

D10 VERBETERING
LUCHTKWALITEIT RONDOM
ONDERGRONDSE
BOUWWERKEN

DEEL A: VERKEERSTUNNELS

ONDERZOEKSRAPPORT

AUGUSTUS 2006

INHOUDSOPGAVE

1.	Inleiding	4
1.1.	Bestaande methoden.....	5
1.1.1.	Onderzoek Arnold Dix	5
1.1.2.	Onderzoek M5 East Freeway	7
1.1.3.	Ervaringen in noorwegen	13
1.2.	Mogelijke toepassing in projecten.....	14
1.2.1.	Project Zuidas	14
1.2.2.	Project A6/A9	21
1.2.3.	Project lichte overkappingen.....	27
1.2.4.	Conclusie toepassing in projecten	27
1.3.	Andere marktsegmenten.....	29
1.0.1.	AVR verbrandingsinstallatie	29
1.0.2.	Corus	30
1.0.3.	Shell.....	30
1.0.4.	Mijnbouw	30
1.0.5.	Expertgesprekken	30
1.4.	Restwarmte.....	33

SAMENVATTING

Samenvatting rapport

Colofon

Titel:

Schrijvers: Armand van Daalen (TNO) en Onno Jörg (Arcadis Infra),

Datum: augustus 2006

Type rapport: onderzoeksrapport

Rapportnummer:

COB documentnummer:

Projectleiders opdrachtnemer: Armand van Daalen (TNO) en Onno Jörg (Arcadis Infra),

Projectbegeleiders opdrachtgever: Anne Kamphuis (CUR), Gonny von Meijenfheldt (IBA),

Naam en adres opdrachtgever:

Naam en aders opdrachtgever

Relationele rapporten

Trefwoorden

Classificatie: onderzoeksrapport

Aantal blz.

Prijs

Versie, datum, namens opdrachtnemer, paraaf, namens opdrachtgever en paraaf

1. INLEIDING

In het kader van het COB-project D10 'verbetering luchtkwaliteit rondom ondergrondse bouwwerken' zijn twee aandachtgebieden onderscheiden: 'verkeertunnels' en 'parkeergarages'. TNO is gevraagd onderzoekswerkzaamheden te verrichten voor beide onderdelen, waarbij het onderdeel 'verkeertunnels' samen met Arcadis Infra wordt ingevuld en het onderdeel 'parkeergarages' met DHV. In dit hoofdstuk wordt het onderdeel A van de opdracht 'verkeertunnels' beschreven.

De onderzoeksopdracht

De centrale vraag is:

Welke oplossingen van ventilatie, afvoer en/of zuivering van de lucht in of buiten verkeertunnels kunnen een bijdrage leveren aan de verbetering van de luchtkwaliteit bij de mondingen van die betreffende tunnels?

Uitgangspunten:

De te beschouwen stoffen NO_2 en PM_{10}

Hiervan zijn door de commissie de volgende vragen afgeleid;

Creëer een beeld van de al bestaande methoden.

Geef een oordeel over het toepassen van deze methodieken op de casussen, Zuidas, A6/A9 en lichte overkappingen. Zeg iets over effecten op luchtkwaliteit, de bouwkosten, beheer en exploitatiekosten.

Onderzoek welke slimme oplossingen er nog meer te bedenken zijn. Slimmere en effectievere oplossingen binnen andere marktsegmenten (Afvalindustrie, mijnbouw, procesindustrie etc.)

Ga na of er iets nuttigs met de restwarmte kan worden gedaan (o.a. toepassing in verbrandingsoven).

1.1. BESTAANDE METHODEN

1.1.1. ONDERZOEK ARNOLD DIX

Inleiding

De volgende globale onderverdeling is te maken voor de bestaande methoden ter verbetering van de luchtkwaliteit nabij de tunnelmondingen.

> Aanpassingen

- Verhogen uitblaasschoorstenen – Australië: Melbourne City Link
- Verhogen ventilatie vermogen – Oostenrijk: Graz city tunnel
- Monteren van deeltjes reinigingstechnieken: Japan: Ten-nohzan



> Verspreidingstechnieken

De meest toegepaste methode om emissies nabij de tunnelmondingen te controleren is middels aanpassing van de vorm van de tunnelmonding en/of het aanbrengen van schermen. In het aantal gevallen is het aanbrengen van schoorstenen noodzakelijk.

> Reiniging uitlaatgassen

Reinigingstechnieken om deeltjes te verwijderen uit de uitlaatgassen in de tunnel of vrijkomen uit de tunnel om de luchtkwaliteit in de omgeving te verbeteren zijn zeldzaam. Recent zijn echter een aantal tunnels in Japan en Noorwegen voorzien en hebben Italië en Spanje plannen hiertoe.

Overzicht reinigingstechnieken

> Filtertechnieken verwijdering fijn stof

- Elektrostatische filtertechniek
 - o Elektrostatische filtertechniek wordt steeds meer geaccepteerd als een om uitstoot van deeltjes bij tunnelmondingen te beheersen.
 - o Geen publiek toegankelijk informatie aanwezig waaruit blijkt dat deze methode van invloed is op de luchtkwaliteit buiten de tunnel.
 - o Analyses geven aan dat het meetbare effect waarschijnlijk slechts zeer klein is.
 - o Filterrendementen:
 - Laboratorium: aanstroomsnelheid 9 m/s: 90%
 - Tunnel Asukayama : aanstroomsnelheid 13 m/s: 80%
- Ervaringen elektrostatische filtertechniek
 - o Japan
 - Aantal tunnels: 8000 met een totale lengte van 2500 km waarvan 40 tunnels zijn uitgerust met elektrostatische filters.
 - 1979: Introductie van elektrostatische filters in Tsuruga tunnel: 2100 m.
 - 1985: Kan'etsu tunnel: 11000 m.

Tunnels werden voorzien van elektrostatische filters om in deze tunnels de zichtverslechtering ten gevolge van fijn stof bij langsventilatie te verbeteren.

Van 40 zijn er slechts 7 met elektrostatische filters uitgerust voor verbetering van de luchtkwaliteit in de omgeving van de tunnelportalen. De 33 andere tunnels worden voorzien van filters voor verbetering van de zichtlengte in de tunnel.

De voorkeur voor plaatsing van elektrostatische filters is in een bypass tunnel naast de wegtunnel. Voor verbetering van de luchtkwaliteit van de omgeving worden elektrostatische filters altijd in de uitrit van de tunnel geplaatst: in de voet van de ventilatieschoorsteen.

Filters worden op basis van metingen in bedrijf gebracht: 20% van totaal aantal uren.

In Japan worden elektrostatische filters geïnstalleerd om de fijn stof te verminderen zonder technische onderbouwing, verspreidingsmodellering of luchtkwaliteitsmetingen nabij de tunnelportalen.

- o Noorwegen

Aantal tunnels: 1000 waarvan 7 uitgerust met elektrostatische filters.

Behalve in de Laerdal tunnel zijn de andere tunnels alleen van elektrostatische filters voorzien uit politieke en maatschappelijke overwegingen en door aanwezigheid van Noorse leveranciers CTA Technology en Trion.

Filters zijn alleen tijdens de spitsuren in werking: 3% van totaal aantal uren.

- o Oostenrijk

Oostenrijkse firma Aigner heeft het rendement van de elektrostatische filtertechniek in vergelijking tot zijn Japanse concurrenten beduidend verbeterd en zal worden toegepast in een tunnel bij Cessena – Italië in 2006.

- Leveranciers elektrostatische filtertechniek

- o Matsushita Electric Company Limited – Japan
- o Mitsubishi Heavy Industries – Japan
- o Kawasaki Heavy Industries – Japan
- o Trion - Norway
- o CTA Technology – Norway
- o Aigner – ECCO Air – Austria

- > Filtertechnieken verwijdering stikstofdioxiden

- Algemeen

Technieken voor verwijdering van NO₂ zijn nog niet volwassen genoeg om op grote schaal en voor de lange termijn te worden toegepast.

- Adsorptie: hierbij worden de NO₂ moleculen opgenomen door het onoplosbare adsorptiemateriaal bijvoorbeeld: actieve koolstof of zeoliet. De moleculen worden niet opgenomen maar hecht aan het oppervlak van het adsorptiemateriaal.
- Absorptie: hierbij worden de NO₂ moleculen in neutrale zouten in alkalisch water. Neutrale zouten worden opgenomen door absorptie.
- Beide technieken garanderen een verwijderingsrendement van NO₂ van 90%. Voor NO₂ verwijdering is reiniging van de fijn stof uit lucht noodzakelijk zijn. Verbeteringen van de elektrostatische filtertechniek maakt NO₂ verwijdering mogelijk middels deze technieken.

- Beide technieken zullen op werkelijke schaal getest worden in de Central Circular Shinjyuka Tunnel. Waarschijnlijk zal de gebruiksduur van adsorptie en absorptie materiaal sterk verminderd worden door aanslag van koolwaterstofverbindingen. Tijdens de komende testfase zal het materiaal verder ontwikkeld moeten worden.

Alternatieve reinigingsmethoden

> Zakkenfilters

Toegepast in wegtunnels met beperkt succes – Tenozan tunnel Japan.

Technologie slecht toepasbaar vanwege het grote aantal kleine deeltjes.

Niet meer beschouwd als efficiënt en effectief alternatief in vergelijking tot de laatste generatie elektrostatische filters.

> Gasturbinetechnologie - HYDER

De luchtinlaat van een gasturbine zuigt de vervuilde tunneltucht aan en verbrandt tijdens het verbrandingsproces in de gasturbine tevens de fijne deeltjes. De leverancier garandeert dat de vrijkomende NO deeltjes technisch opgelost wordt. Nog erg weinig informatie van dit systeem beschikbaar. Zeer onwaarschijnlijk dat dit systeem zal worden toegepast.

> Agglomeratie - Indigo technologie

Het is onduidelijk waarom de door Indigo technologie en Adelaide Universiteit ontwikkelde agglomerator als voorfilter een verbetering van de effectiviteit van het achtergeschakeld elektrostatische filter tot gevolg zou hebben. Technologie wordt toegepast in kolencentrales is eigenlijk een elektrostatisch voorfilter welke de kleine deeltjes bind tot grotere deeltjes welke weer makkelijker zijn te filteren door nageschakelde elektrostatische filter. Belangrijk is wel dat deze technologie de deeltjes kleiner dan 2,5 µm kan verwijderen. Voor de bestaande reinigingstechnieken is dit een probleem.

> Biofiltratie - Clean Teq

Clean Teq gebruikt een scala aan niet thermische plasma en biokatalitische filter technologieën voor het reinigen van vervuilde lucht. Onduidelijk welke luchthoeveelheden met deze technologieën behandeld kunnen worden en met welk resultaat.

