

# **Maatregelen ter bevordering van de luchtkwaliteit bij de Coentunnel**

Onderzoek naar het vermijden van  
te hoge emissie concentraties nabij de  
tunnelportalen

16 oktober 2006

---

# Maatregelen ter bevordering van de luchtkwaliteit bij de Coentunnel

Onderzoek naar het vermijden van  
te hoge emissie concentraties nabij de  
tunnelportalen

16 oktober 2006

---

## Colofon

**Uitgegeven door:** Rijkswaterstaat Bouwdienst

**Informatie:** Ir. J.W. Huijben  
**Telefoon:** 030 285 7982  
**Fax:** 030 285 7954

**Uitgevoerd door:** Ir. J.W. Huijben

**Gecontroleerd:** H.W. van Schaik

**Datum:** 16 oktober 2006

**Status:** Definitief

**Versienummer:** 9

|                                                                       |           |
|-----------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>SAMENVATTING EN CONCLUSIES .....</b>                               | <b>7</b>  |
| <b>1. INLEIDING .....</b>                                             | <b>9</b>  |
| <b>2. BESCHRIJVING VAN DE SITUATIE .....</b>                          | <b>10</b> |
| <b>3. MOGELIJKE MAATREGELEN .....</b>                                 | <b>12</b> |
| <b>3.1 Overzicht voorgestelde maatregelen .....</b>                   | <b>12</b> |
| <b>3.2 Algemene beschouwing van de maatregelen .....</b>              | <b>12</b> |
| <b>3.3 Afzuiging en schoorsteen .....</b>                             | <b>13</b> |
| 3.3.1. Algemene werking.....                                          | 13        |
| 3.3.2. Afzuiging en schoorsteen bij de 1 <sup>e</sup> Coentunnel..... | 14        |
| 3.3.3. Afzuiging en schoorsteen bij de 2 <sup>e</sup> Coentunnel..... | 16        |
| 3.3.4. Langsventilatie .....                                          | 16        |
| 3.3.5. Invloed afzuiging op luchtstromingen in de tunnel .....        | 16        |
| 3.3.6. Werking bij brand.....                                         | 19        |
| 3.3.7. Schakeling van de afzuiging .....                              | 20        |
| 3.3.8. Energiegebruik .....                                           | 20        |
| <b>3.4 Inschakeling langsventilatie.....</b>                          | <b>21</b> |
| 3.4.1. Werking.....                                                   | 21        |
| 3.4.2. Langsventilatie bij de 1 <sup>e</sup> Coentunnel.....          | 22        |
| 3.4.3. Langsventilatie bij de 2 <sup>e</sup> Coentunnel.....          | 23        |
| 3.4.4. Schakeling van de langsventilatie .....                        | 24        |
| <b>3.5 Schermen rondom het tunnelportaal.....</b>                     | <b>24</b> |
| <b>4. EFFECTEN VAN DE MAATREGELEN .....</b>                           | <b>26</b> |
| <b>4.1 Effect op luchtkwaliteit.....</b>                              | <b>26</b> |
| 4.1.1. Afzuiging en schoorsteen.....                                  | 26        |
| 4.1.2. Inschakeling langsventilatie.....                              | 26        |
| 4.1.3. Schermen rondom het tunnelportaal.....                         | 27        |
| <b>4.2 Effect op verkeersdoorstroming en verkeersveiligheid .....</b> | <b>28</b> |
| 4.2.1. Afzuiging en schoorsteen.....                                  | 28        |
| 4.2.2. Inschakeling langsventilatie.....                              | 29        |
| 4.2.3. Schermen rondom het tunnelportaal.....                         | 29        |
| <b>4.3 Effect op tunnelveiligheid .....</b>                           | <b>29</b> |
| 4.3.1. Afzuiging en schoorsteen.....                                  | 30        |

---

|            |                                                       |           |
|------------|-------------------------------------------------------|-----------|
| 4.3.2.     | Inschakeling langsventilatie.....                     | 30        |
| 4.3.3.     | Schermen rondom het tunnelportaal.....                | 30        |
| <b>5.</b>  | <b>CONCLUSIES.....</b>                                | <b>31</b> |
| <b>6.</b>  | <b>OPDRACHT EN VERANTWOORDING.....</b>                | <b>32</b> |
| <b>6.1</b> | <b>Opdrachtformulering Dienst Noord-Holland .....</b> | <b>32</b> |
| <b>6.2</b> | <b>Uitvoering van de opdracht .....</b>               | <b>32</b> |
|            | <b>BIJLAGE A .....</b>                                | <b>34</b> |
|            | <b>BIJLAGE B .....</b>                                | <b>38</b> |



---

## Samenvatting en Conclusies

De aanleg van de 2<sup>e</sup> Coentunnel, de wijziging van de 1<sup>e</sup> Coentunnel en de aanleg van de aansluitende tracés zullen zonder aanvullende maatregelen leiden tot een wijziging van de emissieconcentraties. Deze wijziging mag er niet toe leiden dat de concentraties hoger worden dan in de autonome situatie.

Dit rapport beschrijft maatregelen waarmee de wijziging van de 1<sup>e</sup> Coentunnel en de aanleg van de 2<sup>e</sup> Coentunnel niet leiden tot een verdere verslechtering van de luchtkwaliteit ten opzichte van de autonome situatie.

Hoewel aan de markt wordt gevraagd creatieve oplossingen voor het luchtkwaliteitsprobleem te genereren heeft Rijkswaterstaat als opdrachtgever redenen om – vooruitlopend op de aangeboden oplossingen van de markt – zelf onderzoek naar luchtkwaliteit uit te voeren. Daar wordt aangetoond dat er afdoende oplossingen beschikbaar zijn om de luchtkwaliteit te beheersen.

De voorgestelde maatregelen betreffen:

- Afzuiging bij het uitgangsportaal en afvoer via een schoorsteen
- Extra verdunning met behulp van de voor brand aan te brengen mechanische langsventilatie
- Luchtschermen bij en/of rondom het uitgangsportaal

Uit de resultaten van het onderzoek van TNO blijkt dat de luchtkwaliteit met elk van de voorgestelde maatregelen voldoende kan worden beheerst. Het effect van de verschillende maatregelen op de luchtkwaliteit is als volgt:

1. Toepassing van een schoorsteen met een hoogte van 25m en die tenminste 70% van de lucht uit de tunnel afzuigt leidt tot voldoende verlaging van de concentraties in de directe omgeving van de tunnel. Daarbij moet de luchtstroom met tenminste 10 m/s verticaal omhoog worden geblazen.
2. Inschakeling van de langsventilatie heeft mogelijk een voldoende effect op verlaging van de concentraties in de directe omgeving van de tunnel, maar daaromtrent bestaat geen zekerheid. Deze oplossing is qua aanleg goedkoop omdat de ventilatoren namelijk ook nodig zijn vanwege situaties met brand.
3. Luchtschermen langs de weg leiden tot voldoende verlaging van de concentraties in de directe omgeving van de tunnel. Voordeel van deze oplossing is dat er geen storingen kunnen optreden (het werkt altijd).

In voorliggend rapport is aangetoond dat de voorgestelde maatregelen geen negatieve invloed hebben op de verkeersdoorstroming, de verkeersveiligheid en op de interne veiligheid van de tunnels. Tevens is aangetoond dat de voorgestelde oplossingen “maakbaar” zijn.



---

# 1. Inleiding

Dit rapport beschrijft maatregelen aan de 1<sup>e</sup> en 2<sup>e</sup> Coentunnel, waarmee de wijziging van de 1<sup>e</sup> Coentunnel en de aanleg van de 2<sup>e</sup> Coentunnel niet leiden tot een verdere verslechtering van de luchtkwaliteit ten opzichte van de autonome situatie.

Onder “autonome situatie” wordt verstaan de situatie die in 2012 is ontstaan wanneer de verkeerssituatie zich verder heeft ontwikkeld zonder dat de 2<sup>e</sup> Coentunnel wordt gebouwd en het aansluitende wegennet wordt aangepast.

De in deze rapportage beschreven maatregelen zijn:

- Afzuiging bij het uitgangsportaal en afvoer via een schoorsteen
- Extra verdunning met behulp van de voor brand aan te brengen mechanische langsventilatie
- Afscherpende wanden rondom het uitgangsportaal

Combinaties van deze maatregelen zijn natuurlijk ook mogelijk.

In dit rapport wordt een beschouwing gegeven van de constructieve mogelijkheden en de consequenties voor tunnelveiligheid en verkeersveiligheid.

Door TNO is een onderzoek uitgevoerd, bestaande uit modelonderzoek en berekeningen. Daaruit blijkt het effect van de maatregelen op de luchtkwaliteit (zie rapportage TNO, Onderzoek naar de luchtkwaliteit en de luchtkwaliteitsmaatregelen na realisatie van de 2<sup>e</sup> Coentunnel, d.d. Juni 2006, nr. TNO-MEP – R 64186). De belangrijkste conclusies uit die rapportage zijn vermeld in dit rapport.

De luchtkwaliteit nabij verkeerswegen wordt met name uitgedrukt in met name de concentraties fijn stof (PM10) en stikstofdioxide (NO<sub>2</sub>).

De in dit rapport voorgestelde maatregelen zijn er op gericht met name de concentraties PM10 en NO<sub>2</sub> te beheersen.

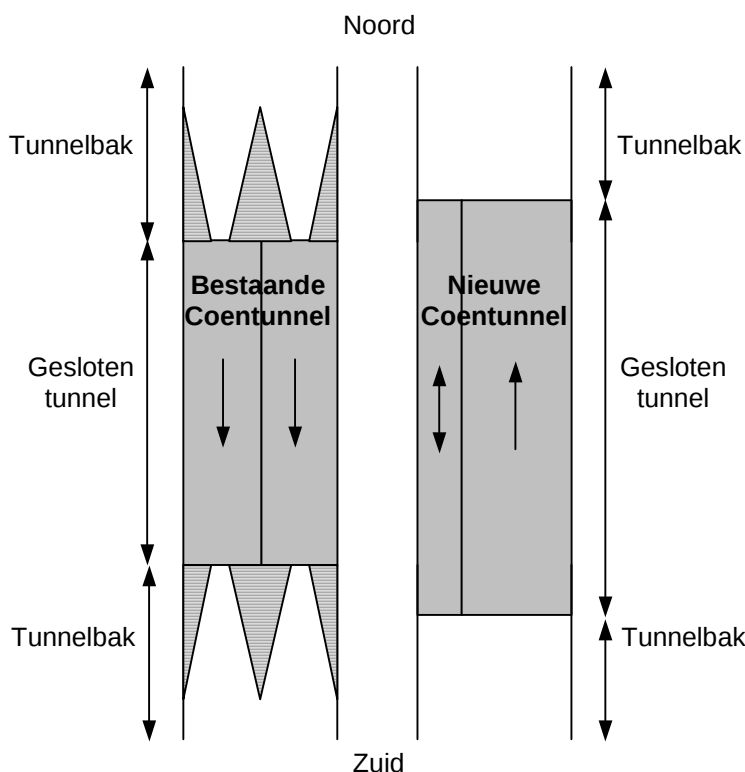
Uit deze rapportage en het onderzoek door TNO blijkt dat er afdoende oplossingen beschikbaar zijn om te voldoen aan het Besluit Luchtkwaliteit 2005.

Deze oplossingen vormen tevens een toetskader voor de beoordeling van de door de markt aangeboden ontwerpen.

---

## 2. Beschrijving van de situatie

De situatie van de bestaande en de nieuwe tunnel is aangegeven in figuur 1.



Figuur 1 Eind-situatie Coentunnel

In figuur 1 zijn de gesloten delen alsmede de aansluitende tunnelbakken en wegvakken aangegeven. Het gesloten deel van de nieuwe Coentunnel is enigszins langer dan van de bestaande Coentunnel. Bij de bestaande Coentunnel zijn de aansluitende tunnelbakken deels afgedekt door verlopende daken, welke worden gevormd door schuin naar binnen lopende midden en buitenwanden.

De bestaande Coentunnel is voorzien van langsventilatie, waarbij de lucht alleen in de huidige verkeersrichting kan worden geblazen door middel van een zogenaamde Saccardo-injector. Deze injector bestaat uit een spleet in het tunneldak – circa 20m na de tunnelingang – waardoor lucht met verhoogde snelheid in de tunnelbuis wordt geblazen. Boven de spleet is een boven maaiveld uitstekend gebouw geplaatst met daarin de ventilatoren, aanzuigroosters en luchtkanalen. Bij beide ingangsportalen is zo'n gebouw aanwezig. Daarin zijn ook de andere nodige installaties en lokale bedieningsruimten geplaatst.

De gebouwen strekken zich niet uit boven de uitgangsportalen.

In de autonome situatie is de rijrichting in de westbuis Noord-Zuid en in de oostbuis Zuid-Noord. Dat betekent dat er aan twee kanten van de tunnel uit de tunnelportalen emissie vrijkomt.

Het aantal rijstroken is in beide buizen 2 stuks. Er is geen vluchtstrook.

---

In de nieuwe situatie is de rijrichting in beide buizen van de bestaande Coentunnel uitsluitend Noord-Zuid en treedt alleen aan de zuidkant emissie uit het tunnelportaal. Aan de noordkant vervalt de emissie uit de tunnel geheel. Wel blijft er emissie vrijkomen van de aansluitende open weg (de toerit).

In de oostbuis van nieuwe Coentunnel is de rijrichting uitsluitend Zuid-Noord. De westbuis van de nieuwe Coentunnel kan in beide richtingen gebruikt worden: vanwege de verkeersstroom zal de rijrichting 's morgens Noord-Zuid zijn en 's avonds Zuid-Noord. Bij de nieuwe Coentunnel komt er dus zowel aan de zuidkant (alleen bij de westbuis) als aan de noordkant (oostbuis + westbuis) emissie vrij uit de tunnel hoewel de hoeveelheid verschilt.

Het aantal rijstroken in de bestaande Coentunnel is in de nieuwe situatie in totaal 2 + 1 doch kan in de toekomst worden uitgebreid naar 2 + 2.

Het aantal rijstroken in de oostbuis van nieuwe Coentunnel is in de nieuwe situatie 3, maar kan in de toekomst worden uitgebreid tot 4.

In de westbuis van de nieuwe Coentunnel zijn 2 rijstroken als wisselstrook gepland.

Voor de emissiestudies wordt het jaar 2012 beschouwd. Voor dat tijdstip zijn dus 3 + 2 + 3 rijstroken gepland.

