (elektronisk) ISSN: 0807-7207 | |
| DATO 2015-10-23 | ANSV. SIGN. <i>de Anders Braathen</i> | ANT. SIDER 41 | PRIS |
| TITTEL Spredningsberegninger for utslipp fra tunnelmunninger i Hammerfest | | PROSJEKTLEDER Ivar Haugsbakk | |
| | | NILU PROSJEKT NR. O-114110 | |
| FORFATTER(E) Ivar Haugsbakk og Dag Tønnesen | | TILGJENGELIGHET * A | |
| | | OPPDRAGSGIVERS REF. Ellbjørg Schultz | |
| KVALITETSSIKRER: Claudia Hak | | | |
| OPPDRAGSGIVER Statens vegvesen region nord Postboks 1403 8002 Bodø | | | |
| STIKKORD Luftkvalitet | By- og trafikkforurensning | Spredningsberegninger tunnel | |
| REFERAT Spredningsberegninger for tunnelmunninger i Hammerfest. Det er beregnet maksimale konsentrasjoner av PM ₁₀ og NO _x i tunnelene ved ugunstige trafikkforhold (rushtrafikk ettermiddag). Konsentrasjonsreduksjon som funksjon av avstand fra tunnelmunninger er vist i tabell, og konsentrasjonene er sammenlignet med Nasjonalt mål og grenseverdier for luftkvalitet. | | | |
| TITLE Dispersion calculations regarding emissions from tunnel outlets in Hammerfest. | | | |
| ABSTRACT Dispersion calculations for tunnel mouths in Hammerfest. It's estimated maximum concentrations of PM ₁₀ and NO _x in the tunnels under unfavorable traffic conditions (congestion afternoon). Concentration reduction as a function of distance from the tunnel entrances are shown in Table, and the concentrations are compared with national goals and air quality limits. | | | |

* Kategorier

| | |
|---|-------------------------------|
| A | Åpen – kan bestilles fra NILU |
| B | Begrenset distribusjon |
| C | Kan ikke utleveres |

REFERANSE: O-114110
DATO: AUGUST 2015
ISBN: 978-82-425-2789-9 (trykt)
978-82-425-2790-5 (elektronisk)

NILU – Norsk institutt for luftforskning er en uavhengig stiftelse etablert i 1969. NILUs forskning har som formål å øke forståelsen for prosesser og effekter knyttet til klimaendringer, atmosfærens sammensetning, luftkvalitet og miljøgifter. På bakgrunn av forskningen leverer NILU integrerte tjenester og produkter innenfor analyse, overvåkning og rådgivning. NILU er opptatt av å opplyse og gi råd til samfunnet om klimaendringer og forurensning og konsekvensene av dette.