1.1.2. ONDERZOEK M5 EAST FREEWAY

Overzicht reinigingstechnieken

> Elektrostatische filtertechniek

Proces is opgebouwd uit drie delen:

- Kleine stofdeeltjes in de gasstroom worden negatief geladen in een elektrisch veld veroorzaakt door ontladingselektrodes.
- De stofdeeltjes worden afgevangen op positief geladen verzamelektroden of collectoren.
- Afvoer van de afgescheiden deeltjes vindt plaats door zwaartekracht of door periodiek kloppen of trillen van de verzamelektrode.

> Droge elektrostatische filtertechniek

Gasstroom passeert eerst een bundel corona draden en daarna de verzamelektroden

De bundel corona draden hebben een spanning van een paar duizend volt. welke een corona produceert waarbij elektronen vrijkomen in de gasstroom. Deze elektronen binden zich met de stofdeeltjes en geven een negatieve lading. De verzamelelektroden zijn positief geladen en trekken deze deeltjes aan. De verzamelelektroden worden regelmatig geschud om de afzetting los te maken.

De meeste elektrostatische filters dienen regelmatig handmatig gewassen en gereinigd te worden om hun verwijderingsrendement te behouden.

- > Natte elektrostatische filtertechniek
Verschillen hoofdzakelijk allen van droge elektrostatische filters in de wijze waarop de verzamelelektroden worden gereinigd en de afgevangen stofdeeltjes worden afgevoerd. Periodieke automatische reinigingscyclus.
- > Chemische absorptie
Hierbij wordt gebruik gemaakt van chemicaliën welke in staat zijn om de vervuilende deeltjes te binden. Bijvoorbeeld kaliumhydroxide kan gebruikt worden voor binding van stikstof dioxide. Stikstofdioxide is een zuur welke zich bind met het alkalische kaliumhydroxide.
- > Katalitisch proces
Katalitische stoffen bevatten metalen zoals platinum welke de vervuilde gassen omzetten in minder schadelijke of onschadelijke gassen.
De katalitische stoffen veranderen niet of worden niet verbruikt tijdens het proces, waardoor een continu proces mogelijk is.
- > Adsorptie
Naast adsorptie voor DeNOx doeleinden kan deze techniek worden toegepast voor verschillende andere verontreinigingen. Bijvoorbeeld actieve koolstof bezit de mogelijkheid om een aantal schadelijke gassen te binden.
Materialen als Zeoliet (mineralen met een poreuze structuur) bezitten ook de mogelijkheid om specifieke vervuilingen op te nemen.
- > Biofiltratie
De term biofiltratie wordt gebruikt voor alle processen waarbij vervuilde gassen door of over een medium worden geleid, die micro-organismen bevatten die in staat zijn om de een deel of de totale hoeveelheid aangeboden vervuilende deeltjes kunnen consumeren of omzetten in onschadelijke stoffen.
- > Agglomeratie
Agglomeratie is een elektrostatisch filterproces waarbij tegengestelde ladingen worden aangebracht op zeer kleine zwevende deeltjes waardoor zijn verbinden tot grotere deeltjes, waardoor deze eenvoudiger en effectiever laten verwijderen door een ander verwijderingsproces.
- > Scrubber
Hieronder vallen alle methoden waarbij de vervuilde luchtstroom een vloeistof dient te passeren en waarbij de vervuilde deeltjes worden meegevoerd of opgelost in de vloeistof.
- > Gasturbinetechnologie
Bij deze technologie worden gasturbines ingezet om de vervuilende deeltjes te verbranden.

De luchtinlaat van een gasturbine zuigt de schadelijke tunnelgassen aan en verbrandt tijdens het verbrandingsproces in de gasturbine waarbij deze omgezet worden in minder schadelijke gassen. Bijvoorbeeld koolmonoxide wordt omgezet in kooldioxide en koolwaterstoffen in kooldioxide en water.

Ten gevolge van de hoge temperaturen bij het verbrandingsproces komen echter wel weer stikstofoxiden vrij. Hiervoor dienen aanvullende maatregelen getroffen te worden.

Tabel 1: Reinigingstechnieken

In deze tabel zijn alle beschouwde technieken en leveranciers ondergebracht en aangegeven of deze techniek getest is en/of in bedrijf genomen is in een autotunnel.

	Leverancier	Technologie	PM ₁₀	NO ₂	Getest in autotunnel	In bedrijf in autotunnel
1.	Aigner - Ecco	EP + Filter	Ja	Nee	Ja	Nee
2.	Alstom Power	Katalitisch + Absorptie	Nee	Ja	Ja	Ja
3.	Clean Teq	Biologische oxidatie + Scrubbers + Thermische oxidatie	Ja	Ja	Nee	Nee
4.	Columbus (KGD)	Fysisch filter	Ja	Nee	Nee	Nee
5.	CTA	EP	Ja	Nee	Ja	Ja
6.	Deus Energie	EP + Biologisch Filter	Ja	Ja	Ja	Nee
7.	Dynamic Filter	EP + Filter	Ja	Nee	Nee	Nee
8.	Ecoquest	EP	Ja	Nee	Nee	Nee
9.	FILTRONtec	EP + Absorptie	Ja	Ja	Ja	Nee
10.	Flosep	Centrifugaal	Ja	Nee	Nee	Nee
11.	Fujita	Biologisch Filter	Ja	Ja	Ja	Ja
12.	Hyder	Gasturbine	Ja	Ja	Nee	Nee
13.	Indigo	Agglomeratie = EP	Ja	Nee	Nee	Nee
14.	ION Blast	EP	Ja	Nee	Nee	Nee
15.	Jord	EP – Nat - Scrubber	Ja	Ja	Nee	Nee
16.	Kawasaki	Adsorptie	Ja	Ja	Ja	Nee
17.	Lloyd Energie	Adsorptie + Absorptie	Ja	Ja	Nee	Nee
18.	Matsushita	EP + Absorptie	Ja	Ja	Ja	Nee
19.	Matsushita/Panasonic	Verschillende	Ja	Ja	Ja	Ja
20.	Matsushita Itochu	EP	Ja	Nee	Ja	Nee
21.	Mitsubishi	EP	Ja	Nee	Ja	Ja
22.	Purified water	Absorptie + Oxidatie	Ja	Ja	Nee	Nee
23.	SMS Gasturbine	Turbine technologie	Ja	Nee	Nee	Nee
24.	TRG Biofilter	Biologisch filter	Ja	Nee	Nee	Nee
25.	UK Euro	Scrubber	Ja	Ja	Nee	Nee
26.	USC Biofiltratie	Biologisch Filter	Ja	Ja	Nee	Nee
27.	Xtor EP	EP	Ja	Nee	Ja	Ja

Meest kansrijke leveranciers

Van de leveranciers die hun techniek getest en in bedrijf hebben in een autotunnel zijn in onderstaande lijst de belangrijkste kenmerken omschreven.

> Aigner – Ecco Air Filtration System

Oostenrijkse firma heeft het rendement van de elektrostatische filtertechniek in vergelijking tot zijn Japanse concurrenten beduidend verbeterd en zal worden toegepast in de tunnelportalen van een autotunnel bij Cessena – Italië in 2006. Systeem is getest in de Plabutsch tunnel te Oostenrijk in samenwerking met de Universiteit van Graz en de Oostenrijkse Wegenautoriteiten. Gemeten verwijderingsrendement PM_{10} : 86%

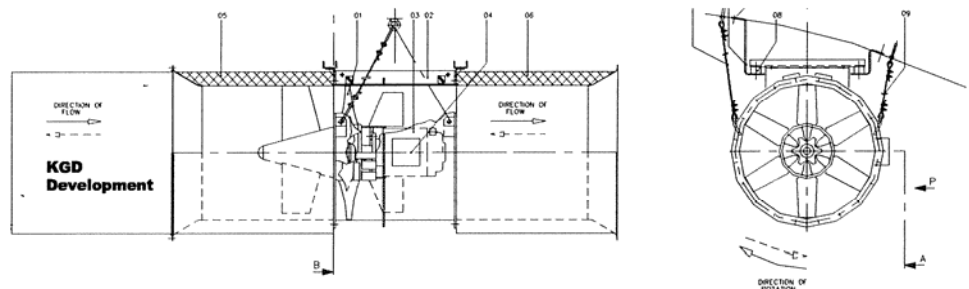
> Alstom Power

Het systeem dat NO_2 omzet in N_2 , NO en CO_2 is voor 24.000 uur getest in de Festnings tunnel te Oslo en een werkende installatie is aangebracht in de Laerdal tunnel in Noorwegen in samenwerking met de elektrostatische prefiltra's van het Noorse bedrijf CTA. Ten gevolge van het geringe verkeersaanbod en de lage verontreinigingsgraad in de tunnel is het systeem weinig in bedrijf geweest. Verwijderingsrendement NO_2 : 85-90%

> Columbus

Hoewel het systeem niet getest of bedrijfsvaardig opgeleverd is in autotunnels is het systeem dat geleverd wordt door KGB Development te Oslo in Noorwegen gezien zijn eenvoud zeker zinvol om nader te beschouwen. Het systeem kan direct achter of voor een mogelijk bestaande langsventilator gemonteerd worden en is zelfreinigend.

Verwijderingsrendement PM_{5-10} μm : 86%

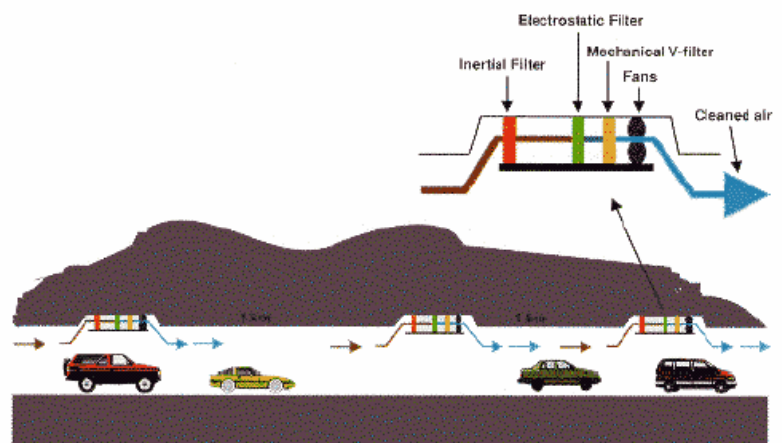


> CTA International

Bedrijf met lange ervaring in elektrostatische filtertechnieken. Zeven van de acht in Noorwegen met elektrostatische filters uitgeruste autotunnels zijn aangebracht door CTA.

Verschillende inbouwvormen zijn mogelijk: plafondmontage, by-pass van de tunnel of in een uitblaasschoorsteen. Elektrostatisch filter dient voorzien te worden van een voorgeplaatst groffilter.

Verwijderingsrendement $PM_{0,3-10}$ μm : 85-95%.