De emissiestudies moeten zich daarom richten op het voorspelde verkeersaanbod voor 2012 (zowel autonoom als in de nieuwe situatie) en de wijze waarop dat aanbod met dit aantal rijstroken kan worden verwerkt.

---

## 3. Mogelijke maatregelen

### 3.1 Overzicht voorgestelde maatregelen

De door de RWS Bouwdienst voorgestelde maatregelen zijn:

- Afzuiging bij het uitgangsportaal en afvoer via een schoorsteen
- Extra verdunning door met behulp van de voor brand aan te brengen mechanische langsventilatie
- Afscherpende wanden rondom de open toerit welke aansluit op het uitgangsportaal

Onderstaand worden de voorgestelde aanvullende maatregelen meer in detail beschreven. Daarbij is de omschrijving gegeven voor zowel de 1<sup>e</sup> als voor de 2<sup>e</sup> Coentunnel omdat de tunnels qua vorm en constructie aanzienlijk van elkaar verschillen.

### 3.2 Algemene beschouwing van de maatregelen

In principe zijn er 2 principe oplossingen om de concentratie te verlagen

1. verminder de hoeveelheid massa vervuilende stoffen
2. vergroot de hoeveelheid lucht

Er is bewust niet voorgesteld reiniging van de tunnellucht toe te passen waarmee de massa wordt verminderd. De redenen hiervoor zijn beschreven in de literatuurverwijzingen [1] en [2]. Een kort overzicht van die redenen is hier gegeven:

- Luchtreiniging richt zich op slechts één of twee soorten stoffen; bij wijziging van de hoeveelheden geëmitteerde stoffen of wijziging van de aandacht voor een bepaalde stof in de toekomst kan de gebouwde installatie zinloos worden (hiervan zijn in verschillende landen voorbeelden beschikbaar).
- Luchtreiniging is zowel qua installatie als qua onderhoud en energiegebruik zeer kostbaar.
- Vanwege het hoge elektriciteitsverbruik, met name voor de benodigde ventilatie om de lucht door de filters te laten stromen, is de bijdrage aan CO<sub>2</sub>-vorming bij de energiecentrales zodanig hoog dat op macroschaal een luchtreinigingsinstallatie als vervuilend moet worden beschouwd.

Om te voldoen aan het Besluit Luchtkwaliteit 2005 is luchtreiniging niet zinvol. Er is daarom gekozen voor de uitwerking van maatregelen waarbij verdunning wordt bevorderd.

### 3.3 Afzuiging en schoorsteen

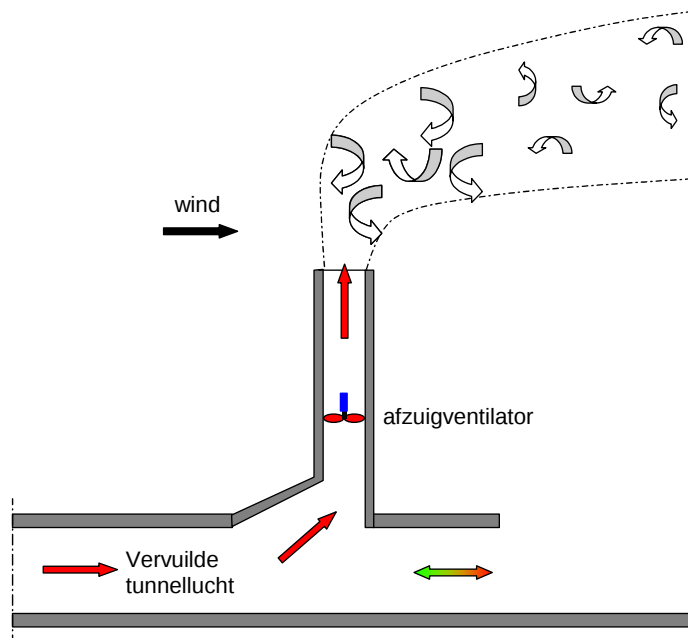
#### 3.3.1. Algemene werking

In één richting rijdend verkeer wekt in een tunnel een luchtstroming op. De grootte van de luchtstroming wordt daarbij mede door de wind beïnvloed.

Terwijl de lucht door de tunnel stroomt voegt het verkeer daar uitlaatgasen aan toe, waardoor de concentratie naar het uitgangsportaal toe stijgt.

Door deze vervuilde luchtstroom nabij het uitgangsportaal af te zuigen en via een schoorsteen hoog in de lucht te brengen kunnen op maaiveldniveau hoge concentraties worden voorkomen. Hoger in de lucht is de gemiddelde windsnelheid groter en treedt door turbulentie snel verdunning op.

De emissie uit de schoorsteen gaat op in de achtergrondconcentratie en is te verwaarlozen ten opzichte van alle andere bronnen in het gebied rondom de tunnel.



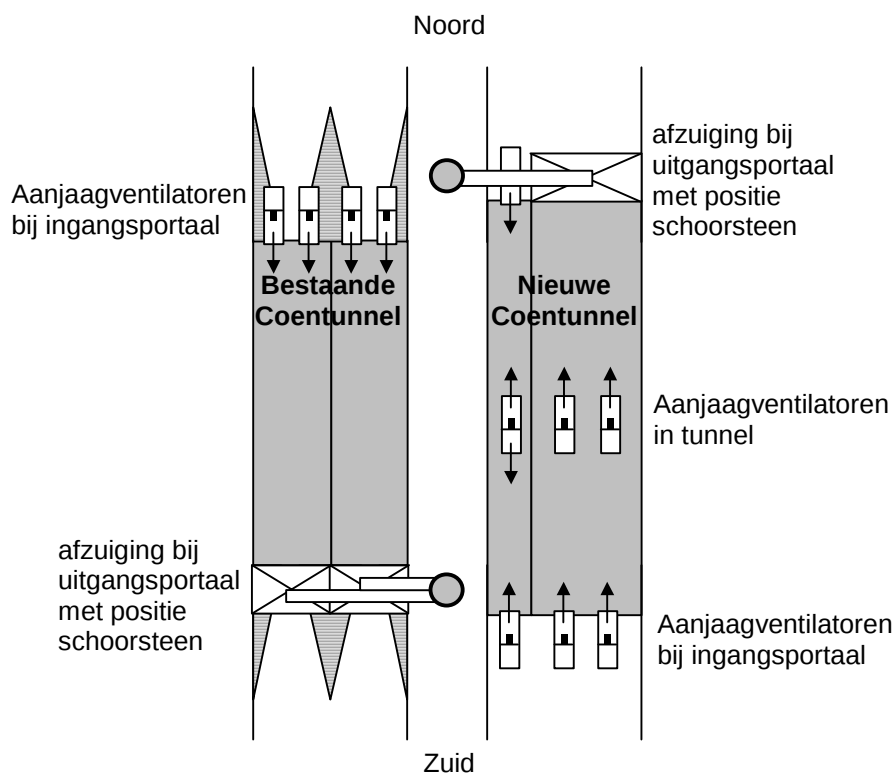
Figuur 2 Principe van afzuiging en schoorsteen

Bij schoorstenen kan de lucht ofwel zijwaarts worden uitgeblazen ofwel verticaal omhoog.

Bij zijwaarts blazen ontstaat het gevaar dat de uitgeblazen lucht door windwervelingen aan lijzijde langs de schoorsteen "omlaag kruipt". Daardoor zou op maaiveld niveau toch weer een verhoogde concentratie ontstaan.

Verticaal uitblazen heeft daarom de voorkeur. Bij verticaal uitblazen wordt de uitgestoten lucht hoger in de omringende lucht gebracht. Tegelijkertijd wordt de kans op zogenaamde "down wash" – neerwerveling aan de lijzijde van de schoorsteen – voorkomen.

Een overzicht van de opstelling bij de Coentunnels is weergegeven in figuur 3.



Figuur 3 Overzicht ventilatievoorzieningen

### 3.3.2. Afzuiging en schoorsteen bij de 1<sup>e</sup> Coentunnel

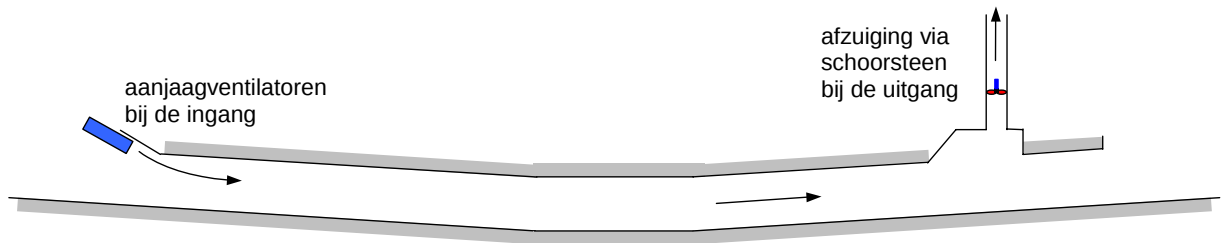
In de bestaande situatie is de bovenzijde van de tunnelbak, die aansluit op het uitgangsportaal, gedeeltelijk afgedekt betonnen constructies. Boven elke rijbaan is een naar het uiteinde van de tunnelbak breder wordende sleuf aanwezig.

Tussen de zijwanden zijn er stempelbalken aanwezig die de gronddruk tegen de zijwanden opvangen. Onder de stempelbalken is een lichtrooster gemonteerd.

In de tunnelbak wordt direct na het bestaande tunnelportaal een expansieruimte met een lengte van 15 – 20 meter gecreëerd waardoor de initiële snelheid in de tunnelbuis wordt verminderd zodat beter kan worden afgezogen. Na de expansieruimte moet er nog een gesloten deel van tenminste 50 meter zijn. Daarmee wordt in feite een nieuw tunnelportaal gecreëerd en de gesloten lengte met circa 70 meter verlengd (expansieruimte plus extra gesloten deel). De extra gesloten lengte is nodig om te voorkomen dat lucht via de nieuwe uitgang naar binnen stroomt richting het afzuigpunt.

In figuur 4 is schematisch aangegeven hoe een dergelijk systeem er uit kan zien. In bijlage A is de daadwerkelijke inpassing weergegeven, zodat duidelijk is dat deze oplossing technisch mogelijk is.

In de figuur in deze bijlage is een plafond in de tunnel aangegeven waarvan de hoogte boven het wegdek ongeveer gelijk is aan de bestaande vrije hoogte in de tunnel. Daarboven wordt een dak aangebracht waarmee wordt voorkomen dat hemelwater, bladeren en vuil op het plafond terecht komen en waarmee tegelijkertijd een vanuit de omgeving gezien aantrekkelijke vorm bovengronds wordt gecreëerd.



Figuur 4 Afzuiging en schoorsteen bij het uitgangsportaal in combinatie met langsventilatie

Vooralsnog lijkt de bestaande tunnelconstructie niet geschikt om het extra gewicht van een schoorsteen te dragen, hoewel bij nadere uitwerking dit misschien wel mogelijk kan zijn.

Er is hier uitgegaan van een schoorsteen die aan de oostkant van de bestaande tunnelbak wordt opgesteld en gefundeerd. Daarmee staat de schoorsteen tussen de 1<sup>e</sup> en 2<sup>e</sup> Coentunnel. Tussen de afzuigpunten en de schoorsteen worden transportkanalen aangebracht.

De schoorsteen kan in dit project maximaal 30 meter boven maaiveld zijn, bij het modelonderzoek is uitgegaan van 25 meter. De werkelijke benodigde hoogte in het uit te voeren ontwerp moet nader worden bepaald, maar in de uitvoeringseisen moet zijn opgenomen dat de hoogte tussen 25 en 30 meter boven omringend maaiveld is. Tevens moet worden opgenomen dat de uitblaassnelheid 10 m/s of meer moet zijn om het "down wash" effect te minimaliseren.

De hoeveelheid af te voeren lucht is op basis van een luchtsnelheid in de tunnel van 4 m/s ongeveer 400 m<sup>3</sup>/s voor beide tunnelbuizen tezamen. Een aanvaardbare luchtsnelheid in de schoorsteen is circa 15 – 20 m/s waarmee de inwendige doorsnede circa 5 x 5 m moet bedragen.

Om er voor te zorgen dat de hoeveelheid afzuiging per tunnelbuis kan worden geregeld moeten de tunnelbuizen apart zijn aangesloten op de schoorsteen en aparte afzuigventilatoren hebben (zie fig. 2 en fig. 3). Een gecombineerde afzuigventilator is onjuist omdat dan door variatie in weerstanden in de tunnelbuis en door windinvloeden de hoeveelheden afgezogen lucht niet per tunnelbuis beheersbaar zijn.

De expansieruimte past geheel binnen de bestaande constructie van de toerit. De verbindende transportkanalen worden onder maaiveld naar de schoorsteen gevoerd. Daarmee is bovengronds alleen de schoorsteen en de aansluiting van de kanalen op de schoorsteen zichtbaar.

Er is ook nagegaan in hoeverre het bestaande gebouw aan de zuidzijde inclusief aanwezige apparatuur gebruikt kan worden.

---

Hieruit blijkt dat het nauwelijks mogelijk is om voor de oostbuis, waar de verkeersrichting wordt omgedraaid, via het bestaande gebouw een afzuigmogelijkheid aan te brengen. Ook is het huidige uitblaasrooster tamelijk laag geplaatst, waardoor op maaiveld niveau hogere concentraties verwacht worden. Gebruik van het bestaande gebouw wordt daarom vooralsnog niet effectief geacht.

### **3.3.3. Afzuiging en schoorsteen bij de 2<sup>e</sup> Coentunnel**

De oostbuis van de 2<sup>e</sup> Coentunnel kent maar één rijrichting. De westbuis van de 2<sup>e</sup> Coentunnel kent twee rijrichtingen. De bijdrage van de emissie ten gevolge van de verkeersstroom in de westbuis aan jaargemiddelde waarde op de meet- en rekenpunten is verwaarloosbaar vanwege de wisselende rijrichting. Het wordt daarom voldoende geacht alleen de oostbuis bij het uitgangsportaal van een afzuiging te voorzien.

De tunnallengte kan aan de noordzijde niet verder worden verlengd. Daarom is gekozen voor een afzuigpunt tussen 70 en 50 meter voor het uitgangsportaal. Het afzuigpunt zal zodanig zijn vormgegeven dat voldoende aanzuiging is worden gewaarborgd.