> Deus Energie

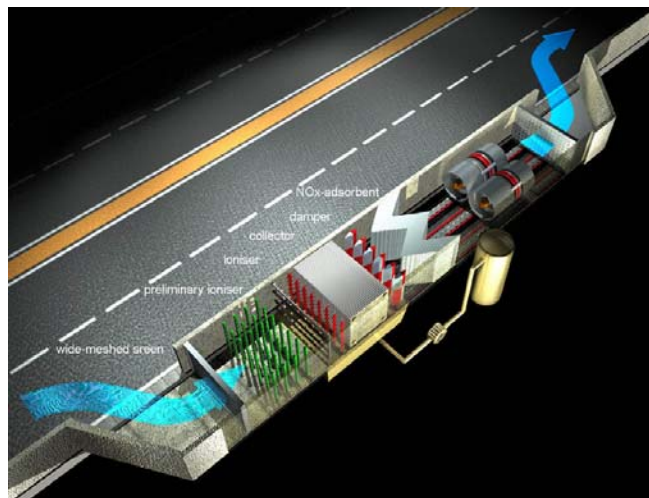
Verwijdering van fijn stof met behulp van elektrostatische filtering en verontreinigde gassen met behulp van biologische filters. Kansrijk daar systeem in loze ruimte van geboorde autotunnels aangebracht kan worden. Helaas geen rendementen beschikbaar en geen berichten dat systeem verder ontwikkeld wordt of toegepast zal gaan worden in Europese tunnels.

> FILTRONtec

Verwijdering van fijn stof middels een nat elektrostatisch filter en stikstofdioxide middels actieve koolstof. Elektrostatisch filter wordt automatisch gereinigd met behulp van water. Actieve koolstof dient na verloop van tijd geregenereerd te worden. Inbouwvorm: by-pass van de tunnel of in een uitblaasschoorsteen.

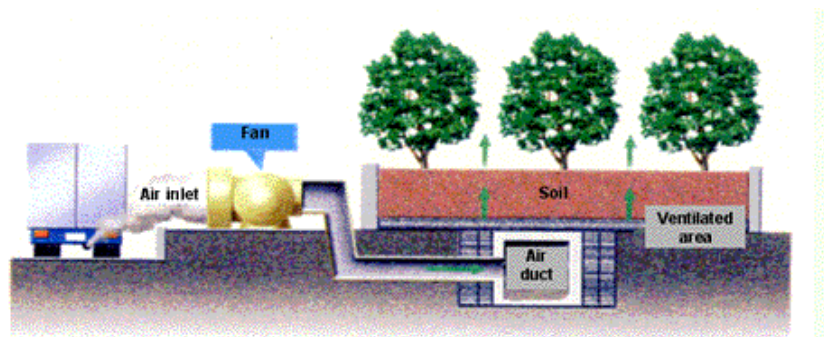
Verwijderingsrendement PM: 80-95%

Verwijderingsrendement NO₂: 90%



> Fujita

Reiniging gebaseerd op biologische afbraakprocessen. Vervuilde gassen worden afgevangen en door een grondlaag geleid van 50 cm hoog. De fijne stofdeeltjes worden opgenomen door de grondmassa, CO wordt door micro-organismen omgezet in CO₂ en NO_x wordt opgelost in water omgezet in HNO₃. HNO₃ wordt gedeeltelijk opgenomen door de platen en gedeeltelijk door micro-organisme omgezet in N₂.



Opgegeven verwijderingsrendement SPM: 95%

Opgegeven verwijderingsrendement NO₂: 91%

Techniek is veelvuldig toegepast voor parkeergarages en wegen en slecht één maal in een tunnel: de Hanna Tunnel in Japan. Voor de reiniging van 28.800 m³/h vervuilde lucht is hierbij een grondoppervlak van 400 m² benodigd.



> Matsushita

De vervuilde lucht wordt eerst ontdaan van vaste zwevende deeltjes met een twee-traps elektrostatisch filter bestaande uit een ionisatie gedeelte en een opvang gedeelte. Zoals in andere elektrostatische filters wordt eerst het gas geïoniseerd door middel van een hoge voltage corona ontlading waarna de opgeladen deeltjes opgevangen worden door de tegengesteld geladen verzamelektroden. Een automatisch wasprocedure verwijdert de afzetting op de verzamelektroden waarna het afval gescheiden wordt in een filtratie-unit. Het afvalwater wordt gerecycled.

Hierna wordt de gasstroom door een chemisch adsorptie proces geleid om het stikstofdioxide te verwijderen. Het adsorptiemateriaal is opgebouwd uit actieve koolstof en gips en een oppervlaktelaag van kaliumhydroxide, welke reageert met het zure stikstofdioxide. Het adsorptie materiaal dient regelmatig geregenereerd te worden.

Opgegeven verwijderingsrendement SPM: 80%

Opgegeven verwijderingsrendement NO₂: 90%

> Mitsubishi

Leveranciers van verschillende reinigingstechnieken voor omgevingsvervuiling, waaronder elektrostatische filters. Weinig achtergrondinformatie.

Opgegeven verwijderingsrendement PM: 90%

> Xtor EP

Reiniging is gebaseerd op elektrostatische filtertechnieken. Naast de zeven door CTA voorziene tunnels in Noorwegen heeft Xtor EP de Bragernes tunnel voorzien van een elektrostatische filters in de schoorsteen. Eenheden zijn beschikbaar van 1.500 tot 30.000 m³/h, welke in serie geplaatst kunnen worden ter vergroting van de capaciteit. Elektrostatisch filter dient voorzien te worden van een voorgeplaatst groffilter.

Opgegeven verwijderingsrendement SPM: 99%

1.1.3. ERVARINGEN IN NOORWEGEN

In onderstaande tabel zijn de belangrijkste kenmerken opgenomen van de 8 Noorse autotunnels welke voorzien zijn van reinigingstechnieken voor fijn stof en mogelijk stikstofdioxide en de status van de installatie.

Tabel 2: Noorse tunnels met reiniging

Tunnel	Locatie	Lengte (m)	Geopend	MVT Etmaal	EP	Leverancier	Status
Festning	Oslo	1800	1990	60.000	Schoorsteen	CTA	Niet in bedrijf
Granfoss	Oslo	2300	1992	15.000	Bypass	CTA	Niet in bedrijf
Ekeberg	Oslo	1400	1994	45.000	Bypass	CTA	Tijdens spits
Hell	Trondheim	3900	1995	10.000	Plafond	CTA	Niet in bedrijf
Nygaard	Bergen	900	1999	28.000	Plafond	CTA	Geen noodzaak
Laerdal	Lauerdal	24500	2000	1.000	Plafond	CTA+Alstom	Geen noodzaak
Stromsas	Drammen	3700	2001	12.500	Plafond	CTA	
Bragernes	Drammen	2700	2002		Schoorsteen	Xtor	

1.2. MOGELIJKE TOEPASSING IN PROJECTEN

1.2.1. PROJECT ZUIDAS



Uitgangsgegevens:

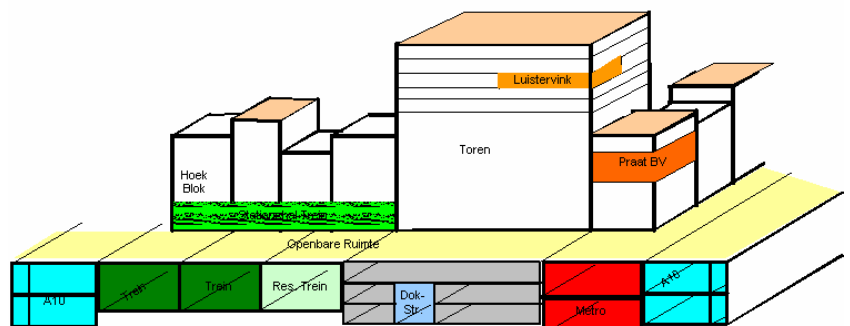
- > Tunneldoorsnede: 4 buizen a 3 rijstroken – 2 boven elkaar aan noord-/zuidzijde.
- > Overdekt gedeelte tunnel: 1500 meter.
- > Verkeersintensiteiten:

	Noordbaan	Zuidbaan
Gem. ochtendspits: drukste uur	7.350	6.850
Gem. avondspits: drukste uur	6.050	5.550
Etmaal: totaal aantal voertuigen	97.150	93.550

- > Maximum rijnsnelheid: uitgaan van 80 en 100 km per uur.
- > Doorsnede rijbanen A10:

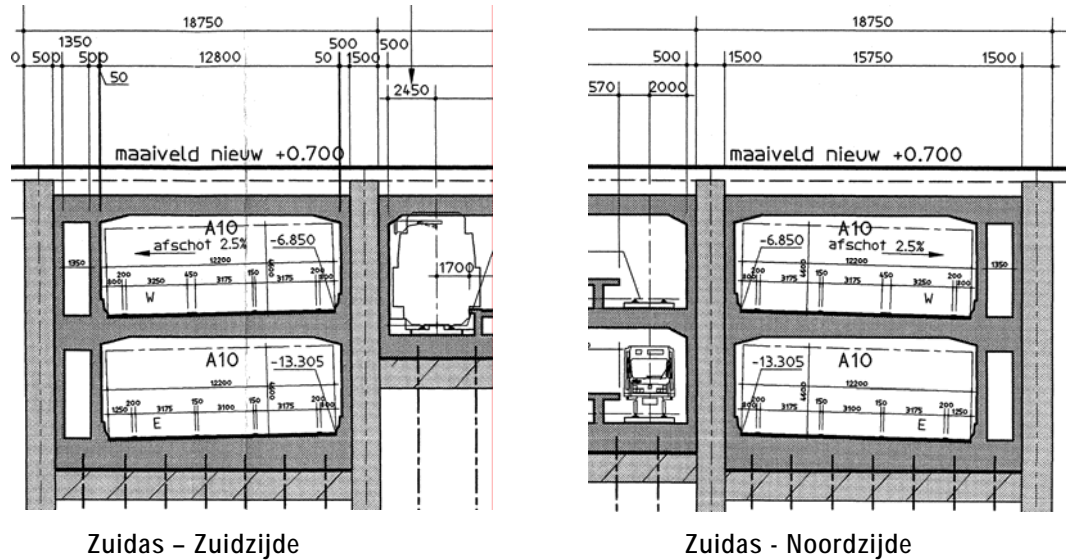
De rijbanen voor de A10 zitten in de blauw gearceerde doorsneden aan de buitenzijde van de totale doorsnede van de Zuidas.

Twee verkeerstunnels heen twee verkeerstunnels terug. De onderste buis is voor doorgaand verkeer, de bovenste is voor bestemmingsverkeer. Op de gehele ondergrondse infrastructuur bestaande uit verkeersbuizen voor autoverkeer, trein en metro en parkeergarages zal gefaseerd kantoorbouw en woningbouw ontwikkeld worden.