Bovenop het tunneldak ligt dan het afvoerkanaal dat wordt aangesloten op een schoorsteen welke is gefundeerd op de oever.

De tunnelconstructie is nieuw en er kan rekening worden gehouden met de constructieve belastingen van de schoorsteen en het afvoerkanaal.

### **3.3.4. Langsventilatie**

Voor een situatie met brand moet worden uitgegaan van langsventilatie. Daarmee wordt de rook in de normale rijrichting de tunnel uitgeblazen, zodat weggebruikers die stroomopwaarts van de brand tot stilstand zijn gekomen, in een rookvrije zone staan.

In de beide buizen van de 1<sup>e</sup> Coentunnel hoeft slechts in één richting te worden geventileerd: daartoe worden aan de ingang aanjaagventilatoren opgehangen.

In de westbuis van de 2<sup>e</sup> Coentunnel moet in twee richtingen kunnen worden geventileerd omdat zowel van noord naar zuid als van zuid naar noord kan worden gereden.

In de oostbuis van de 2<sup>e</sup> Coentunnel zou in principe slechts in één richting (de normale verkeersrichting) moeten worden geventileerd. Maar om aerodynamische kortsluiting bij brand te voorkomen moet ook in de buis in twee richtingen kunnen worden geventileerd.

### **3.3.5. Invloed afzuiging op luchtstromingen in de tunnel**

Om zoveel mogelijk lucht af te zuigen en daarmee zoveel mogelijk emissie via de schoorsteen af te voeren moet er een flinke onderdruk in de aanzuigopening worden gecreëerd.

Dit heeft als effect dat wanneer er geen of weinig verkeer is, de lucht de weg van de minste weerstand kiest. Ofwel de lucht wordt vooral via het uitgangsportaal naar binnen gezogen en niet vanuit de tunnel.

Echter als er veel verkeer is zou er lucht voorbij het afzuigpunt meegeleurd kunnen worden en dan via het uitgangsportaal vrijkomen. Daarmee ontstaat de vraag of gegarandeerd kan worden dat met een schoorsteen voldoende kan worden afgezogen.

Voor het antwoord op die vraag zijn er twee zaken aan de orde:

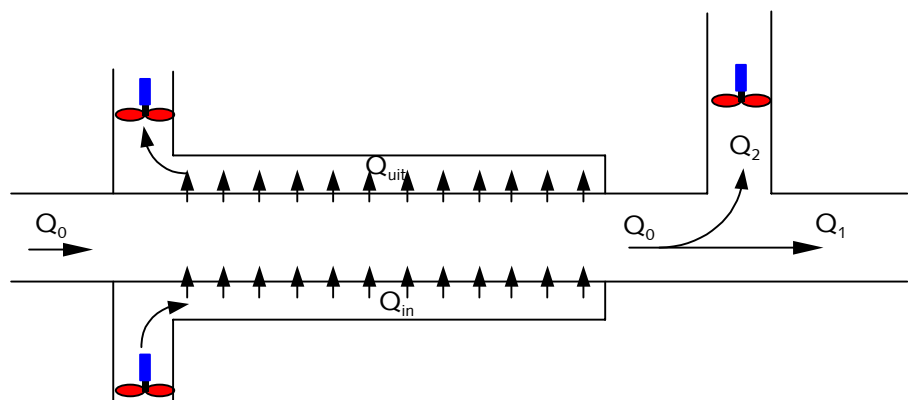
1. Er moet worden voorkomen dat er veel lucht via het uitgangsportaal naar binnen en er geen of nauwelijks lucht uit de tunnelbuis wordt gezogen. In het ergste geval zou door terugstroming in de tunnelbuis onder windinvloed zelfs bij het ingangsportaal veel emissie kunnen vrijkomen.
2. Het moet duidelijk zijn of en hoeveel lucht het afzuigpunt onder invloed van langsstroming en verkeersbewegingen het afzuigpunt kan passeren.

Het eerste punt kan worden opgelost door de langsstroming met de – vanwege brandveiligheid noodzakelijke – langsventilatie te beheersen. Daarmee kan worden gewaarborgd dat er voldoende langsstroming in de richting van het afzuigpunt is. Aan de andere kant moet er voor worden gewaakt dat er niet teveel stroming is anders passeert teveel lucht het afzuigpunt.

Voor het antwoord op het tweede punt wordt verwezen naar literatuurverwijzing [7].

Dit betreft een verslag van een onderzoek aan een schaalmodel van een tunnel, voorzien van dwars- en langsventilatie. Ook is een afzuigpunt – voorzien van een schoorsteen – aan het eind van de tunnel aangebracht. Doel van dit onderzoek was vast te stellen hoe de lucht aan het einde van de tunnel zich zou verdelen over het afzuigpunt en het uitgangsportaal.

Hoewel de modeltunnel mede was uitgerust met dwarsventilatie zijn de resultaten goed bruikbaar voor deze studie ten behoeve van de 1<sup>e</sup> en 2<sup>e</sup> Coentunnel. Dat is het geval omdat de resultaten van het onderzoek zijn gepresenteerd met gelijke hoeveelheden inblaas en afzuiging via de dwarsventilatie. Daardoor heeft de dwarsventilatie geen invloed op de wijze waarop de luchtstroom het afzuigpunt bereikt. Dit wordt verklaard met figuur 5.



Figuur 5 Schematische weergave van het model waarin is gemeten

Zoals uit figuur 5 blijkt is de hoeveelheid lucht  $Q_0$  die bij het ingangsportaal naar binnen stroomt, na de zone met dwarsventilatie nog steeds even groot als de hoeveelheid ingeblazen lucht  $Q_{in}$  en de hoeveelheid afgezogen lucht  $Q_{uit}$  even groot zijn. Ofwel de dwarsventilatie heeft geen invloed op de wijze van verdeling van de lucht over de afzuiging en het uitgangsportaal.

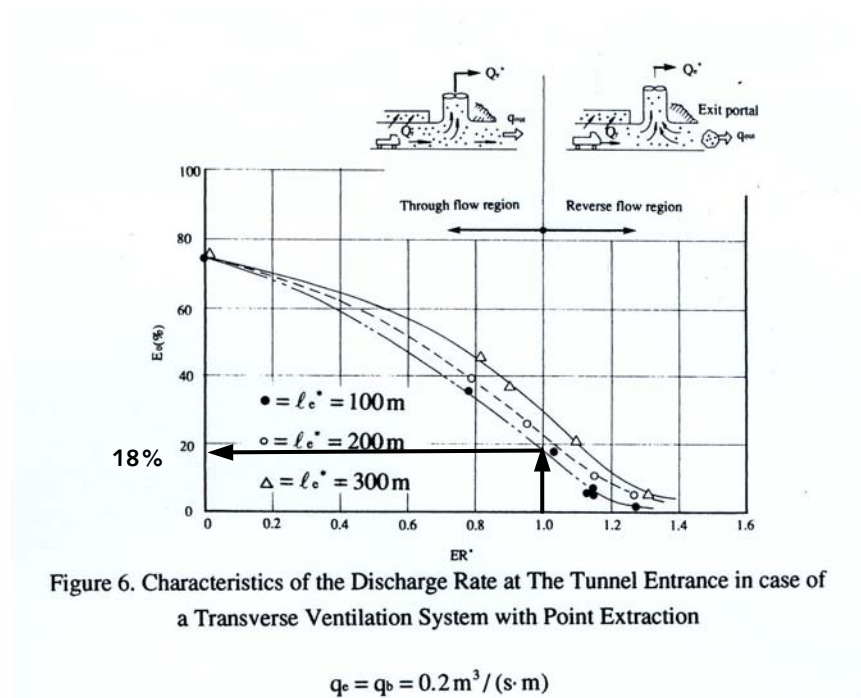
De gesloten lengte na het afzuigpunt tot aan het uitgangsportaal werd in de studie gevarieerd van 100 – 200 – 300 meter.

Bij de proefnemingen is tracergas toegevoerd en door variatie van de hoeveelheid lucht die door de tunnel stroomde en de hoeveelheid afgezogen lucht is bepaald hoeveel lucht de tunnel via het uitgangsportaal verliet.

De invloed van het verkeer is gesimuleerd door op schaal nagemaakte voertuigen via een transportband door de tunnel te laten bewegen.

De resultaten van de metingen aan het tunnelmodel zijn weergegeven in figuur 6. De waarde ER in figuur 6 is de verhouding tussen de hoeveelheid afgezogen lucht en de hoeveelheid lucht die door de tunnel stroomt. Bij een waarde ER groter dan 1 stroomt er dus lucht via het uitgangsportaal de tunnel in.

De waarde  $E_0$  is het percentage dat via het uitgangsportaal wegstroomt ten opzichte van de totale luchtstroom door de tunnel.



figuur 6 Resultaten metingen aan een schaalmodel

Bij een waarde ER gelijk en groter dan 1 kan er lucht de tunnel instromen via het uitgangsportaal terwijl er tegelijkertijd ook “vuile” lucht via het uitgangsportaal ontsnapt. Dit is mogelijk vanwege de afmetingen van tunnelportalen.

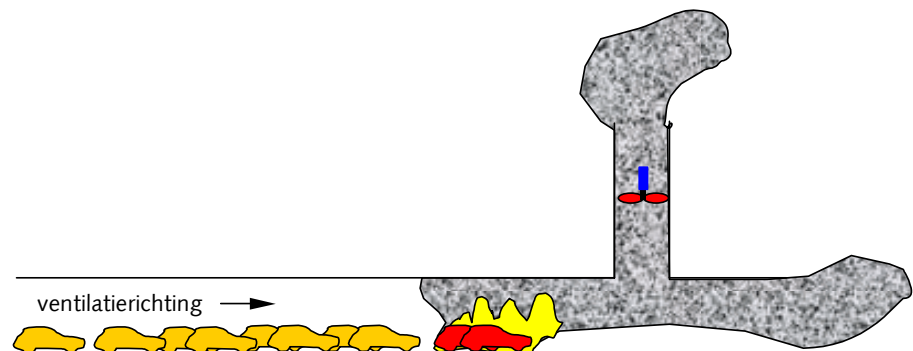
Uit figuur 6 kan worden afgelezen dat het in principe mogelijk is de hoeveelheid “vuile” lucht, die via het uitgangsportaal ontsnapt, te beperken tot 18% bij een realistische waarde van  $ER = 1$ . Dat wordt in de grafiek afgelezen bij de meetresultaten voor een gesloten lengte van 100 meter na het afzuigpunt. Bij de 1<sup>e</sup> en 2<sup>e</sup> Coentunnel is de gesloten lengte na het afzuigpunt circa 70 meter, waardoor verwacht mag worden dat er minder dan 18% via het uitgangsportaal ontsnapt.

Echter om een hoge kans op robuustheid en maakbaarheid te garanderen is voor de 1<sup>e</sup> en 2<sup>e</sup> Coentunnel aangenomen dat het percentage “vuile” lucht, dat via het uitgangsportaal ontsnapt, 30% bedraagt; daarmee wordt circa 70% van de “vuile” lucht via de schoorsteen afgevoerd.

Het creëren van een luchtgordijn bij het uitgangsportaal kan helpen om luchtstromingen naar binnen toe of juist naar buiten toe enigszins tegen te houden. Hier is in de emissiestudies vooralsnog geen rekening mee gehouden. Wel zijn de mogelijke gevolgen voor verkeersveiligheid en tunnelveiligheid aangegeven.

### 3.3.6. Werking bij brand

Bij brand zal afzuiging helpen om de rook uit de tunnel af te voeren. Een voordeel is dat via het uitgangsportaal veel minder of misschien helemaal geen rook uit de tunnel vrijkomt. Daardoor zal de toerit zich niet of slechts in geringe mate vullen met rook waardoor daar een veiliger situatie ontstaat.



figuur 7 Rookafvoer bij brand

De rookgastemperaturen kunnen oplopen tot circa 600°C zodat zowel de constructie als de ventilatoren bestand moeten zijn tegen hoge temperaturen.

Het is niet noodzakelijk om de afzuiging bij brand in te schakelen of ingeschakeld te houden. De langsventilatie is in staat voldoende langsstroming op te wekken om stroomopwaarts van de brand gestrande weggebruikers veilig te stellen. Mochten er stroomafwaarts van de brand weggebruikers aanwezig zijn dan is de zone stroomafwaarts van het afzuigpunt is zodanig kort dat er geen veiligheidsvoordeel te behalen valt door de afzuiging in te schakelen.

---

### 3.3.7. Schakeling van de afzuiging

Voor een juiste balans tussen de hoeveelheid lucht die door de tunnel stroomt en de hoeveelheid afgezogen lucht is een regeling nodig. De hoeveelheid lucht die door de tunnel stroomt is immers afhankelijk van de hoeveelheid verkeer, de rijsnelheid van het verkeer en van windinvloeden. Er dient dus een meet- en regelinstallatie aanwezig te zijn. De hiervoor noodzakelijke apparatuur betreft normaal verkrijgbare en bedrijfszekere componenten. Een dergelijke regeling is dus maakbaar en betrouwbaar in gebruik.

De afzuiging hoeft in principe niet altijd te werken. Wanneer er weinig verkeer is dan is er ook weinig emissie terwijl er meestal toch al snel een redelijke luchtstroming aanwezig is. De concentratie in de lucht die de tunnel verlaat is dan laag en leidt in de omgeving van de tunnel niet tot te hoge concentraties, zodat afzuiging geen zin heeft. Pas bij drukker wordend verkeer heeft inschakeling van de installatie zin.

De inschakeling van de installatie kan bijvoorbeeld plaatsvinden op basis van een luchtkwaliteitsmeting aan het einde van de tunnelbuis. De best meetbare referentie daarvoor is de fijnstof concentratie. Ook is schakeling mogelijk op basis van een meting van de verkeersintensiteit en verkeerssnelheid.

Hoewel kan worden gewaarborgd dat tenminste 70% van de vervuilde lucht kan worden afgezogen is dit in praktijk misschien niet nodig. Waarschijnlijk kan ook volstaan worden met het afzuigen van 50% of misschien zelfs maar 30% van de lucht uit de tunnel terwijl dan nog steeds wordt voldaan aan de eisen voor buitenluchtkwaliteit. Dit moet via modelstudies nader worden vastgesteld.

### 3.3.8. Energiegebruik

De ervaring bij tunnels voorzien van dwarsventilatie leert dat het gebruik van afzuigventilatoren tot aanzienlijk energieverbruik leidt. Uit een voorbeeldberekening blijkt dat het energiegebruik bij continue inschakeling van de afzuigingen in de orde van 5,7 miljoen kWh per jaar bedraagt (Ter vergelijking : Dat komt overeen met circa 2.000 huishoudens).

De hieruit voortvloeiende energiekosten zijn in de orde van € 500.000 tot € 600.000 per jaar.

Vanwege het hoge energiegebruik ontstaat er ook een aanzienlijke bijdrage aan de CO<sub>2</sub>-uitstoot.

Dit pleit er voor om, als een dergelijk systeem wordt toegepast, inschakeling te baseren op daadwerkelijke noodzaak.

### Voorbeeldberekening energiegebruik afzuiging

|                                                        |                       |
|--------------------------------------------------------|-----------------------|
| Doorsnede van een tunnelbuis 1 <sup>e</sup> Coentunnel | 50 m <sup>2</sup>     |
| Er zijn 2 buizen                                       | 100 m <sup>2</sup>    |
| Gemiddelde lichtsnelheid in de buizen                  | 5 m/s                 |
| Totale luchtstroom in tunnelbuizen                     | 500 m <sup>3</sup> /s |
| 70% afzuiging via ventilatoren                         | 350 m <sup>3</sup> /s |

|                                                    |                       |
|----------------------------------------------------|-----------------------|
| Doorsnede van de ZN-buis 2 <sup>e</sup> Coentunnel | 80 m <sup>2</sup>     |
| Idem aannamen levert voor afzuiging                | 300 m <sup>3</sup> /s |

Ter vergelijking zijn de gegevens van de Maastunnel gebruikt. Daarbij is rekening gehouden met het ontbreken van lange luchtkanalen in de Coentunnels maar die wel in de Maastunnel aanwezig zijn: dit leidt tot minder energiegebruik dan in de Maastunnel.

Voor de Coentunnel wordt het opgenomen vermogen geschat op:

|                           |        |
|---------------------------|--------|
| 1 <sup>e</sup> Coentunnel | 350 kW |
| 2 <sup>e</sup> Coentunnel | 300 kW |

|                                        |                 |
|----------------------------------------|-----------------|
| Op jaarbasis en bij 100% ID levert dit | 5,7 miljoen kWh |
|----------------------------------------|-----------------|

## 3.4 Inschakeling langsventilatie

### 3.4.1. Werking

Langsventilatie is het in lengterichting ventileren van de tunnel. Hiervoor worden aanjaagventilatoren aangebracht, die door middel van een jet-werking de lucht in de tunnel in beweging brengen.

Langsventilatie wordt bij tunnels van 600 – 700m vooral aangebracht vanwege brandveiligheid. Bij brand wordt de rook in de verkeersrichting weggeblazen, waarmee weggebruikers die stroomopwaarts van de brand tot stilstand komen in een rookvrije zone en dus relatief veilig staan.

In de huidige praktijk wordt in de meeste Nederlandse tunnels de langsventilatie bijna nooit ingeschakeld vanwege emissieconcentraties binnen de tunnel: rijdend verkeer brengt reeds een zodanige luchtstroming te weeg dat voldoende luchtverversing optreedt waarmee de concentratie binnen de tunnel onder de toelaatbare grenzen blijft. Terwijl de lucht door de tunnel stroomt voegt het verkeer daar uitlaatgassen aan toe, waardoor de concentratie naar het uitgangsportaal toe stijgt. Maar de luchtbeweging is zodanig dat deze concentratie slechts zelden uitstijgt boven de grenswaarden die binnen de tunnel gelden<sup>1</sup>.

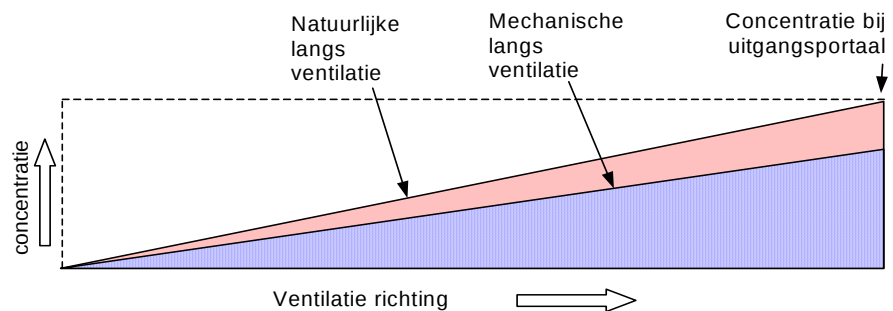
---

<sup>1</sup> Deze emissiegrenzen zijn vermeld in de Aanbeveling Ventilatie van veerkerstunnels 2005 van Rijkswaterstaat. De maximaal toelaatbare concentraties liggen aanzienlijk boven de grenzen voor buitenluchtkwaliteit vanwege de korte verblijfsduur in een tunnel.

Slechts incidenteel bij stilstaand of zeer langzaam rijdend verkeer zal de ventilatie worden ingeschakeld vanwege te hoge emissieconcentraties binnen de tunnel.

Vanwege de korte verblijfsduur in de tunnel liggen de toelaatbare grenzen binnen de tunnel veel hoger dan voor buitenluchtkwaliteit wat kan dit betekenen dat bij druk verkeer er bij het uitgangsportaal zodanig hoge concentraties vrijkomen buiten de tunnel dat de grenzen voor buitenluchtkwaliteit regelmatig worden overschreden.

Het inschakelen van de langsventilatie zal – ook al is dit niet nodig voor de concentraties binnen de tunnel – buiten de tunnel leiden tot lagere concentraties omdat er meer lucht door de tunnel stroomt (zie figuur 8).



Figuur 8 Concentratieverlaging door langsventilatie

Bij brand moet in naast elkaar gelegen tunnelbuizen altijd in dezelfde richting geventileerd worden om te voorkomen dat rook uit de calamiteitsbuis in de naastgelegen tunnelbuis kan stromen.

Deze stelling heeft consequenties voor de opstelling van ventilatoren en de schakeling er van. Dit wordt in de volgende paragrafen nader uitgewerkt inclusief de consequenties voor het gebruiken van langsventilatie voor het beheersen van luchtkwaliteit.

### 3.4.2. Langsventilatie bij de 1<sup>e</sup> Coentunnel

De westbuis van de 1<sup>e</sup> Coentunnel is reeds uitgerust met langsventilatie in de goede richting. De oostbuis van de 1<sup>e</sup> Coentunnel moet in het kader van brandveiligheid voorzien worden van nieuwe langsventilatie in de andere richting dan nu het geval is, omdat de verkeersrichting wordt omgedraaid.

De ventilatiecapaciteit moet in beide tunnelbuizen tenminste zijn afgestemd op de brandsituatie.

De bestaande ventilatie in de westbuis heeft mogelijk onvoldoende capaciteit voor de brandsituatie. Waarschijnlijk moet aanvullende extra ventilatiecapaciteit worden aangebracht door middel van injectorventilatoren bij het ingangsportaal. Dit is gebaseerd op metingen, uitgevoerd in 2005, waarmee werd aangetoond dat de luchtsnelheid in de tunnel met de huidige ventilatie te hoog is (zie rapport Ventilatie Regime Coentunnel d.d. 7 maart 2005 van Rijkswaterstaat Bouwdienst). Die metingen zijn uitge-

---

voerd zonder de weerstand die een grote brand opwekt. Waarschijnlijk is de huidige ventilatie niet geschikt om bij grote branden, met de daarbij optredende luchtweerstand, voldoende ventilatiesnelheid in de rijrichting op te wekken.

Voor de oostbuis moeten sowieso injectorventilatoren bij het ingangsportaal worden geplaatst omdat er nu geen voorziening is om in de nieuwe situatie in de goede richting te ventileren.

De tunneldoorsnede is te klein om aanjaagventilatoren in de tunnel zelf op te hangen. De aanjaagventilatoren moeten daarom bij het ingangsportaal worden opgehangen zoals geïllustreerd in bijlage A.

Omdat de capaciteit van de ventilatie wordt uitgelegd op grote branden met veel stromingsweerstand is de capaciteit in de normale situatie altijd voldoende om een flinke luchtstroom teweeg te brengen. Uit berekeningen blijkt dat de luchtsnelheid in langsrichting bij ingeschakelde ventilatie circa 5 m/s is bij stilstaand of langzaam rijdend verkeer en 8 m/s bij normaal rijdend verkeer. Zonder mechanische ventilatie zou de langssnelheid circa 1 m/s bij langzaam rijdend verkeer respectievelijk 4 m/s bij normaal rijdend verkeer zijn.

Dat betekent dat door inschakeling van de langsventilatie:

- bij langzaam rijdend verkeer de concentratie een factor 5 lager wordt en
- bij normaal rijdend verkeer de concentratie een factor 2 lager wordt

De kwantitatieve beschrijving van het effect op de luchtkwaliteit in de omgeving van de tunnel volgt uit het modelonderzoek van TNO.

Omdat de rijrichting in beide tunnelbuizen in dezelfde richting is kan worden volstaan uitsluitend ventileren van noord naar zuid. De ventilatierichting zal niet omkeerbaar zijn.

### **3.4.3. Langsventilatie bij de 2<sup>e</sup> Coentunnel**

Bij het schetsontwerp van de 2<sup>e</sup> Coentunnel is reeds rekening gehouden met het aanbrengen van langsventilatie: deels als injectorventilatoren bij de ingang en deels als tunnelventilatoren in de tunnelbuis.

Omdat de rijrichting in de westbuis gewisseld kan worden moet ook het ventilatiesysteem omkeerbaar zijn. Ten einde te voorkomen dat bij brand rook in de naastgelegen buis kan stromen moet ook in deze buis de ventilatie omkeerbaar zijn.

Het is nagenoeg ondoenlijk om tegen de rijrichting in te ventileren bij normaal rijdend verkeer, afgezien van het feit dat dit gevaarlijk is bij het ontstaan van brand. In de normale situatie moet dus altijd rekening gehouden worden met ventileren in de rijrichting.

Daarbij zou vervuilde lucht via aerodynamische kortsluiting van de ene in de andere buis kunnen komen waardoor in de tunnel zelf de concentratie stijgt. Volgens onderzoek is dit echter beperkt en afgezien daarvan heeft dit geen invloed op de wijze waarop de emissie uiteindelijk via de tunnelportalen in de omgeving vrijkomt.

---

#### 3.4.4. Schakeling van de langsventilatie

Inschakeling van de langsventilatie met als doel concentratieverlaging in de lucht die uit het tunnelportaal stroomt hoeft niet altijd nodig te zijn. Wanneer er weinig verkeer is dan is er ook weinig emissie terwijl er meestal toch al snel een redelijke luchtstroming aanwezig is. De langsventilatie hoeft dan niet ingeschakeld te worden.

Pas als het erg druk wordt en er dus veel emissie is, terwijl de luchtstroming beperkt is vanwege een lage verkeerssnelheid, is het nuttig de langsventilatie in te schakelen.

De normale regeling van de langsventilatie moet bij brand worden overruled door de regeling voor brandventilatie.

Continue of veelvuldige inschakeling van langsventilatoren leidt tot noodzakelijke eisen aan de maximale geluidsproductie om zowel binnen als buiten de tunnel aan de vereiste geluidsnormen te voldoen.

### 3.5 Schermen rondom het tunnelportaal

Voorgesteld is rondom het zuidelijke tunnelportaal van de 1<sup>e</sup> Coentunnel en rondom het noordelijke tunnelportaal van de 2<sup>e</sup> Coentunnel schermen aan te brengen. Ook bij het zuidelijke tunnelportaal van de 2<sup>e</sup> Coentunnel kunnen schermen worden geplaatst om de emissie uit de wisselbuis beter te verspreiden.

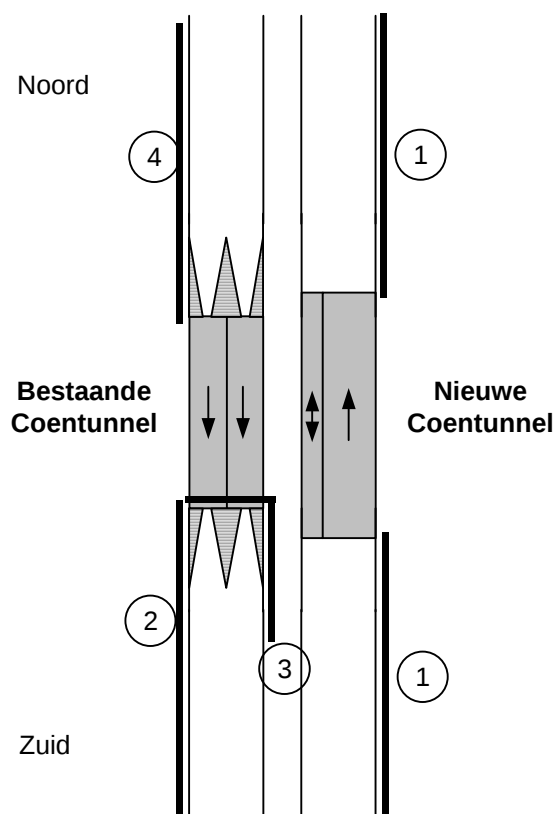
Er zijn verschillende hoogten voor schermen voorgesteld:

- 1,2 m boven maaiveld (schrikwand rondom de tunnelbak)
- 7 m boven maaiveld
- 12 m boven maaiveld

De voorgestelde plaatsen zijn:

1. in ieder geval zowel aan de zuidkant als aan de noordkant van de tunnel oostelijk van de op de 2<sup>e</sup> Coentunnel aansluitende wegvakken
2. een scherm ten westen van het aan de zuidkant op de 1<sup>e</sup> Coentunnel aansluitende wegvak
3. een scherm aan de oostzijde van het aan de zuidkant op de 1<sup>e</sup> Coentunnel aansluitende wegvak en wel over een lengte van circa 100m.
4. een scherm aan de westzijde aan de noordkant van de 1<sup>e</sup> Coentunnel

In figuur 9 zijn de schermen in principevorm aangegeven.



Figuur 9 Schermen bij de tunnelportalen

Het plaatsen van de voorgestelde schermen is technisch mogelijk.

Het effect van dergelijke schermen kan het beste worden beschreven als het hoger leggen van het horizontale vlak tussen de bovenkant van de schermen waardoorheen de emissie vrijkomt. Doordat de plaats waar de emissie vrijkomt hoger ligt treedt meer verdunning in de atmosfeer op waardoor de concentraties in de nabije omgeving lager zijn. De kwantitatieve beschrijving van het effect volgt uit het modelonderzoek van TNO.