Uitwerking verbetervoorstel voor project Zuidas:

- > Aannames:
 - Tunnel slechts 1,5 meter onder maaiveld: geen verdiepte ligging.
 - Aandeel vrachtverkeer: hoofdwegennet Noord-Holland: 5 a 10%.
- > Vrije doorsnede tunnelbuis:
 - Breedte doorsnede: 12,8 m
 - Hoogte doorsnede: 5,0 m
 - Oppervlakte doorsnede: 64 m²



- > Verkeer in tunnelbuis:
 - Drukste uur ochtendspits Noordzijde: 7350 MVT.
 - Verkeersintensiteit per tunnelbuis per uur:
 - 3675 MVT/uur (A6-A9: 4725 MVT/uur).
 - Verkeersintensiteit per rijstrook per uur:
 - 1225 MVT/uur (A6-A9: 1575 MVT/uur).
- > Lengte langste tunnelbuis: 1500 m
- > Beschouwde snelheden verkeerstream: 50 en 80 km/h
- > Resultaat bij volledig gesloten tunnel zonder aanvullende maatregelen.
 - Op basis van de verkeersintensiteit, verkeersamenstelling en verkeerssnelheid zijn de emissies bepaald aan het einde van de tunnelbuis zonder aanvullende maatregelen.

Tabel 3: Emissies Zuidas zonder maatregelen

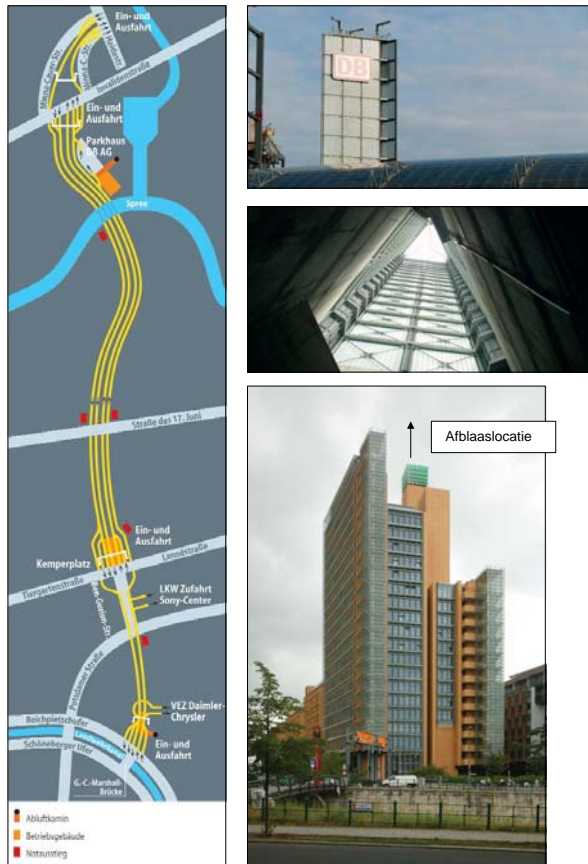
Emissies Zuidas <u>zonder</u> maatregelen		Rijsnelheid	
		50 [km/h]	80 [km/h]
Verblijftijd in tunnel	[min]	1,8	1,1
Luchtsnelheid in tunnel	[m/s]	5,4	6,8
Luchtdebiet	[m ³ /s]	345	435
Personenauto's in tunnelbuis	[PA]	150	64
Vrachtauto's in tunnelbuis	[VA]	17	7
NO ₂ begin tunnelbuis	[µg/m ³]	35	35
NO ₂ einde tunnelbuis/rijstrook	[g/s]	0,0544	0,0308
NO ₂ einde tunnelbuis	[µg/m ³]	508	247
PM10 begin tunnelbuis	[µg/m ³]	37	37

PM10 einde tunnelbuis/rijstrook	[g/s]	0,0090	0,0048
PM10 einde tunnelbuis	[$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	115	70

> Mogelijke maatregelen:

Daar de ondergrondse verkeerstunnels en parkeergarages gefaseerd voorzien worden van hoge bebouwing is ons voorstel om de afblaaslocaties te integreren met deze bebouwing. Deze oplossing is ook gekozen voor de stadstunnel Tiergarten in Berlijn.

Hier is de afblaasschacht aan de zuidzijde van de tunnel gecombineerd met een kantoor van Sony en aan de noordzijde met het nieuwe treinstation van Berlijn.



Iedere verkeersbuis voor auto's zal aan de uitzijde voorzien worden van een ventilatieschacht welke circa 70-80 procent van de verkeersbuis opgewekte luchtstroom ten gevolge van het verkeersaanbod kan afzuigen.

Aangehouden af te zuigen luchtdebiet per tunnelbuis: $270 \text{ m}^3/\text{s}$ gebaseerd op de maximale vrijkomende voertuigemissies in de tunnelbuis bij een rijsnelheid van 50 km/h en het hierbij verplaatste luchtdebiet in de tunnelbuis ten gevolge van de verkeersbeweging van $345 \text{ m}^3/\text{s}$.

Minimum uitblaassnelheid in afblaasschacht van 15 m/s voor goed spreiding:

$$270 \text{ m}^3/\text{s} - 15 \text{ m/s} = 18 \text{ m}^2 = \text{schacht } 4,25 \times 4,25 \text{ m}$$

Aantal ventilatoren: 3 stuks per schacht $90 \text{ m}^3/\text{s}$

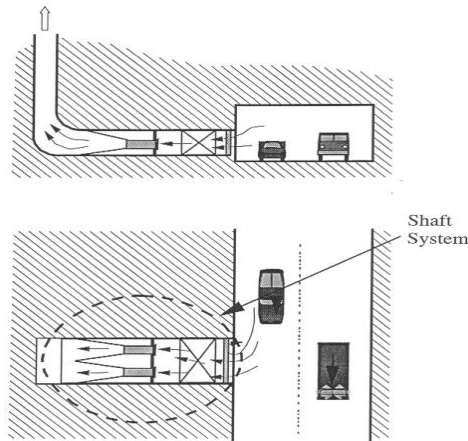
Afstand tussen afzuigpunt en kantoorgebouw: 25 meter

Hoogte gebouw: 40 meter

- **Optie 1**

Alleen afzuiging tunnelmondning

Ventilatoren 3 stuks: 90 m³/s @ 800 Pa @ η 80% @ 90 kW



- **Optie 2**

Afzuiging tunnelmondning + elektrostatisch filter voor fijn stof PM₁₀

Ventilatoren 3 stuks: 90 m³/s @ 800 Pa + 250 Pa @ η 80% @ 120 kW

[EP-filter: 250 Pa (Aigner)]

- **Optie 3**

Afzuiging tunnelmondning + elektrostatisch filter voor fijn stof PM₁₀ + actief koolstoffilter voor stikstofdioxide NO₂

Ventilatoren 3 stuks: 90 m³/s @ 800 Pa + 850 Pa @ η 80% @ 185 kW

[EP-filter + koolstoffilter: 850 Pa (FILTRONtec)]

> Reinigingsresultaat

Filterrendement van 80-90% mogelijk: een rendement van 85% aangehouden. Afvangrendement aangehouden van 80% voor een rijnsnelheid van 50 km/h: hierbij zal 20% van de opgewekte luchtstroom in de tunnel onbehandeld de tunnelbuis verlaten. Bij hogere rijnsnelheden voor de vervuiling in de tunnel lager ligt het percentage dat onbehandeld de tunnelbuis verlaat hoger liggen.

Tabel 4: Emissies Zuidas met aanvullende maatregelen

Emissies Zuidas met aanvullende maatregelen		Rijnsnelheid	
		50 [km/h]	80 [km/h]
Luchtdebiet	[m ³ /s]	345	435
Luchtdebiet afzuigpunt	[m ³ /s]	270 [80%]	270 [62%]
Onbehandeld luchtdebiet	[m ³ /s]	75 [20%]	165 [38%]
NO ₂ begin tunnelbuis – buitenlucht	[μg/m ³]	35	35
NO ₂ einde tunnelbuis	[μg/m ³]	508	247
NO ₂ uit schoorsteen na filtering	[μg/m ³]	76	37
NO ₂ uit tunnelbuis zonder filtering	[μg/m ³]	508	247
PM ₁₀ begin tunnelbuis - buitenlucht	[μg/m ³]	37	37
PM ₁₀ einde tunnelbuis	[μg/m ³]	115	70
PM ₁₀ uit schoorsteen na filtering	[μg/m ³]	17	10
PM ₁₀ uit tunnelbuis zonder filtering	[μg/m ³]	115	70

> Investeringskosten

Om enig inzicht te krijgen in de benodigde bouwkosten voor de aanvullende maatregelen zijn globale kosten voor de installatietechnische en bouwkundige voorzieningen voor de drie beschreven opties vastgesteld.

Tabel 5: Investeringskosten Zuidas aanvullende maatregelen

Investeringskosten	Optie 1	Optie 2	Optie 3
Ventilatoren	€ 2.160.000	€ 2.400.000	€ 2.640.000
Frequentieregelaars	€ 360.000	€ 420.000	€ 480.000
Geluiddempers	€ 400.000	€ 400.000	€ 400.000
Besturingsinstallatie	€ 100.000	€ 100.000	€ 100.000
Energieaansluiting	€ 80.000	€ 80.000	€ 80.000
Reinigingsinstallaties	€ -	€ 4.300.000	€ 5.900.000
Techniekruimte ventilatoren	€ 800.000	€ 800.000	€ 800.000
Techniekruimte geluiddempers	€ 800.000	€ 800.000	€ 800.000
Techniekruimte EP-filters	€ -	€ 1.600.000	€ 1.600.000
Techniekruimte actieve koolfilters	€ -	€ -	€ 8.600.000
Ondergrondse tunnelkanalen	€ 6.8000.000	€ 6.8000.000	€ 6.8000.000
Geïntegreerde schoorsteen	€ 1.000.000	€ 1.000.000	€ 1.000.000
Totaal circa	€ 12.300.000	€ 18.700.000	€ 29.200.000

> Energieverbruik

Voor het vaststellen van het opgenomen vermogen van de ventilatoren uitgegaan van de volgende verdeling van het benodigde ventilatiehoeveelheden, welke gerelateerd zijn aan het verkeersaanbod.

- 100% ventilatie - 4 uur/dag (spitsuren)
- 75% ventilatie - 6 uur/dag
- 50% ventilatie - 6 uur/dag
- 25% ventilatie - 8 uur/dag

Voor het opgenomen vermogen van een EP-filter installatie is uitgegaan van een vermogen van slechts 1,5 kWh per dag.

Voor het opgenomen vermogen van de reinigingsinstallatie van de EP-filter installatie is een vermogen aangehouden van 7,5 kW welke circa 4 uur per dag in bedrijf is.