Een andere effect is dat bij wind er in de gecreëerde bak tussen de schermen turbulentie wordt opgewekt waardoor eveneens extra verdunning optreedt.

Opgemerkt wordt dat deze maatregel geen elektrische energie vraagt, niet tot meer onderhoud aan ventilatoren leidt en onder alle omstandigheden werkt.

---

## 4. Effecten van de maatregelen

### 4.1 Effect op luchtkwaliteit

#### 4.1.1. Afzuiging en schoorsteen

De invloed van het afzuigen en via een schoorsteen afvoeren van 70% van de hoeveelheid lucht die door de tunnel stroomt is door TNO alleen gemeten in combinatie met 12m hoge schermen rondom het tunnelportaal. Daardoor is de invloed van de afzuiging relatief klein en in de orde van een verlaging van 2 – 3 microgram/m<sup>3</sup> op meetpunten in de directe omgeving.

Bij lagere schermen zou naar verwachting een grotere invloed zijn gemeten.<sup>2</sup>

Een schatting van de invloed van de afzuiging zonder schermen rondom het tunnelportaal kan als volgt worden gevonden:

- Uit het tunnelportaal komt 70% minder emissie vrij, maar de open weg draagt nog wel steeds bij. Wanneer wordt aangenomen dat de open weg over een lengte van 150m bijdraagt, terwijl de tunnallengte circa 600m is, dan neemt door een 70% tunnelafzuiging de totale emissie die invloed heeft op de directe omgeving met circa 50-60% af.
- Daarmee is de invloed van de schoorsteen te vergelijken met de invloed van 3m hoge luchtschermen rondom het tunnelportaal.
- Bij 3m hoge schermen wordt aan het Besluit Luchtkwaliteit 2005 voldaan.

Geconcludeerd wordt dat met een schoorsteen van 25m hoog, die tenminste 70% van de lucht uit de tunnel afzuigt, en zonder schermen rondom het tunnelportaal, aan het Besluit Luchtkwaliteit 2005 wordt voldaan.

#### 4.1.2. Inschakeling langsventilatie

Inschakeling van de langsventilatie doet de luchtsnelheid in de tunnel toenemen waarmee de concentratie direct bij de uitgang afneemt.

Door inschakeling van de langsventilatie is:

- bij langzaam rijdend verkeer de concentratie een factor 5 lager dan zonder mechanische langsventilatie
- bij normaal rijdend verkeer de concentratie een factor 2 lager dan zonder mechanische langsventilatie

Deze situatie is in het TNO-onderzoek niet bekeken. Echter omdat wel de achtergrond concentratie wordt gegeven is een schatting te maken van de invloed van deze maatregel.

---

<sup>2</sup> Dit blijkt uit een onderzoek aan een nieuwe tunnel in de A4 bij Vlaardingen/Schiedam, zie rapport FL 17602-1 d.d. 30 mei 2006 van Adviesbureau Peutz.

---

De totale emissie neemt niet af maar de concentratie in de lucht die de tunnel verlaat is lager. Een verlaging van de concentratie in de omgeving kan alleen optreden als de vermenging met de omgevingslucht beter is. Wanneer de snelheid waarmee de lucht de tunnel verlaat tweemaal zo groot wordt kan worden aangenomen dat de lucht uit de tunnel over een tweemaal zo groot gebied wordt uitgespreid. Daarmee neemt de concentratie in de omgeving ten gevolge van de emissie uit de tunnel met circa 50% af. De bijdrage van de open weg blijft wel aanwezig.

Met deze redenering liggen de concentraties in de omgeving van het tunnelportaal in dezelfde ordegrootte als bij toepassing van 3m hoge luchtschermen rondom het tunnelportaal. Bij 3m hoge schermen wordt aan het Besluit Luchtkwaliteit 2005 voldaan.

Maar uit ervaring van andere projecten (zowel in binnen- als buitenland) blijkt dat het eindresultaat van deze oplossing behoorlijk gevoelig is voor windinvloed.

Geconcludeerd wordt dat met inschakeling van de langsventilatie misschien aan het Besluit Luchtkwaliteit 2005 kan worden voldaan, maar dat daartoe onvoldoende zekerheid is.

#### **4.1.3. Schermen rondom het tunnelportaal**

Door middel van het onderzoek door TNO is vastgesteld dat aan het Besluit Luchtkwaliteit wordt voldaan in de volgende situaties:

##### *Zuidoever*

1. toepassing van een 8 m hoog scherm aan de oostzijde van de tunnelbak van de 2<sup>e</sup> Coentunnel
- of
2. toepassing van een 3 m hoog scherm rondom het uitgangsportaal van de 1<sup>e</sup> Coentunnel in combinatie met een 3 m hoog scherm aan de oostzijde van de tunnelbak van de 2<sup>e</sup> Coentunnel

Hierbij kan worden opgemerkt dat bij optie 1 in het hele gebied betere resultaten worden bereikt dan bij optie 2, maar dat op 2 meetlocaties vlakbij het tunnelportaal de concentratie bij optie 1 slechter is dan bij optie 2 hoewel de concentraties in beide gevallen lager zijn dan in de autonome situatie. De grotere concentratie op de 2 meetlocaties wordt veroorzaakt door het energiegebouw van de 1<sup>e</sup> Coentunnel; de meetlocaties liggen tussen het energiegebouw en de rand van de weg in een soort "niemandsland".

##### *Noordoever*

3. toepassing van 8 m hoog scherm aan de westzijde van de tunnelbak van de 1<sup>e</sup> Coentunnel plus een 8 m hoog scherm aan de oostzijde van de tunnelbak van de 2<sup>e</sup> Coentunnel.

---

Er is ook gemeten met

- 12m hoge schermen rondom het uitgangsportaal
- een 8 m hoog scherm aan de westzijde van de tunnelbak van de 1<sup>e</sup> Coentunnel plus een 8 m hoog scherm aan de oostzijde van de tunnelbak van de 2<sup>e</sup> Coentunnel.

Deze configuraties zijn gunstiger dan de lagere schermen maar niet noodzakelijk om aan het Besluit Luchtkwaliteit 2005 te voldoen.

## **4.2 Effect op verkeersdoorstroming en verkeersveiligheid**

### **4.2.1. Afzuiging en schoorsteen**

De afzuiging en de schoorsteen zelf hebben geen invloed op het verkeer. Bij een grote onderdruk en een korte afstand tussen afzuigopening en bovenkant van passerende vrachtwagens zou een probleem kunnen ontstaan door opwaaiende dekzeilen. In het voorgestelde ontwerp is deze afstand echter groot. Ook is het oppervlak waardoor de lucht de expansieruimte wordt ingezogen zodanig groot dat de verticale luchtsnelheid daar niet meer dan 1 m/s bedraagt.

Daardoor is er geen effect op passerende vrachtwagens met dekzeilen te verwachten. Ook andere passerende weggebruikers ondervinden geen effect van de afzuiginstallatie.

Voor door derden aangeleverde ontwerpen is dit een toetspunt: passerende weggebruikers mogen geen effect van de afzuiginstallatie ondervinden.

Om het afzuigstelsel goed te kunnen laten werken moet de langsventilatie worden ingeschakeld. Volgens de ervaring in bestaande tunnels met langsventilatie heeft dit geen invloed op passerende weggebruikers.

Wanneer bij het uitgangsportaal eventueel een luchtgordijn wordt toegepast zou dat invloed kunnen hebben op passerende motorrijders en op vrachtwagens met dekzeilen.

Er is hier – ook internationaal – weinig ervaring mee en hier zou nader onderzoek aan moeten worden gedaan.

Vooralsnog wordt niet van toepassing van een luchtgordijn uitgegaan.

Omdat de voorzieningen niet zichtbaar zijn voor het verkeer is er geen effect te verwachten op de verkeersdoorstroming. De voorzieningen leiden ook niet tot extra afsluitingen van de tunnel ten behoeve van onderhoud.

De plaats en constructie van de schoorsteen alsmede de plaats en vorm van de afzuigkanalen worden zodanig uitgevoerd dat de toegang voor de openbare hulpdiensten (OHD) via de dienstwegen (gepositioneerd tussen de beide tunnels) is gewaarborgd.

---

#### **4.2.2. Inschakeling langsventilatie**

Volgens de ervaring in bestaande tunnels met langsventilatie heeft ingeschakelde langsventilatie geen invloed op passerende weggebruikers – niet op automobilisten en ook niet op motorrijders. Er is dus geen consequentie voor verkeersveiligheid.

De voorzieningen zijn wel zichtbaar voor het verkeer maar niet storend. Overigens zijn deze voorzieningen sowieso noodzakelijk vanwege situaties met brand.

Het gebruik van de voorziening voor het beheersen van luchtkwaliteit leidt niet tot extra afsluitingen van de tunnel ten behoeve van onderhoud. De doorstroming wordt dus niet negatief beïnvloed.

#### **4.2.3. Schermen rondom het tunnelportaal**

Weggebruikers kunnen de weg bij het verlaten van de tunnel als tamelijk besloten ervaren. Echter zulke situaties komen ook elders voor en er is geen invloed op verkeersveiligheid vastgesteld. Men zal dit ervaren als een gegeven en er verder niet op letten. Er is dus geen consequentie voor verkeersveiligheid.

Hoewel de voorzieningen zichtbaar zijn voor het verkeer is er visueel geen verschil met geluidsschermen. Weggebruikers zijn hieraan gewend en er treden dus geen nadelige effecten als afremmen op. De voorzieningen leiden ook niet tot extra afsluitingen van de tunnel ten behoeve van onderhoud.

De doorstroming wordt dus niet negatief beïnvloed.

De schermen worden zodanig uitgevoerd dat de toegang voor de openbare hulpdiensten (OHD) is gewaarborgd.

### **4.3 Effect op tunnelveiligheid**

Tunnelveiligheid betreft met name de omstandigheden tijdens brand. Ventilatie moet er voor zorgen dat gestrande weggebruikers niet of zo min mogelijk in de rook komen te staan.

Ventilatie wordt – volgens de Veiligheids-Richtlijnen deel C voor tunnels, uitgegeven door Rijkswaterstaat – niet specifiek aangebracht voor situaties met vrijgekomen explosieve gassen of toxische stoffen.

De effecten op tunnelveiligheid moeten dus worden gerelateerd aan brand.

---

#### **4.3.1. Afzuiging en schoorsteen**

Met afzuiging kan een groot deel van de rook via de schoorsteen worden afgevoerd. Desondanks zal bij grote branden een deel van de rook via het uitgangsportaal vrijkomen.

Uit ervaring blijkt dat bij brand de tunnelbak zich onder bepaalde windcondities kan vullen met rook. Dit is ongunstig als de vluchtweg in de betreffende tunnelbak uitkomt. Door gebruik van de schoorsteen wordt dit gevaar verminderd.

Om rook te kunnen afzuigen is het nodig dat de ventilatoren in de schoorsteen geschikt zijn voor hoge temperaturen.

Wanneer de langsventilatie is ingeschakeld in de rijrichting ter ondersteuning van het afzuigstelsel dan is dit gunstig bij het ontstaan van brand. De luchtstroming wordt immers reeds in de verkeersrichting gestuurd waardoor er geen inschakeltijd verloren gaat.

Bij brand moet de snelheidsregeling – van toepassing onder normale omstandigheden – worden overruled ten gunste van de ventilatieschakeling bij brand. Dit is zonder problemen oplosbaar in de besturingsinstallatie.

#### **4.3.2. Inschakeling langsventilatie**

Net als bij het afzuigstelsel geldt dat wanneer de langsventilatie is ingeschakeld in de rijrichting voor verdunning van de vervuilde tunnellucht dit gunstig is bij het ontstaan van brand. De luchtstroming wordt immers reeds in de verkeersrichting gestuurd waardoor er geen inschakeltijd verloren gaat.

Bij brand moet de snelheidsregeling – van toepassing onder normale omstandigheden – worden overruled ten gunste van de ventilatieschakeling bij brand. Dit is zonder problemen oplosbaar in de besturingsinstallatie.

#### **4.3.3. Schermen rondom het tunnelportaal**

De schermen hebben geen directe invloed op rookbewegingen in de tunnel.

Als er al een invloed bestaat dan is deze positief omdat de schermen de directe windinvloed op de portalen vermindert het langsventilatiesysteem met grotere zekerheid kan werken.

---

## 5. Conclusies

Het effect van de verschillende maatregelen op de luchtkwaliteit is als volgt:

1. Toepassing van een schoorsteen met een hoogte tussen 25 en 30 meter en die tenminste 70% van de lucht uit de tunnel afzuigt en met tenminste 10 m/s verticaal omhoog blaast leidt tot voldoende verlaging van de concentraties in de directe omgeving van de tunnel. Deze oplossing is echter duur, zowel in aanleg als in beheer.
2. Inschakeling van de langsventilatie heeft naar schatting een beperkt maar mogelijk een voldoende effect op verlaging van de concentraties in de directe omgeving van de tunnel. Vanwege windinvloeden is er echter geen zekerheid dat de concentraties voldoende worden verlaagd. Deze oplossing is qua aanleg goedkoop omdat de ventilatoren namelijk ook nodig zijn vanwege situaties met brand. Vanwege de inschakeling ontstaan wel kosten vanwege energiegebruik, extra onderhoud en een kortere afschrijvingstermijn.
3. Luchtschermen langs de weg leiden tot voldoende verlaging van de concentraties in de directe omgeving van de tunnel. Voordeel van deze oplossing is dat er geen extra energiegebruik optreedt, er weinig onderhoudskosten zijn en geen storingen kunnen optreden (het werkt altijd).

Geconcludeerd wordt dat met inschakeling van de langsventilatie misschien aan het Besluit Luchtkwaliteit 2005 kan worden voldaan, maar dat daartoe onvoldoende zekerheid is.

Geen van de voorgestelde oplossingen heeft invloed op de verkeersveiligheid.

Ook de verkeersdoorstroming wordt niet negatief beïnvloed.

De voorgestelde oplossingen hebben geen negatieve invloed op tunnelveiligheid (brandsituatie) en werken mogelijk zelfs positief.

Het regelsysteem van de ventilatie moet in de brandsituatie anders werken dan in de normale situatie. Hiermee moet in het ontwerp terdege rekening zijn gehouden.

Elk van de beschreven oplossingen is “maakbaar” ofwel technisch mogelijk.

---

## 6. Opdracht en verantwoording

### 6.1 Opdrachtformulering Dienst Noord-Holland

De opdracht van de RWS Dienst Noord-Holland aan de RWS Bouwdienst is:

- Lever “maakbare” voorstellen waarmee de luchtkwaliteit rondom de tunnelportalen zodanig wordt verbeterd dat mogelijk kan worden voldaan aan de wettelijke eisen doch in ieder geval de concentratie niet hoger is dan in de autonome situatie.
- Beschrijf het effect op de luchtkwaliteit van elk voorstel.
- Begeleidt het onderzoek naar de concentraties in de omgeving van de tunnelportalen door TNO
- Beschrijf de gevolgen voor tunnelveiligheid, verkeersdoorstroming en verkeersveiligheid als gevolg van de voorgestelde oplossingen

Hierbij wordt opgemerkt dat de vertaling van de wettelijke eisen aan luchtkwaliteit voor dit project is beschreven in het rapport “Onderzoek en advisering Luchtkwaliteit TCC/WRW” d.d. 21 december 2005, opgesteld door Van Rangelrooy Consultancy, DHV en OAG.

### 6.2 Uitvoering van de opdracht

Om bij de 1<sup>e</sup> en 2<sup>e</sup> Coentunnel voor het referentiejaar de concentraties in de nieuwe situatie met de autonome situatie te vergelijken is het noodzakelijk na te gaan hoe emissies zich verspreiden. Daartoe is modelonderzoek noodzakelijk.

De RWS Bouwdienst leverde de nodige varianten die door TNO in het modelonderzoek zijn onderzocht. Bij elk van de varianten is aangegeven hoe deze in de bestaande en nieuwe tunnel kunnen worden ingepast, wat de consequenties zijn voor de verkeersveiligheid en voor tunnelveiligheid.

TNO voerde onderzoek aan een schaalmodel uit waarbij via *modelonderzoek* werd de wijze en mate van verspreiding rondom de tunnelportalen vastgesteld, hiermee werden verhoudingen tussen de bronsterkte en de concentraties op de meetpunten vastgesteld.

Vervolgens werden door *berekening* op basis van de werkelijke bronsterkte de werkelijk optredende concentraties op de meetpunten bepaald.

De RWS Bouwdienst heeft mede de uitvoering van de modelonderzoeken begeleid.

---

## Literatuur

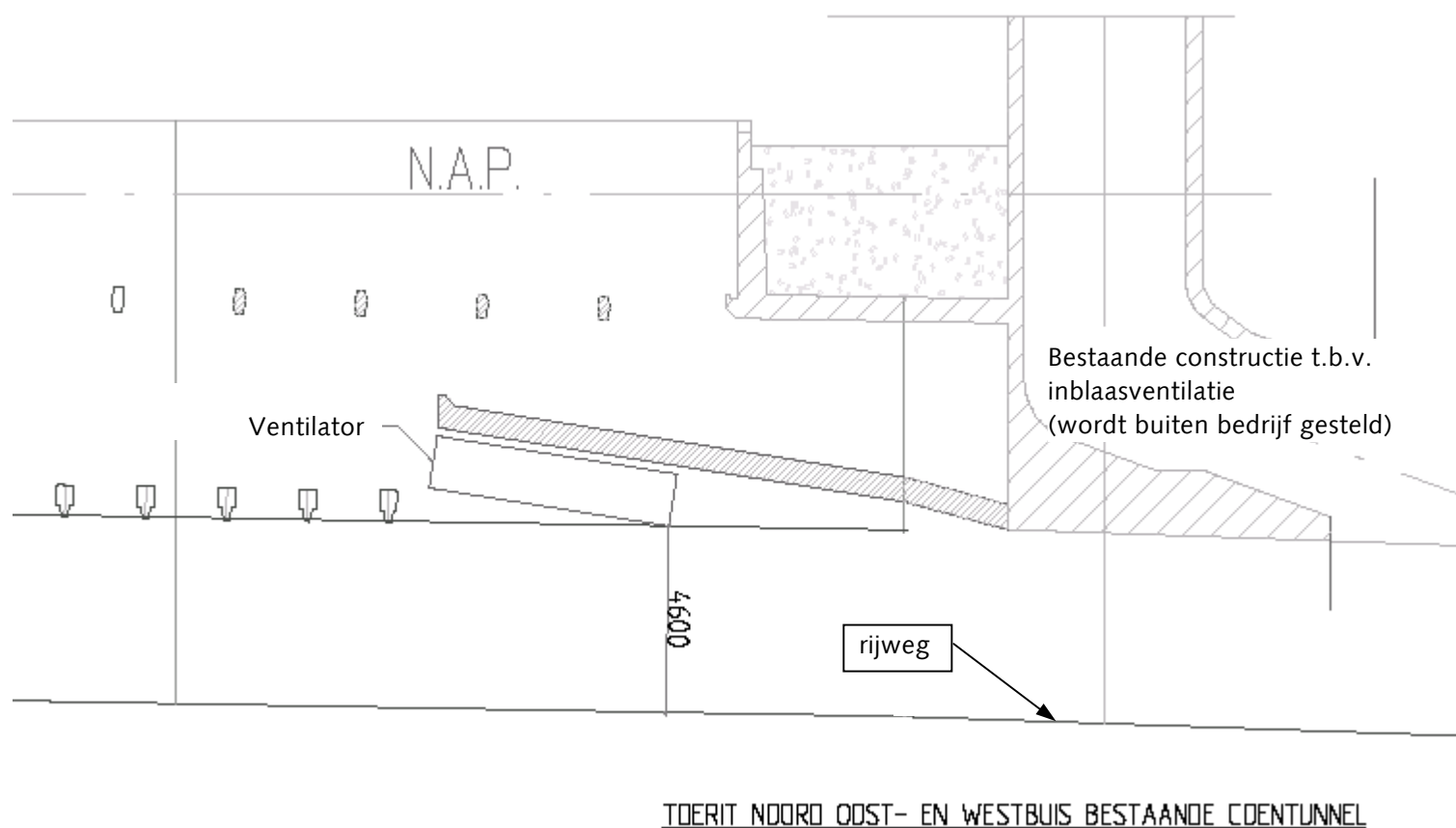
- [1] Aanbevelingen Ventilatie van Verkeerstunnels, Rijkswaterstaat Bouwdienst, 2005, Hoofdauteur ir. J.W. Huijben
- [2] Road Tunnels: A Guide to Optimising the Air Quality Impact upon the Environment, Piarc, 2006
- [3] Project A4 Delft-Schiedam – aspect luchtkwaliteit, Advies Commissie Van Hout, Rijkswaterstaat Dienst Zuid-Holland, 2005
- [4] The aerodynamic characteristics of longitudinal tunnel ventilation systems using multiple extraction and injection nozzles, R. Matthews et al, CenTAR, UK, BHR Conference, 2003
- [5] The development of the ventilation systems for the Schlund and Spier Tunnels on the A2 motorway near Lucerne, Switzerland, BHR Conference, 2003
- [6] Limehouse Link road tunnel ventilation “From theory to practice”, D. Woods et al, UK, BHR Conference, 1994
- [7] The study on Characterization of discharge of polluted air at tunnel outlet for a one way traffic tunnel, T. Shimokawa, S. Mori, Metropolitan Expressway Public Corporation, Y. Ota, Chiyoda Engineering Consultants, Japan, BHR Conference, 1994

---

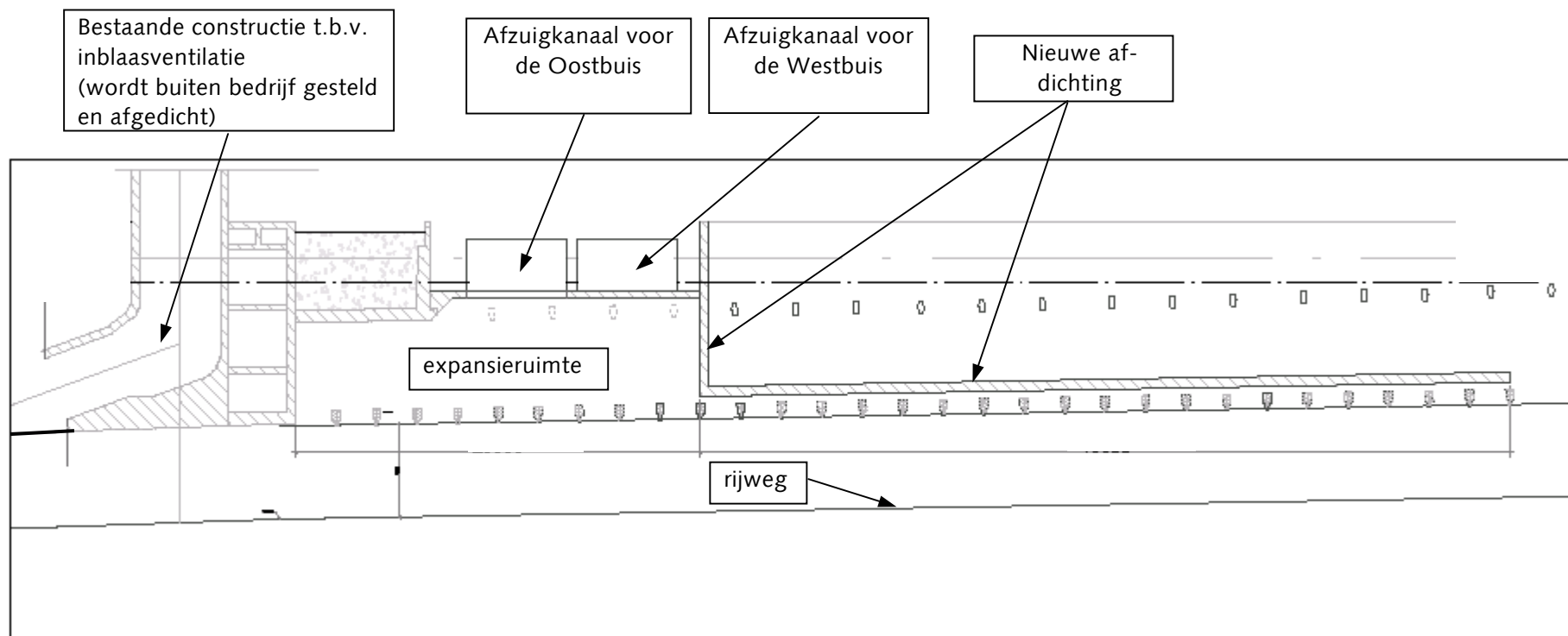
## Bijlage A

Tekeningen van principe oplossingen voor:

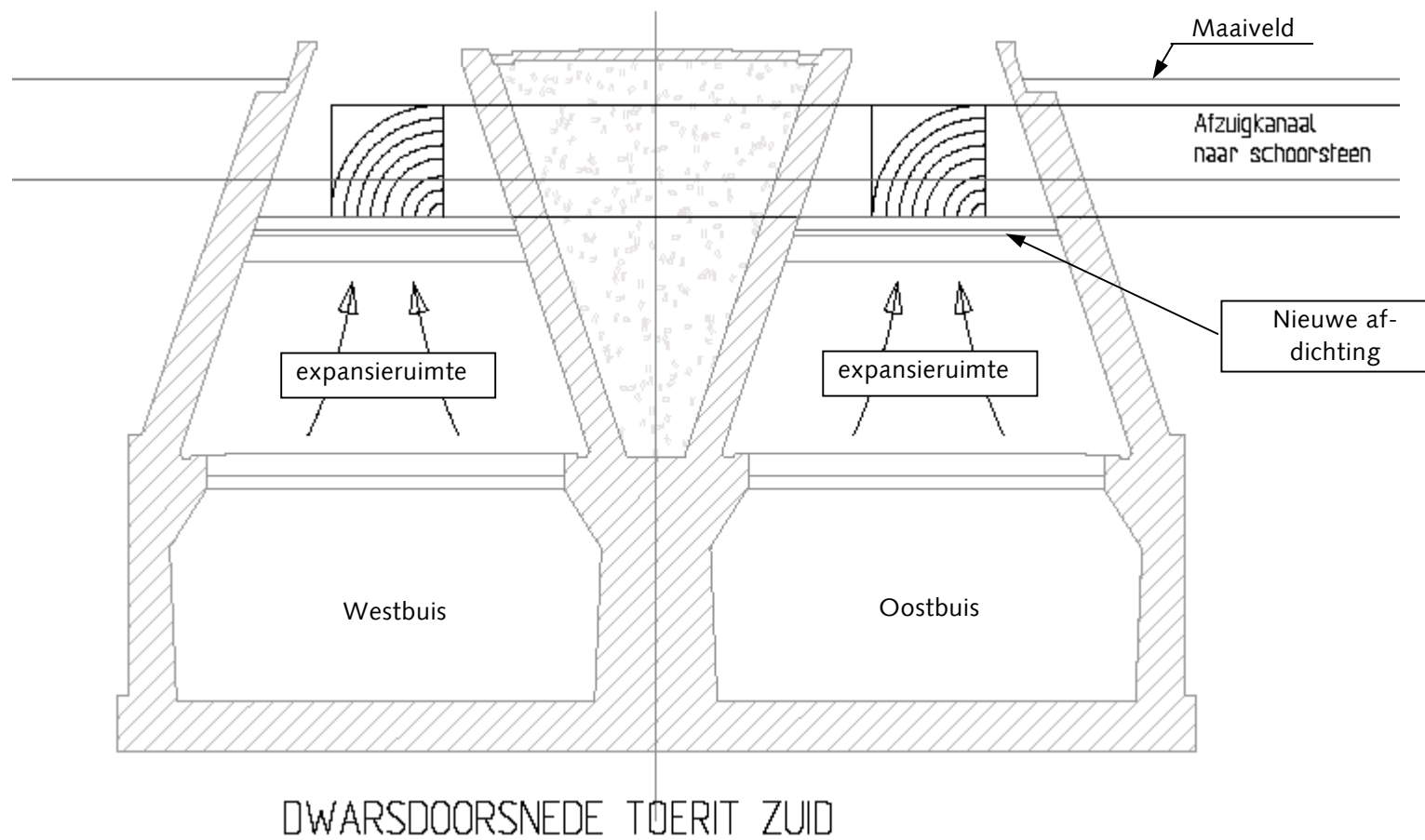
- Aanjaagventilatoren in de ingang van de bestaande Coentunnel
- Afzuiging bij de uitgang van de bestaande Coentunnel



Langsdoorsnede 1<sup>e</sup> Coentunnel ter plaatse van de nieuw aan te brengen aanjaagventilatoren bij het ingangsportaal



Langsdoorsnede 1<sup>e</sup> Coentunnel ter plaatse van de afzuiging en de aansluitende nieuwe afdichting van de bovenzijde van de tunnel



Dwarsdoorsnede 1<sup>e</sup> Coentunnel ter plaatse van de afzuiging en de aansluitende afzuigkanalen

---

## Bijlage B

Kopie van artikel "The study on Characterization of discharge of polluted air at tunnel outlet for a one way traffic tunnel", T. Shimokawa, S. Mori, Metropolitan Expressway Public Corporation

**The Study on Characterization of Discharge of Polluted Air at Tunnel Outlet  
for The One Way Traffic Tunnel of Transversally System**

T. Shimokawa, S. Mori  
Metropolitan Expressway Public Corporation

K. Komatsu  
Ebara Research Co., Ltd.

Y. Ota  
Chiyoda Engineering Consultants Co., Ltd.

**Abstract**

This paper faces two kinds of transverse ventilation systems, one with point extraction and one with increased exhaust volume. We give the results of a survey based on a scale model experiment on the characteristics of pollutants discharge at tunnel portals. With this experiment research, it became clear, amongst others, that the exhaust rate and the discharge rate at the tunnel portal are inversely proportionate, and that the effect of the discharge rate control at the tunnel portal is better with an increased exhaust volume system than with a point extraction system.