Voor de energiekosten is uitgegaan van de volgende kostprijzen:

- Vastrecht transport: € 6,50 / kW
- Transportkosten: € 0,04 / kWh
- Energiekosten: € 0,08 /kWh

Netto Contante Waarde

- Technische levensduur: 25 jaar
- Rentevoet: 4,5 procent

Tabel 6: Energieverbruik Zuidas aanvullende maatregelen

Energieverbruik - Energiekosten		Optie 1	Optie 2	Optie 3
100% - 4 uur dag – 1460 uur jaar	[kW]	90	120	185
75% - 6 uur dag – 2190 uur jaar	[kW]	38	50	78
50% - 6 uur dag – 2190 uur jaar	[kW]	11	15	23
25% - 8 uur dag – 2920 uur jaar	[kW]	1	2	3
Aantal ventilatoren aanzuig	[-]	12	12	12
Maximum opgenomen vermogen aanzuig	[kW]	1077	1444	2254
Aantal ventilatoren	[-]	8	8	8
Maximum opgenomen vermogen	[kW]	1089	1089	1089
Verbruik aanvullende maatregelen	[kWh/jaar]	2.911.500	3.869.000	6.058.000
Vastrecht transport	[€/kW]	6,50	6,50	6,50
Transportkosten	[€/kWh]	0,04	0,04	0,04
Energieprijs	[€/kWh]	0,09	0,09	0,09
Energiekosten per jaar	[€/jaar]	€ 390.000	€ 520.000	€ 810.000
Netto Contante Waarde 25 jaar	[€]	€ 5.950.000	€ 7.600.000	€ 11.900.000

> Emissiereductie bij aanvullende maatregelen

Zowel voor de elektrostatische filterinstallatie bij optie 2 en 3 voor het afvangen van fijn stof PM₁₀ en voor het actief koolstoffilter bij optie 3 voor het afvangen van NO₂ stikstofdioxide is een conservatief rendement aangehouden van 85%.

Tabel 7: Emissiereductie Zuidas aanvullende maatregelen

Emissiereductie bij aanvullende maatregelen		Optie 1	Optie 2	Optie 3
Aantal ventilatoren aanzuig	[-]	12	12	12
Afgezogen luchtdebiet				
- 100% - 4 uur dag – 1460 uur jaar	[m ³ /s]	90	90	90
- 75% - 6 uur dag – 2190 uur jaar	[m ³ /s]	67,5	67,5	67,5
- 50% - 6 uur dag – 2190 uur jaar	[m ³ /s]	45	45	45
- 25% - 8 uur dag – 2920 uur jaar	[m ³ /s]	22,5	22,5	22,5
Afgezogen luchtdebiet	[m ³ /jaar]	19,1·10 ⁹	19,1·10 ⁹	19,1·10 ⁹
CO ₂ per m ³ /s	[µg/m ³]	0	0	0
CO ₂ -reductie	[ton/jaar]	0	0	0
NO ₂ per m ³ /s	[µg/m ³]	0	0	432
NO ₂ -reductie	[kg/jaar]	0	0	8250
Stof per m ³ /s	[µg/m ³]	0	98	98
PM ₁₀ -reductie	[kg/jaar]	0	1870	1870

> Vrijkomende emissies bij energieproductie

Voor het aandrijven van de afvoerventilatoren, elektrostatische filterinstallatie en reiniging van de elektrostatische filterinstallatie en de actieve koolstofinstallatie is energie benodigd. Deze energie wordt geproduceerd in een energiecentrale. De hierbij vrijkomende emissies zijn bepaald met de hieronder vastgelegde kentallen.

Beschikbare kentallen voor emissies bij energieproductie:

- 738 g CO₂ / kWh [Bron: UvA – VLCA data]
- 1070 mg NO₂ / kWh [Bron: UvA – VLCA data]
- 85 mg Stof / kWh [Bron: UvA]

Tabel 8: Vrijkomende emissies Zuidas aanvullende maatregelen

Vrijkomende emissies bij energieproductie		Optie 1	Optie 2	Optie 3
Verbruik aanvullende maatregelen	[kWh/jaar]	2.911.500	3.869.000	6.058.000
CO2 per kWh	[g/kWh]	738	738	738
CO2-productie	[ton/jaar]	2150	2850	4470
NO2 per kWh	[mg/kWh]	1070	1070	1070
NO2-productie	[kg/jaar]	3115	4140	6480
Stof per kWh	[mg/kWh]	85	85	85
Stof-productie	[kg/jaar]	250	330	515

1.2.2. PROJECT A6/A9

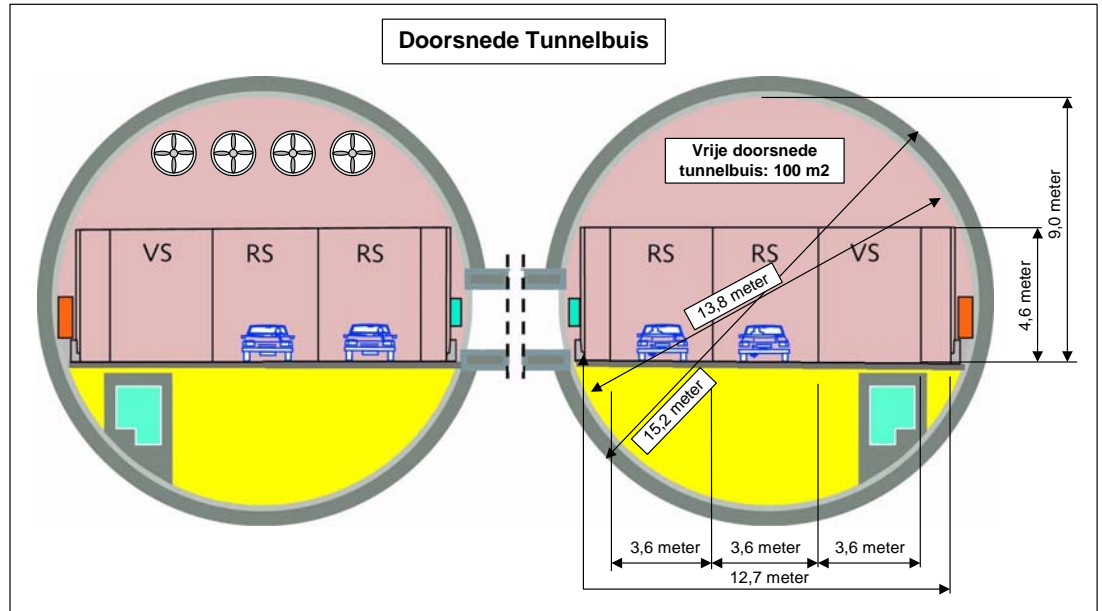


Uitgangsgegevens:

- > Tunneldoorsnede: 2 buizen met 3 rijstroken zonder vluchtstrook: uitwendige diameter van 15,2 m.
- > Lengte tunnel: 6900 tot 7650m voor boorgedeelte, inclusief toeritten 9860m tot 10600m.
- > Verkeersintensiteiten (huidige verkeerssamenstelling): 151.000 MVT/etmaal, beide richtingen, waarvan 18.900 in de ochtendspits (7.00-9.00 uur).
- > Aandeel vrachtverkeer: hoofdwegennet Noord-Holland: 5 a 10%.
- > Snelheid: maximale snelheid 100 km per uur.
- > Positie tunnelmonden: aansluiting knooppunten A1/A6 en A9/A2.
- > Maximale diepte boortunnel circa. 30 meter.
- > Op maaiveld vier gebouwen: ventilatieschachten en nooduitgangen: hart op hart 1500 meter.
- > Positie tunnelmonden: agrarisch landschap.
- > Hoogte ventilatieschachten circa 10 meter met extra geconcentreerde uitstoot van NO₂ en PM10.
- > NO₂ - stikstofdioxide
Tunnelopeningen NO₂-jaargemiddelde tot 100 µg/m³. Overschrijding treedt op tot 80 meter van de weg. Rond ventilatieschachten treedt geen overschrijding op. De maximaal gevonden waarde bedraagt circa 30 µg/m³.
- > PM10 – Fijnstof
Etmaalwaardennorm worden zowel bij alle ventilatieschachten als beide tunnelopeningen overschreden. Bij beide is het PM10 tot ongeveer 100 meter van de weg-as te hoog. Hoogste waarde bij de ventilatieschachten 61 µg/m³ en bij de tunnelmondingen 143 µg/m³.

Uitwerking verbetervoorstel voor A6/A9:

- > Aannames:
 - Vlakdeel overdekt gedeelte: 5000 m
 - Helling west – helling oost: 1325 m – 2,2 procent
- > Vrije doorsnede tunnelbuis:
 - Inwendige diameter: 13,8 meter
 - Breedte rijbaan: 12,7 meter
 - Oppervlak: $1/2 \cdot (\pi/4) \cdot 13,8^2 + 2 \cdot ((\pi/4) \cdot (17/360) \cdot 13,8^2 + 1/2 \cdot 2,1 \cdot 6,9))$: 100 m²



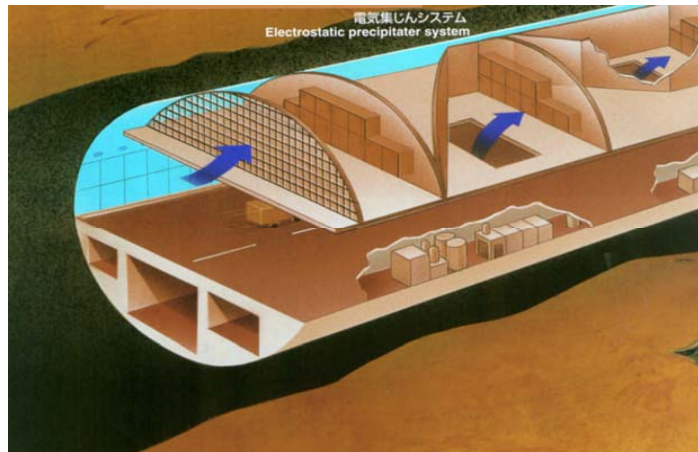
- > Verkeer in tunnelbuis:
 - Ochtendspits: beide tunnelbuizen 18.900 in de ochtendspits (7.00-9.00 uur)
 - Verkeersintensiteit per tunnelbuis per uur:
 - 4725 MVT/uur (Zuidas: 3675 MVT/uur).
 - Verkeersintensiteit per rijstrook per uur:
 - 1575 MVT/uur (Zuidas: 1225 MVT/uur).
- > Lengte langste tunnelbuis: 7650 m
- > Resultaat bij volledig gesloten tunnel zonder aanvullende maatregelen.

Tabel 9: Emissies A6/A9 zonder maatregelen

Emissies A6/A9 <u>zonder</u> maatregelen		Rijsnelheid	
		50 [km/h]	80 [km/h]
Verblijftijd in tunnel	[min]	9,18	5,74
Luchtsnelheid in tunnel	[m/s]	5,4	8,2
Luchtdebiet	[m ³ /s]	580	820
Motorvoertuigen in tunnelbuis	[MTV]	722	452
Personenauto's in tunnelbuis	[PA]	650	406
Vrachtauto's in tunnelbuis	[VA]	72	46
NO2 begin tunnelbuis	[µg/m ³]	35	35
NO2 einde tunnelbuis/rijstrook	[g/s]	0,2133	0,1740
NO2 einde tunnelbuis	[µg/m ³]	1140	671
PM10 begin tunnelbuis	[µg/m ³]	37	37
PM10 einde tunnelbuis/rijstrook	[g/s]	0,0347	0,0260
PM10 einde tunnelbuis	[µg/m ³]	216	132

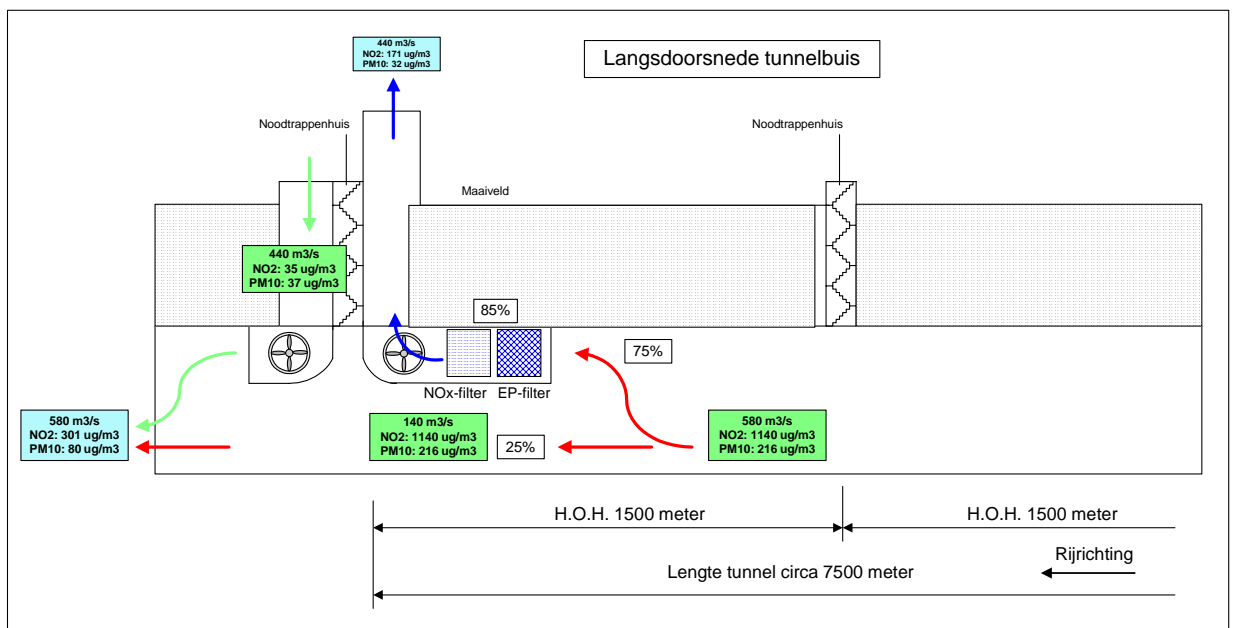
> Mogelijke maatregelen:

Daar er veel vrije ruimte aanwezig is tussen het profiel van vrije ruimte van het verkeer en het ronde plafond van de geboorde tunnel is het mogelijk om hier een verlaagd bouwkundig plafond aan te brengen zodat hier een ruimte ontstaat voor technische installaties. In deze ruimte zou een afzuigventilatie, EP-filterunits voor filtering van fijnstof PM_{10} en een koolstoffilter voor NO_2 verwijdering ondergebracht kunnen worden. Zie onderstaande schets voor deze principeopstelling. Deze wijze van afzuiging en filtering is al beproefd door CTA met elektrostatische filters voor PM_{10} reductie en van Ahlstrom [ABB Miljø AS] met katalitische en absorptie filters NO_2 reductie in Noorse tunnels.



De verkeersbuis voor auto's zal aan de uitritzijde voorzien worden van een afzuigpunt welke circa 70-80 procent van de verkeersbuis opgewekte luchtstroom ten gevolge van het verkeersaanbod kan afzuigen.

Aangehouden af te zuigen luchtdebiet: 440 m³/s gebaseerd op de maximale vrijkomende voertuigemissies in de tunnelbuis bij een rijsnelheid van 50 km/h en het hierbij verplaatste luchtdebiet ten gevolge van de verkeersbeweging van 580 m³/s. Zie voor ventilatieprincipe onderstaande schets.



Minimum uitblaassnelheid in afblaasschacht van 15 m/s voor goed spreiding:
 $440 \text{ m}^3/\text{s} - 15 \text{ m/s} = 29 \text{ m}^2 = \text{schacht } 5,5 \times 5,5 \text{ m}$. Aantal ventilatoren: 4 stuks per afblaaslocatie van elk 110 m³/s. Hoogte ventilatieschacht boven maaiveld: 10 meter.

Voor een verbetering van de onbehandelde doorgaande luchtstroom is gekozen om deze op te mengen met schone aan te zuigen buitenlucht

- **Optie 1**

Alleen afzuiging van vervuilde lucht en inblaas van schone buitenlucht in tunnelbuis.

Ventilatoren afzuig 4 stuks: 110 m³/s @ 1000 Pa @ η 80% @ 140 kW

Ventilatoren inblaas 4 stuks: 110 m³/s @ 1000 Pa @ η 80% @ 140 kW

- **Optie 2**

Afzuiging van vervuilde lucht + elektrostatisch filter voor PM₁₀ en inblaas van schone buitenlucht in tunnelbuis.

Ventilatoren afzuig 4 stuks: 110 m³/s @ 800 Pa + 250 Pa @ η 80% @ 170 kW
[EP-filter: 250 Pa (Aigner)]

Ventilatoren inblaas 4 stuks: 110 m³/s @ 800 Pa @ η 80% @ 110 kW

- **Optie 3**

Afzuiging van vervuilde lucht elektrostatisch filter voor PM₁₀ + actief koolstoffilter voor NO₂ en inblaas van schone buitenlucht.

Ventilatoren afzuig 4 stuks: 110 m³/s @ 800 Pa + 850 Pa @ η 80% @ 250 kW
[EP-filter + koolstoffilter: 850 Pa (FILTRONtec)]

Ventilatoren inblaas 4 stuks: 110 m³/s @ 800 Pa @ η 80% @ 110 kW

> Reinigingsresultaat

Filterrendement van 80-90% mogelijk: een rendement van 85% aangehouden. Afvangrendement aangehouden van 75% voor een rijsnelheid van 50 km/h: hierbij zal 25% van de opgewekte luchtstroom in de tunnel onder het afzuigpunt doorstromen. Deze vervuilde luchtstroom zal opgemengd worden

Tabel 10: Emissies A6/A9 met aanvullende maatregelen

Emissies A6/A9 met aanvullende maatregelen		Rijsnelheid	
		50 [km/h]	80 [km/h]
Luchtdebiet in tunnelbuis	[m ³ /s]	580	820
Luchtbediet afzuigpunt	[m ³ /s]	440 [75%]	440 [54%]
Luchtbediet inblaaspunt	[m ³ /s]	440	440
NO ₂ begin tunnelbuis - buitenlucht	[µg/m ³]	35	35
NO ₂ einde tunnelbuis	[µg/m ³]	1140	670
NO ₂ uit schoorsteen na filtering	[µg/m ³]	171	100
NO ₂ uit tunnelbuis na opmenging	[µg/m ³]	301	329
PM ₁₀ begin tunnelbuis - buitenlucht	[µg/m ³]	37	37
PM ₁₀ einde tunnelbuis	[µg/m ³]	216	132
PM ₁₀ uit schoorsteen na filtering	[µg/m ³]	32	20
PM ₁₀ uit tunnelbuis na opmenging	[µg/m ³]	80	81

> Investeringskosten

Om enig inzicht te krijgen in de benodigde bouwkosten voor de aanvullende maatregelen zijn globale kosten voor de installatietechnische en bouwkundige voorzieningen voor de drie beschreven opties vastgesteld.

Tabel 11: Investeringskosten A6/A9 aanvullende maatregelen

Investeringskosten	Optie 1	Optie 2	Optie 3
Ventilatoren	€ 3.600.000	€ 3.720.000	€ 3.840.000
Frequentieregelaars	€ 480.000	€ 520.000	€ 560.000
Geluiddempers	€ 400.000	€ 400.000	€ 400.000
Besturingsinstallatie	€ 100.000	€ 100.000	€ 100.000
Energieaansluiting	€ 80.000	€ 80.000	€ 80.000
Reinigingsinstallaties	€ -	€ 5.400.000	€ 7.500.000
Techniekrimte ventilatoren	€ 400.000	€ 400.000	€ 400.000
Techniekrimte geluiddempers	€ 400.000	€ 400.000	€ 400.000
Techniekrimte EP-filters	€ -	€ 300.000	€ 300.000
Techniekrimte actieve koolfilters	€ -	€ -	€ 600.000
Ondergrondse schachten	€ 2.200.000	€ 2.200.000	€ 2.200.000
Bovengrondse schachten	€ 600.000	€ 600.000	€ 600.000
Totaal circa	€ 8.300.000	€ 14.200.000	€ 17.000.000

> Energieverbruik

Voor het vaststellen van het opgenomen vermogen van de ventilatoren uitgegaan van de volgende verdeling van het benodigde ventilatiehoeveelheden, welke gerelateerd zijn aan het verkeersaanbod.

- 100% ventilatie - 4 uur/dag (spitsuren)
- 75% ventilatie - 6 uur/dag
- 50% ventilatie - 6 uur/dag
- 25% ventilatie - 8 uur/dag

Voor het opgenomen vermogen van een EP-filter installatie is uitgegaan van een vermogen van slechts 1,5 kWh per dag.

Voor het opgenomen vermogen van de reinigingsinstallatie van de EP-filter installatie is een vermogen aangehouden van 7,5 kW welke circa 4 uur per dag in bedrijf is.

Voor de energiekosten is uitgegaan van de volgende kostprijzen:

- Vastrecht transport: € 6,50 / kW
- Transportkosten: € 0,04 / kWh
- Energiekosten: € 0,08 / kWh

Netto Contante Waarde

- Technische levensduur: 25 jaar
- Rentevoet: 4,5 procent

Tabel 12: Energieverbruik A6/A9 aanvullende maatregelen

Energieverbruik - Energiekosten		Optie 1	Optie 2	Optie 3
100% - 4 uur dag – 1460 uur jaar	[kW]	136	170	253
75% - 6 uur dag – 2190 uur jaar	[kW]	57	72	107
50% - 6 uur dag – 2190 uur jaar	[kW]	17	21	32
25% - 8 uur dag – 2920 uur jaar	[kW]	2	3	4
Aantal ventilatoren aanzuig	[-]	8	8	8
Maximum opgenomen vermogen aanzuig	[kW]	1089	1378	2038
Aantal ventilatoren inblaas	[-]	8	8	8
Maximum opgenomen vermogen inblaas	[kW]	1089	1089	1089
Verbruik aanvullende maatregelen	[kWh/jaar]	5.887.000	6.652.000	8.436.000

Vastrecht transport	[€/kW]	6,50	6,50	6,50
Transportkosten	[€/kWh]	0,04	0,04	0,04
Energieprijs	[€/kWh]	0,09	0,09	0,09
Energiekosten per jaar	[€/jaar]	€ 790.000	€ 890.000	€ 1.130.000
Netto Contante Waarde 25 jaar	[€]	€12.000.000	€13.050.000	€ 16.550.000

> Emissiereductie bij aanvullende maatregelen

Zowel voor de elektrostatische filterinstallatie bij optie 2 en 3 voor het afvangen van fijn stof PM₁₀ en voor het actief koolstoffilter bij optie 3 voor het afvangen van NO₂ stikstofdioxide is een conservatief rendement aangehouden van 85%.