## Nomenclature

|                |                                                                                                          |                                |
|----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|
| $A_b$          | :area of the ventilation inlet                                                                           | $m^2$                          |
| $A_e$          | :area of the ventilation outlet                                                                          | $m^2$                          |
| $A_e'$         | :area of the point extraction shaft                                                                      | $m^2$                          |
| $A_r$          | :cross-sectional area of the tunnel ( $=H \cdot W$ )                                                     | $m^2$                          |
| $C_{co}$       | :concentration of the tracer gas                                                                         |                                |
| $C_e$          | :exhaust gas concentration in the duct                                                                   |                                |
| $C_e'$         | :exhaust gas concentration in the duct for portal point extraction                                       |                                |
| $C_r$          | :concentration in the tunnel                                                                             |                                |
| $C_0$          | :background concentration                                                                                |                                |
| $d_r$          | :hydraulic diameter of the tunnel                                                                        | $m$                            |
| $E_0$          | :portal discharge rate                                                                                   | $\%$                           |
| $G_e$          | :overall release volume ( $=\omega \cdot L$ ) of the tracer gas (or the pollutant) in the concerned part | $m^3/s$                        |
| $\omega$       | :tracer gas release per unit length                                                                      | $m^3/(s \cdot m)$              |
| $H$            | :tunnel height                                                                                           | $m$                            |
| $L$            | :overall tunnel length                                                                                   | $m$                            |
| $W$            | :tunnel width                                                                                            | $m$                            |
| $\ell_e$       | :distance between ventilation outlets in longitudinal direction                                          | $m$                            |
| $\ell_e'$      | :distance between point extraction and tunnel portal                                                     | $m$                            |
| $\ell_b$       | :distance between ventilation inlets in longitudinal direction                                           | $m$                            |
| $\ell_{trans}$ | :length of the transverse ventilation section                                                            | $m$                            |
| $\ell_1$       | :length of section with normal transverse volume                                                         | $m$                            |
| $\ell_2$       | :length of section with increased exhaust volume                                                         | $m$                            |
| $N$            | :traffic volume                                                                                          | $veh/(h \cdot 2 \text{ lane})$ |
| $q_{b1}$       | :inlet volume per unit length in the normal transverse volume section                                    | $m^3/(s \cdot m)$              |
| $q_{b2}$       | :inlet volume per unit length in the increased exhaust volume section                                    | $m^3/(s \cdot m)$              |
| $Q_{b1}$       | :overall inlet volume in the normal transverse volume section                                            | $m^3/s$                        |
| $Q_{b2}$       | :overall inlet volume in the increased exhaust volume section                                            | $m^3/s$                        |
| $Q_e'$         | :extraction volume in the portal point extraction shaft                                                  | $m^3/s$                        |

|                 |                                                                         |                   |
|-----------------|-------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| $Q_{e1}$        | :exhaust volume per unit length in the normal transverse volume section | $m^3/(s \cdot m)$ |
| $Q_{e2}$        | :exhaust volume per unit length in the increased exhaust volume section | $m^3/(s \cdot m)$ |
| $Q_r$           | :flow volume in the tunnel                                              | $m^3/s$           |
| $q_{co_2}$      | :tracer gas injection volume                                            | $m^3/s$           |
| $q_{out}$       | :portal discharge volume                                                | $m^3/s$           |
| $V_r$           | :flow velocity in the tunnel                                            | $m/s$             |
| $V_1$           | :model car velocity                                                     | $m/s$             |
| $\varepsilon_1$ | :mixing rate of large size vehicles                                     | $\%$              |

## 1. Introduction

Ventilation in road tunnels has the purpose of, on the one hand, securing an environment within the tunnel that is safe and pleasant, and on the other hand maintenance works. Besides that, in Japan the choice of an effective ventilation system for the preservation of the atmospheric environment near the tunnel portal has also become a big issue. Especially for road tunnels in urban cities, the discharge control of pollutants at tunnel portals is an important environmental subject. As for the use of transverse ventilation systems in one-way traffic tunnels, the matter of portal environment regulations still has to be settled. The intensity of induced air velocity by piston action of one-way traffic higher than two way traffic. A part of the road pollutants exhausted by the traffic is carried out of the tunnel exit by this flow. This phenomena will be very serious problem in urban area.

According to this situations, the object of the underlying research is the control of the pollutants discharge from the tunnel portal and we investigate transverse ventilation systems with point extraction (Figure 1.a) and with increased exhaust volume (Figure 1.b). We apply different exhaust system and on basis of a scale model experiment we discuss the results of a survey on the characteristics of the discharge rate at tunnel exit while controlling the longitudinal flow in the tunnel.

## 2. Outline of the experiment

The model consists of a one-way traffic tunnel on a scale of 1/200 which is supplied with two transverse ventilation systems, one with point extraction (Figure 1. a) and one with increased exhaust volume, and model cars on the same scale. Furthermore, a supplementary tunnel for flow volume measurements is fixed to the upper side of the tunnel. Making this model into a 22m long running facilities for model cars, experiments are carried out. To find the characteristics of the discharge rate at the tunnel portal with vehicles running, we measure the density distribution towards the axis of the tunnel and the density in the duct with point extraction at the ventilation outlet as well as the tunnel portal, this under the condition of tracer gas ( $\text{CO}_2$ ) being line-source injected from the road surface. We also measure the volume of the tunnel flow, ventilation in and outlet and the point extraction flow. With these values we find the characteristics of the discharge rate at the tunnel portal and the density distribution within the tunnel as far as pollutants is concerned. The experiment parameters are as follows:

- I) Length proportion of the transverse ventilation section with increased exhaust volume ( $\ell_2 / L$ )
- II) Distance between point extraction shaft and tunnel portal ( $\ell_e^*$ )
- III) Volumes of the supply air and exhaust air at the transverse ventilation part with normal transverse volume ( $q_{e1}$ ,  $q_{b1}$ )
- IV) Volumes of the supply air and exhaust air at the transverse ventilation part with increased exhaust volume ( $q_{e2}$ ,  $q_{b2}$ )
- V) Exhaust flow volume of the tunnel portal point extraction ( $Q_e^*$ )

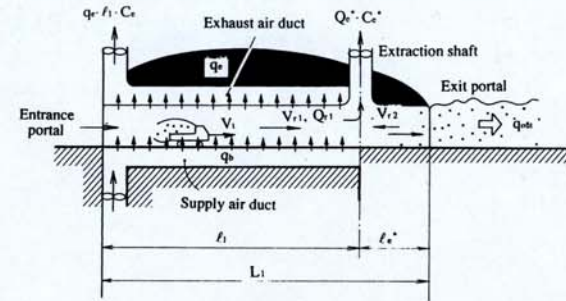


Figure 1. a) Transverse Ventilation System with Point Extraction

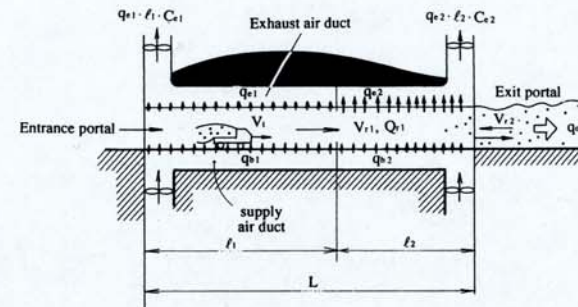


Figure 1. b) Transverse Ventilation System with Increased Exhaust Volume

### 3. Experiment apparatus

#### 3.1 Running apparatus for model cars and measuring system

In this experiment we use a 22m long running apparatus for scale model cars, as shown in Figure 2. At both ends of the apparatus there are two pulleys. To the pulley at the one end a motor is connected which transmits its power to the pulley through a V-belt. The pulley at the other end is free and turns around at the same speed as the driving pulley through a special belt. The construction is such that the model cars fixed on this special belt move in a straight line in the tunnel with a prescribed velocity.

Figure 3 shows the measuring system. For the tracer gas we use highly pure carbon dioxides gas ( $\text{CO}_2$ ). The tracer gas is released into the tunnel from point or line sources by the use of a gas vessel, vaporizer, pressure control unit and a flow meter. The flow volume of the tracer gas is measured with a mass flow controller and flow meters. The model cars are on a 1/200 scale and represented passenger vehicles in the 2000cc class and trucks with a load capacity of 7.75 tons. The models are molded in a rectangular shape with similar length, width and height.

#### 3.2 Main dimensions of the model

Tables 1 and 2 give the main dimensions of the transverse ventilation tunnel with point extraction and with increased exhaust volume. The model tunnel is on a scale of 1/200 and for both ventilation systems the cross-sectional dimensions (H, W) and surface ( $A_r$ ) of the tunnel are equal. In the tables also the converted values for the real situation are listed.

Table 1. The Major Tunnel Specification of Transverse System with Point Extraction

| H(m)             | W(m)             | $A_r$ (m <sup>2</sup> )          | $\ell_1$ (m)   | $\ell_e^*$ (m) | L(m)           |                                                                                                        |
|------------------|------------------|----------------------------------|----------------|----------------|----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 0.0473<br>(9.46) | 0.0307<br>(6.14) | $1.452 \times 10^{-3}$<br>(58.1) | 5.25<br>(1050) | 0.5<br>(100)   | 5.75<br>(1150) | $\ell_b = 0.05(10)$<br>$\ell_e = 0.1(20)$<br>$A_e^* = 1.75 \times 10^{-3}(70)$<br>$d_r = 0.0372(7.45)$ |
|                  |                  |                                  |                | 1.0<br>(200)   | 6.25<br>(1250) |                                                                                                        |
|                  |                  |                                  |                | 1.5<br>(300)   | 6.75<br>(1350) |                                                                                                        |

The value of ( ) is applied to actual condition

Table 2. The Major Tunnel Specification of Transverse System with Increased Exhaust Volume

| H(m)             | W(m)             | $A_r$ (m <sup>2</sup> )          | $\ell_1$ (m) | $\ell_2$ (m) | L(m)        |                                                                   |
|------------------|------------------|----------------------------------|--------------|--------------|-------------|-------------------------------------------------------------------|
| 0.0473<br>(9.46) | 0.0307<br>(6.14) | $1.452 \times 10^{-3}$<br>(58.1) | 4.5<br>(900) | 0.5<br>(100) | 5<br>(1000) | $\ell_b = 0.05(10)$<br>$\ell_e = 0.1(20)$<br>$d_r = 0.0372(7.45)$ |
|                  |                  |                                  | 4.0<br>(800) | 1.0<br>(200) | 5<br>(1000) |                                                                   |
|                  |                  |                                  | 3.5<br>(700) | 1.5<br>(300) | 5<br>(1000) |                                                                   |

The value of ( ) is applied to actual condition

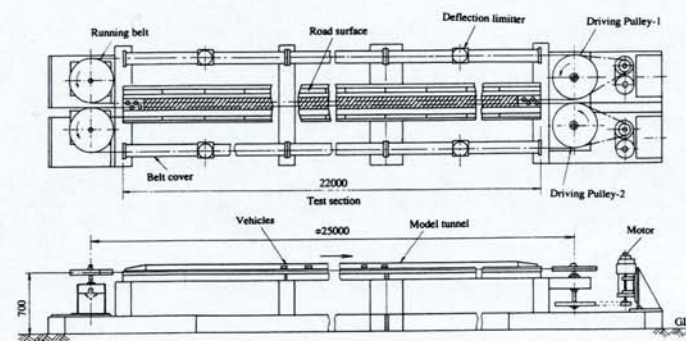


Figure 2 Running Apparatus for the Scale Model Cars

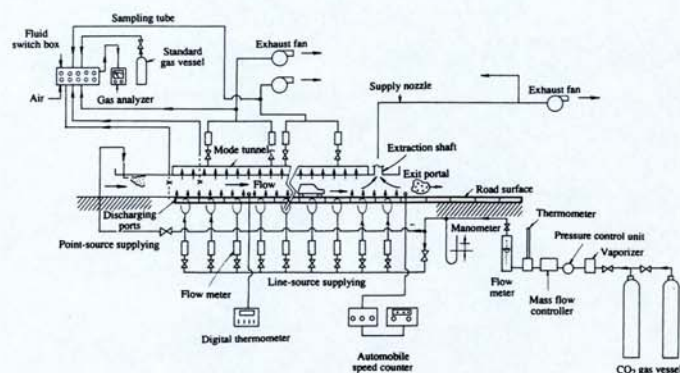


Figure 3. Schematic Diagram of Measuring System on the Model Tunnel

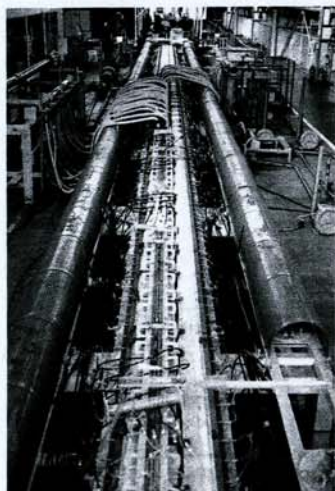


Figure 4. Overview of testing apparatus

#### 4. Experiment method

The exhaust flow volume of the tunnel portal point extraction shaft and the in and outlet flow volumes  $q_e$  and  $q_0$  in the transverse ventilation part  $Q_e$ . The flow volume in the tunnel is measured by injection tracer gas from point sources in the upstream of the tunnel as shown in Figure 5, measuring the density at the lower part of the tunnel where the tracer gas is sufficiently mixed and using the following equations coming from the mass balance of the tracer gas and the relation between the incoming and outgoing flow. Also, the measuring for in and outlet volume and the point extraction volume in the transverse ventilation section are the same method.

$$Q_T = q_{CO_2} \frac{(C_{CO_2} - C_0)}{(C_T - C_0)} \quad (1)$$

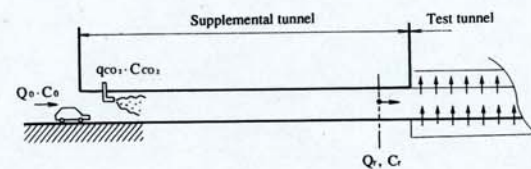


Figure 5. Tracer Gas Density Scheme

We have analyzed the density longitudinal direction of the tunnel part by taking samples by measuring probe with 1mm diameter at the roof and side walls of the tunnel and using a gas analyzer through a fluid switch box, this under the situation that the tracer gas is continuously injected from point sources through the tunnel. Also the density in the exhaust duct is measured. For this model experiment we have scaled down the following conditions from the real situation:

$$\begin{aligned} N &= 1771 \text{ Veh}/(\text{h} \cdot 2 \text{ lane}) \\ U_i &= 38.1 \text{ km/h} \\ \varepsilon_i &= 25.2\% \end{aligned}$$

In this experiment we realize the above situation on a 1/200 scale and we have mixed the large sized vehicles between the passenger vehicles equally, according to the above mix rate. Table 3 lists the head to head distances between the cars (non-dimension). The velocity of the model cars in this experiment is the same as that in actual condition ( $V_i = 38.1 \text{ km/h}$ ).