Tabel 13: Emissiereductie A6/A9 aanvullende maatregelen

Emissiereductie bij aanvullende maatregelen		Optie 1	Optie 2	Optie 3
Aantal ventilatoren aanzuig	[-]	8	8	8
Afgezogen luchtdebiet				
- 100% - 4 uur dag – 1460 uur jaar	[m ³ /s]	110	110	110
- 75% - 6 uur dag – 2190 uur jaar	[m ³ /s]	82,5	82,5	82,5
- 50% - 6 uur dag – 2190 uur jaar	[m ³ /s]	55	55	55
- 25% - 8 uur dag – 2920 uur jaar	[m ³ /s]	27,5	27,5	27,5
Afgezogen luchtdebiet	[m ³ /jaar]	15,6·10 ⁹	15,6·10 ⁹	15,6·10 ⁹
CO2 per m3/s	[µg/m ³]	0	0	0
CO2-reductie	[ton/jaar]	0	0	0
NO2 per m3/s	[µg/m ³]	0	0	969 1)
NO2-reductie	[kg/jaar]	0	0	15120
Stof per m3/s	[µg/m ³]	0	184 1)	184 1)
PM10-reductie	[kg/jaar]	0	2870	2870

> Vrijkomende emissies bij energieproductie

Voor het aandrijven van de afvoerventilatoren, elektrostatische filterinstallatie en reiniging van de elektrostatische filterinstallatie en de actieve koolstofinstallatie is energie benodigd. Deze energie wordt geproduceerd in een energiecentrale. De hierbij vrijkomende emissies zijn bepaald met de hieronder vastgelegde kentallen.

Beschikbare kentallen voor emissies bij energieproductie:

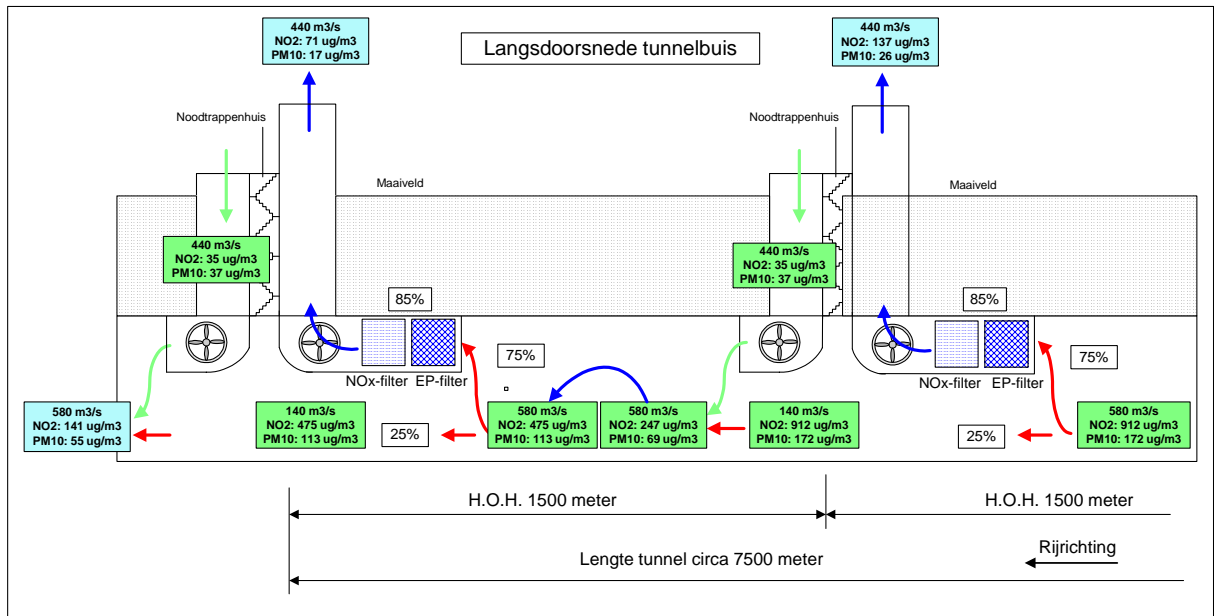
- 738 g CO₂ / kWh [Bron: UvA – VLCA data]
- 1070 mg NO₂ / kWh [Bron: UvA – VLCA data]
- 85 mg Stof / kWh [Bron: UvA]

Tabel 14: Vrijkomende emissies A6/A9 aanvullende maatregelen

Emissies bij energieproductie		Optie 1	Optie 2	Optie 3
Verbruik aanvullende maatregelen	[kWh/jaar]	5.887.000	6.652.000	8.436.000
CO2 per kWh	[g/kWh]	738	738	738
CO2-productie	[ton/jaar]	4350	4910	6225
NO2 per kWh	[mg/kWh]	1070	1070	1070
NO2-productie	[kg/jaar]	6300	7120	9025
Stof per kWh	[mg/kWh]	85	85	85
Stof-productie	[kg/jaar]	500	565	720

> Alternatief op aanvullende maatregelen

Indien nu de bovenstaande maatregelen onvoldoende resultaat is het ook mogelijk om dit systeem in serie op te stellen. Hierbij dient men wel rekening te houden met de aanvullende vervuiling tussen de beide reinigingsstations. Zie onderstaande schets voor het ventilatieprincipe.



1.2.3. PROJECT LICHTE OVERKAPPINGEN

Uitwerking verbetervoorstel voor lichte overkappingen:

- > Het project lichte overkappingen is niet uitgewerkt daar specifieke uitgangsgegevens ontbreken van de locatie waar deze overkapping zou kunnen worden toegepast maar de oplossingsrichting en uitwerking zal in grote lijnen gelijk zijn als de uitwerking voor het project A6/A9.

1.2.4. CONCLUSIE TOEPASSING IN PROJECTEN

- > Door gebruik te maken van afzuigschachten nabij de tunnelportalen is het mogelijk om een groot deel van de vervuilde lucht af te zuigen en boven maaiveld af te blazen.
- > Bij concentratie overschrijdingen voor PM₁₀ en NO₂ met betrekking tot de wet luchtbesluit is het voor deze luchtstroom mogelijk om de schoorsteen te verhogen en/of de luchtstroom te reinigen met behulp van een elektrostatisch filterpakket en/of een actief koolstoffilter.
- > Voor de doorgaande niet afgezogen luchtstroom is het mogelijk om de uiteindelijke concentratie nabij de tunnelmonding te verlagen door gebruik te maken van inblaasschachten waarbij de uitstromende lucht opgemengd wordt met schoon aangezogen buitenlucht.
- > Daar de huidige in Nederland gebruikte luchtverspreidingsmodellen nabij tunnelportalen niet toereikend om vast te stellen of er een overschrijding is van een concentratie fijn stof PM₁₀ of stikstofdioxide NO₂ kan de noodzaak van de beschouwde maatregelen niet worden vastgesteld.

- > De maximale rijnsnelheid is waarschijnlijk niet altijd de meest ongunstige situatie voor de bepaling van de maximale uitstoot van verontreinigingen. Bij gelijk aantal voertuigen per uur zal bij verlaging van de gemiddelde rijnsnelheid de emissie per tijdseenheid van de voertuigen afnemen maar neemt de verblijftijd toenemen.
- > Energieverbruikskosten van ventilatiesystemen zijn, zeker indien hoge drukvallen overwonnen dienen te worden bij filterpakketten, erg hoog. Verlaging kan plaatsvinden door de capaciteit van de ventilatie af te stemmen op het verkeersaanbod en de gemiddelde rijnsnelheid of op basis van emissiemetingen van de concentraties.
- > Bij een evaluatie dienen ook de emissies beschouwd te worden die vrijkomen bij de productie van elektriciteit die nodig is voor de aanvullende maatregelen ter verlaging van de emissies nabij de tunnelportalen.

1.3. ANDERE MARKTSEGMENTEN

In een inventarisatie van de verschillende branchen zijn de volgende mogelijke interessante branchen geïdentificeerd:

- VUILverbranding
- Corus
- Shell
- Mijnbouw

Deze bedrijven zijn telefonisch benaderd om een toelichting te vragen op hun methoden om fijn stof en NO_x emissie te beperken.

1.0.1. AVR VERBRANDINGSINSTALLATIE

De verbranding in de oven wordt geregeld op 1150 °C. voor het afvangen van het vlieggas worden de verbrandingsgassen eerst door een electrostatisch filter geleidt. De geschatte vracht en concentraties zijn in tabel weergegeven.

Tabel 15 vracht en concentraties uit de verbrandingsovens

filter	in	rendement	uit
electrostatisch filter 70.000 m ³ /uur	120 kg/uur (≈ 2000 mg/m ³)	96-97 %	5 kg/ uur (≈ 100 mg/m ³)

Vervolgens wordt de afvalstroom behandeld door:

Wassectie, venturisectie, vaste coaksfilter.

Eenvierde van het bedrijfsterrein is de verbrandingsinstallatie., de reinigingsreinigingsinstallatie beslaat de overige driekwart van het bedrijfsterrein. Daarbij moet opgemerkt worden dat het coaksfilter meerdere componenten afmoeten vangen. Voorbeelden hiervan zijn zware metalen, dioxines, organische verontreinigingen.

Emissie-eis

De NeR-emissie-eis voor verbrandingsovens is 1 mg/m³. (ter vergelijking: hoog ten opzichte van de emissie-eis rond tunnels van 0,040 mg/m³).

Ervaring electrostatisch filter

Het elektrostatisch filter wordt binnenkort vervangen door een doeken filter. Gezien de hoge vervuilingsgraad wordt hierbij duidelijk vermeld dat het zakkenfilter net zo efficiënt is al de reiniging van het filter (zonder deze te beschadigen).

Werking van de Venturi Gaswassers

Deze vorm van gaswassen is gebaseerd om onze straalpomptechnologie. De hoge afscheidingsgraad wordt voornamelijk verkregen door de hoge relatieve snelheden tussen het gas en de wasvloeistof in de speciale venturie opening, die zich onderin de wasser bevindt. Deze snelheden moeten voor een goede werking zo constant

mogelijk gehouden worden, het geen traploos in te stellen is. Vooraf verzadigde gasstromen laten zich in dit geval het beste reinigen.
(http://www.gea-pen.nl/ndk_website/PdivExhibition/cmsdoc.nsf/WebDoc/ndkw68dkjh)

1.0.2. CORUS

De grootste stofemissie komt aan de bovenkant uit de hoogoven. Hiervoor is een installatie in bedrijf om het stof uit de hoogoven te beheersen.

de primair filtering wordt gedaan met de gaswasser. Hiervoor wordt water uit de rivier gebruikt. Het afzuigdebiet bedraagt circa 500.000 m³/uur lucht.