Table 3 Head to head distance between the vehicles (non-dimension)

| $\ell_{i(\text{one-lane})}$ |                          | $(\ell_i / d_i)_{\text{one-lane}}$ |
|-----------------------------|--------------------------|------------------------------------|
| $\ell_{i(P)}(\text{m})$     | $\ell_{i(M)}(\text{mm})$ |                                    |
| 43.0                        | 215                      | 5.78                               |
|                             |                          | (P) : Proto type<br>(M) : Model    |

## 5. Method of handling the results

Taking the tunnel portal discharge volume  $q_{\text{out}}$  as a basis adopting to the overall tracer gas discharge volume (conform the pollutants outlet power in the real situation) we defined the tunnel portal discharge rate  $E_0$  as follows:

$$E_0 = \left( \frac{q_{\text{out}}}{\omega \cdot L} \right) \times 100\% \quad (2)$$

Direct measuring of discharge rate at the tunnel portal gives problems on various aspects, for example accuracy. Therefore, if we know the exhaust flow (which we can measure), the exhaust density and the overall injected volume of tracer gas, we find the value from the tracer gas balance as stated as follows.

5.1 In the case of a transverse ventilation system with point extraction (also Figure 1. a).

The discharge air volume at tunnel portal is

$$q_{\text{out}} = \omega L - q_e \ell_1 C_e - Q_e^* C_e^* \quad (3)$$

with the equation 2 and 3, the discharge rate at the tunnel portal  $E_0$  is

$$E_0 = \left( 1 - \frac{(q_e \ell_1 C_e + Q_e^* C_e^*)}{\omega \cdot L} \right) \times 100 \quad (4)$$

5.2 In the case of tunnels with a transverse ventilation system with increased exhaust volume (also Figure 1. b))

The discharge air volume at the tunnel portal is

$$q_{\text{out}} = \omega \cdot L - q_{e1} \cdot \ell_1 \cdot C_{e1} - q_{e2} \cdot \ell_2 \cdot C_{e2} \quad (5)$$

with the equation 2 and 5, the discharge rate at the tunnel portal  $E_0$  is

$$E_0 = \left( 1 - \frac{q_{e1} \cdot \ell_1 \cdot C_{e1} + q_{e2} \cdot \ell_2 \cdot C_{e2}}{\omega \cdot L} \right) \times 100 \quad (6)$$

### 5.3 Exhaust rate

The exhaust rate  $ER^*$  for the case of a transverse ventilation system with point extraction is given with the following equation:

$$ER^* = \frac{Q_{e^*}}{Q_{t1}} \quad (7)$$

The exhaust rate  $ER$  for the case of a transverse ventilation system with increased exhaust volume is given with the following equation:

$$ER = \frac{q_{e2} \cdot \ell_2}{Q_{t1} + q_{e2} \cdot \ell_2} \quad (8)$$

## 6. Results of the experiment

6.1 Characteristics of the discharge rate at the tunnel portal in case of a transverse ventilation system with point extraction.

In Figure 6 the relation is shown between the exhaust rate  $ER^*$  at the point extraction shaft and the discharge rate  $E_0$  at the tunnel portal. From the Figure it is clear that the discharge rate  $E_0$  at the tunnel depends on the exhaust rate  $ER^*$ , largely and that the exhaust rate becomes bigger, the discharge rate becomes smaller. In Figure 7 the relation is shown between the distance from the point extraction shaft to the tunnel portal  $\ell_{e^*}$  and the discharge rate  $E_0$  at the tunnel portal. As can be seen from this figure, the value becomes smaller, the larger the value  $E_0$  becomes,

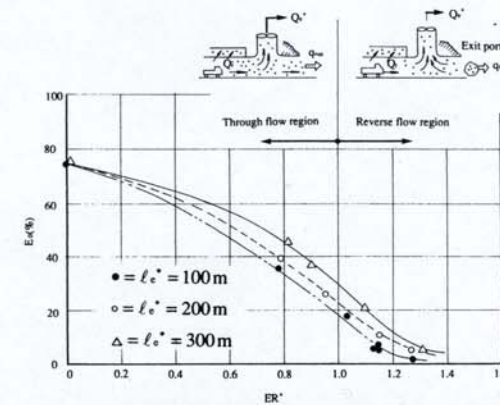


Figure 6. Characteristics of the Discharge Rate at The Tunnel Entrance in case of a Transverse Ventilation System with Point Extraction

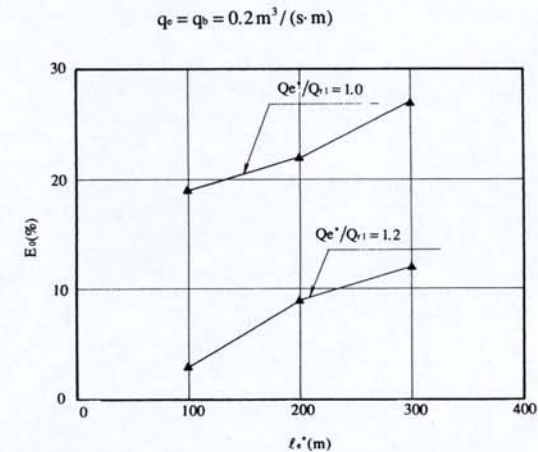


Figure 7. Distance between Point Extraction Shaft and Tunnel Portal against the Discharge Rate

6.2 Characteristics of the discharge rate at the tunnel portal in case of a transverse ventilation system with increased exhaust volume.

In Figure 8 the relation is shown between the exhaust rate ER at the point extraction shaft and the discharge rate  $E_0$  at the tunnel portal. As comparison, the experiment results for the case of point extraction is given as well. From this Figure the following is clear:

- 1) The discharge rate  $E_0$  at the tunnel portal depends largely on the exhaust rate ER. For example, if  $ER=0$  then  $E_0=74\%$  and if  $ER=1.0$  then  $E_0=14\%$ .
- 2) In the part of counter flow direction where  $ER>1$ , the discharge rate at the tunnel exit shows a saturating tendency, and if the value ER is above 1.2, the reducing tendency of this discharge rate is slowed down.
- 3) The influence of the length  $\ell_2$  of the increased exhaust volume section on the discharge rate  $E_0$  at the tunnel exit is about  $\pm 6\%$  (when  $ER=0.4$ ) at the maximum.
- 4) The controllability of the discharge rate  $E_0$  at the tunnel exit by the increased exhaust volume system is higher than the point extraction system ( $ER = ER^* < 1.2$ )

### 6.3 Concentration distribution in the tunnel

Here we discuss the comparison of the experiment values and the theoretical values of the concentration distribution in the tunnel. The theoretical concentration equation the normal transverse section and the increased exhaust volume section can be described as follows<sup>20</sup>:

a) Equal flow volume section ( $q_b = q_e \neq 0$ )

Under the condition of a constant flow velocity  $V_r$ , the following equation is formed.

$$C_{(x)} = \frac{\omega}{q_b} \left( 1 - e^{\frac{-q_b X}{A_r V_r}} \right) \quad (9)$$

$X$  is the distance from the beginning section of the normal transverse volume section towards the down stream.

b) Exhaust volume increase part ( $q_b \neq 0, q_b \neq q_e$ )

The density at the beginning of this part  $C_{(0)}$ , and the beginning velocity, we have the following equation:

$$C_{(x)} = \frac{1}{q_b} \left[ \omega + (q_b C_{(0)} - \omega) \left( \frac{V_{r(0)}}{V_{r(x)}} \right)^{\frac{q_b}{q_b - q_e}} \right] \quad (10)$$

Here, the velocity change in this part is

$$V_{r(x)} = V_{r(0)} + \frac{(q_b - q_e) \cdot X}{A_r} \quad (11)$$

$X$  is the distance from the beginning of the increased exhaust volume section towards the down stream

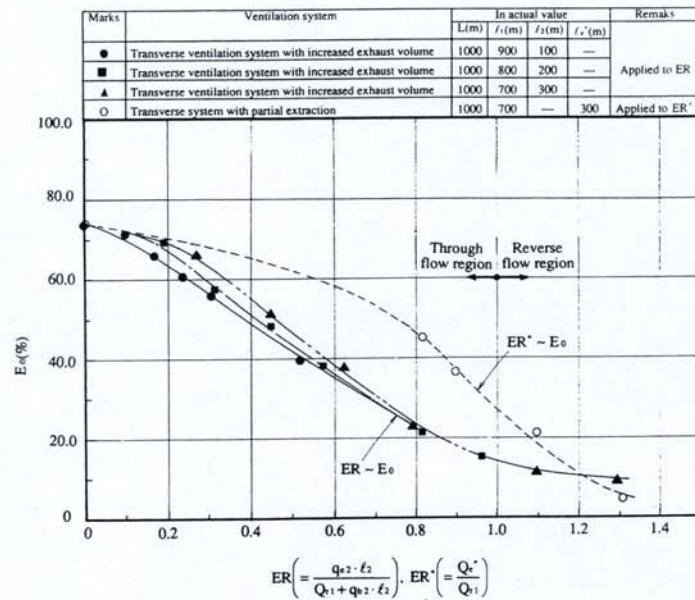


Figure 8. Characteristics of The Discharge Rate at The Tunnel Portal for the Transverse Ventilation System with Increased Exhaust Volume

### c) Comparison results

Figure 9 shows an example of the comparison between the theoretical and experimental values, namely for the case that the theoretical and experimental values of the concentration distribution show to be well consistent.

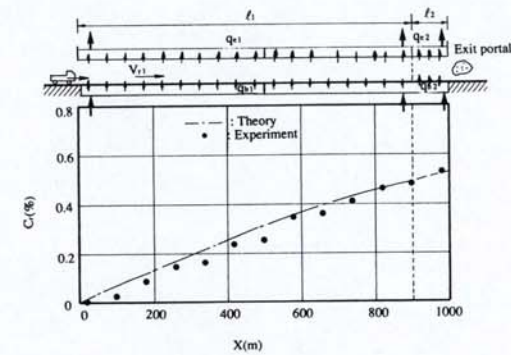


Figure 9 Example of the Concentration Distribution for the Transverse Ventilation System with Increased Exhaust Volume

$$\begin{aligned}
 \ell_1 &= 900 & q_{e1} &= q_{e2} = q_{e3} = 0.2 \\
 \ell_2 &= 100 & q_{e2} &= 0.7 \\
 V_{r1} &= 4.67 & V_i &= 38.1 \\
 \omega &= 2 \times 10^{-3}
 \end{aligned}$$

## 7. Conclusions

The purpose of this paper is the control of the pollutants discharge from roadway tunnel portals, and with the use of a scale model experiment we have elucidated the discharge characteristics at tunnel portals for the two transverse ventilation systems with point extraction and increased exhaust volume. As a result it became clear, first of all, that the discharge rate at the tunnel exit (given with its relation to the exhaust rate) becomes smaller according to the exhaust rate increased and, secondly, that the controllability of the discharge rate  $E_o$  at the tunnel portal of the increased exhaust volume system is better than the point extraction system.

## 8. Acknowledgments

For his advice on the underlying experiment we would like to express our deepest gratitude to professor emeritus Hideo Ohashi of the University of Tokyo.

## References

- (1) Ohashi H., Tunnel ventilation, high ways and automobiles as seen from the environmental problem at the tunnel head. Vol. XVIII No. 8, 1975.
- (2) Komatsu K., Model test for ventilation of automobile tunnels. Turbo machinery, vol. 9, No. 9, 1981-9.
- (3) Alex Haerter, Road Tunnel Air and the Environment, BHR G., 1991.
- (4) Ohashi, H., Longitudinal diffusion of exhaust pollutants in two-way automobile tunnels, 5th BHRA symposium, 1985.
- (5) Marsault, J. P. and Gabet, M. C., Pollution dispersion: in situ measurements and tunnel portals, 5th BHRA symposium, 1985.
- (6) Sato, N., Ota, Y., Komatsu, K., Discharge of exhaust pollutant from portal of one-way traffic automobile tunnel with exhaust shaft, 5th BHRA symposium, 1985.
- (7) Pucher, K., and Stern, P., Measurements of Co-concentration in the vicinity of tunnel portals and exhaust air chimneys by model tests, 5th BHRA symposium, 1985.
- (8) B. R. Pursall, Induced ventilation in road tunnels-a theoretical and practical analysis, 2nd BHRA symposium, 1976.