De installatie heeft erg veel onderhoud nodig. (Bijv. vervangen sproeiërs)

De reinigingssectie wordt gevoed met een concentratie van circa 1000 mg/m³. (Ter vergelijking: uitgangspunt bij tunnels is 0,200 mg/m³ als startconcentratie)

De overgebleven vervuiling in de luchtstroom na de wassectie wordt afgevangen met een doekenfilter. Door de gevormde koeklaag neemt de filtratie toe.

Emissie-eis

De geldende NeR-emissie-eis is 5 mg/m³. (ter vergelijking: emissie-eis bij tunnelmonden is 0,040 mg/m³).

Commentaar: een elektrostatisch filter zal niet alles absoluut afvangen. In hun ogen zijn de filterrendementen afnemend van doekfilter naar electrostaat en als laagste vangstrendement een wasser.

Karakteristieken van een elektrostatisch filter: lage (druk)verliezen, hogere investeringen voor een doeken filter. Teflon is een geschikt materiaal voor het filter, omdat deze gemakkelijk te reinigen is.

Bij de ertsopslag staat een elektrostaatisch filter voor het doekenfilter. Dit werkt goed omdat de vrijkomende ijzer deeltjes zich goed laten opladen.

Opmerking bij filtering van de lucht uit de tunnel: ongeacht van de filtertechniek wordt het lastig om de volledige luchtstroom af te vangen zonder het verkeer te hinderen.

1.0.3. SHELL

Nog geen antwoord. Eindelijk antwoord, doorverwezen naar weer een ander persoon...

1.0.4. MIJNBOUW

TU Delft. Door zomervakantie contact uitgesteld.

1.0.5. EXPERTGESPREKKEN

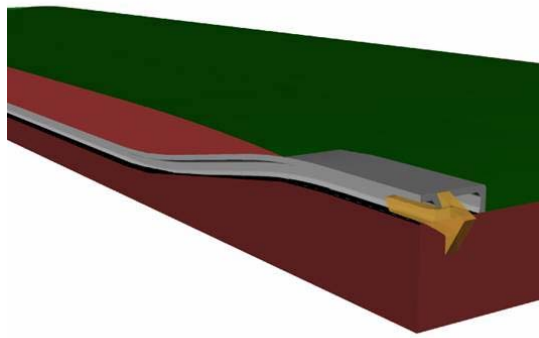
In de zoektocht naar de geschikte contactpersonen zijn diverse gesprekken met de experts op verschillende vakgebieden gehouden. In Tabel 16 is een samenvatting gegeven van de ideeën.

Tabel 16 expert oplossingen

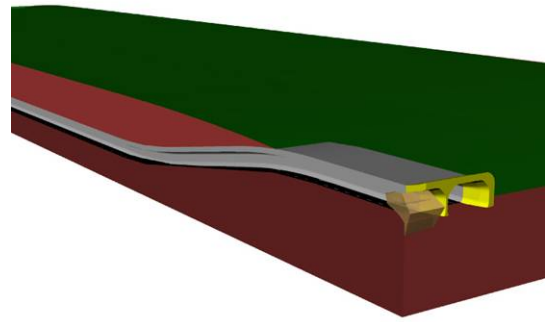
herkomst idee	omschrijving	werking	opmerking
TNO Defensie en Veiligheid	fiberdoek aan plafond hangen.	Warme uitlaatgassen stijgen op. oppervlak vergroting met fiberdoek zorgt voor betere hechting	effectiviteit? hoe vaak doek vervangen
	elektrostatische precipitator(zou goed moeten werken, mogelijk dat de dimensionering niet goed uitgevoerd is) lage energie kosten omdat er geen stroom loopt (alleen potentiaal opwekken)	deeltjes elektrische lading geven	negatief oplading geeft veel O ₃ positieve oplading minder effectief maar ook minder nevenproducten
	electreet fiber	meerdere draden van het fiber zorgen voor betere oplading van deeltjes	worden binnenshuis gebruikt in HVAC units
	neerslaan op koud oppervlak	diffusie aan warme kant is groter dan aan koude kant waardoor deeltjes meer richting koude kant gedrukt worden	koude waterwand zorgt ervoor dat stof uit de lucht erop neerslaat en afgevoerd wordt
	aangroeien van nevel aan stof	door samenklonteren van de deeltjes kan ervoor gezorgd worden dat de af te vangen deeltjes groter worden.	hoge volumestromen. gevaarlijke situatie
ASAF Eli Berben	micro gas wash	Luchtscherm 2 cm dik, 30 kW. Deeltjes binden aan water met additief. Water verdampt en grotere deeltjes worden afgevangen	claimt 97% rendement met natte electrostaat als eindfiltering werkt ook met HEPA of mindere filtertechnieken

ter verduidelijking van enkele ideeën zijn schetsen gemaakt. Deze zijn weergegeven in Tabel 17.

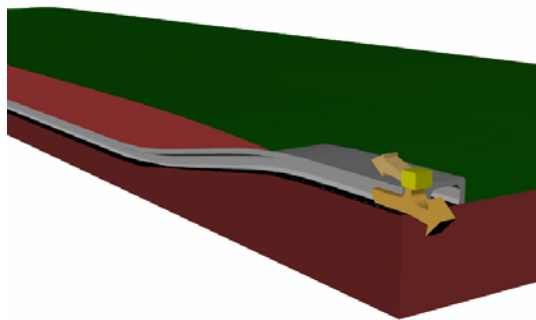
Tabel 17 idee schetsen



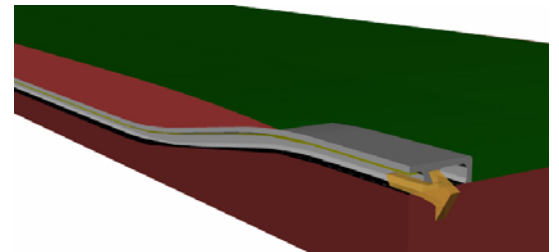
standaard tunnel, emissie aan de tunnel mond



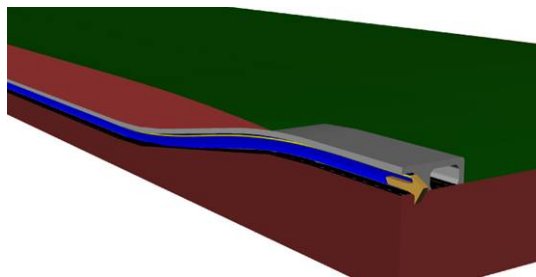
opmenging van omgevingslucht alvorens het de tunnelmond verlaat (wat is het juridisch einde van de tunnel?)



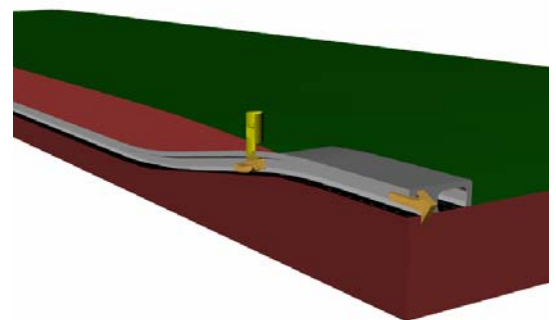
hoeveel van de doorstromende lucht door de tunnel wordt uiteindelijk gefiltreerd.



kan oppervlaktevergroting van de tunnelwand ervoor zorgen dat er meer stof aangetrokken wordt



kan een koude vochtige wand het diffuse stof voldoende binden om emissies aan de tunnelmond te beperken



kan de warme lucht in de tunnel met schoorstenen uitgeblazen worden waardoor de concentraties op leefniveau laag blijven?

1.4. RESTWARMTE

De voertuigen in de tunnel produceren warmte. De vraag is of deze warmte effectief ingezet kan worden. Lange tunnels hebben problemen om de warmte af te voeren. De meest “lucratieve” oplossing zou zijn om deze warmte in te zetten in stroom. De verwarmde lucht zal niet voldoende warm zijn om bijvoorbeeld stoom van te maken. De lucht is daarvoor nog in contact geweest met de automobilisten. De temperatuur mag dus niet te verder oplopen door bijvoorbeeld recirculatie van de tunnellucht. Daardoor is het onwaarschijnlijk dat hiermee een turbine kan worden aangedreven.

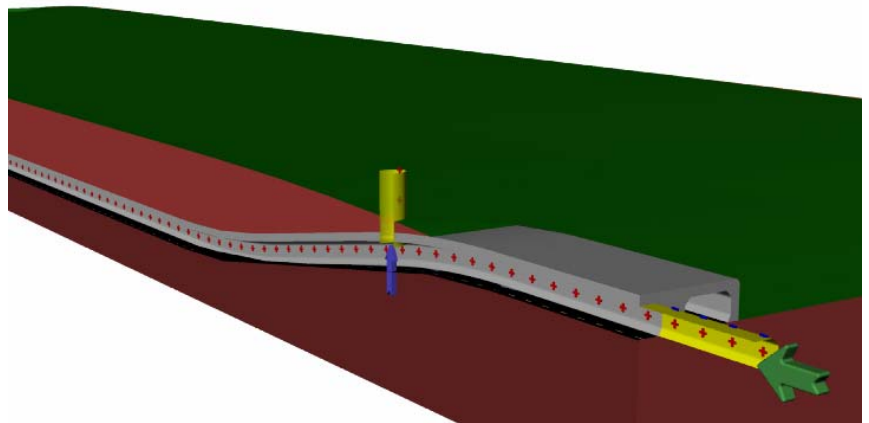
Minder lucratief maar nog steeds nuttige is het verwarmen van een gebouw met de warme lucht. De warme tunnellucht kan door een warmtewisselaar geleid worden om de verse luchtaanzuig voor te verwarmen. Het gebouw moet dan dicht bij het einde van de tunnel gepositioneerd zijn om verliezen te beperken. Helaas is deze warmtebehoefte er niet het gehele jaar. Gedurende de zomer levert het koelen van de gebouwen meer problemen op dan het verwarmen waardoor er ook een bypass functie nodig is. Vooral nog lijkt de extra investering en operationele kosten van luchtpompen niet op te wegen tegen de bespaarde stookkosten.

Als laatste optie kan de warmte gebruikt worden als drijvende kracht voor een luchtstroom. Door gebruik te maken van warmteverschillen binnen en buiten de tunnel wordt er door het verschil in soortelijke warmte een thermisch drijvende kracht gecreëerd. Het soortelijk gewicht van de uitgezette, warme lucht is lager dan dan de koude omgevingslucht. Dit effect neemt toe naarmate het hoogte verschil groter is. Van dit effect kan gebruik gemaakt worden door een hoge schoorsteen op de tunnel te plaatsen. Windeffecten langs de top van de schoorsteen resulteren voor een additionele trek. Voordeel van deze techniek is dat er bespaard kan worden op energiekosten van ventilatoren.

Bij korte tunnels zal de opwarming beperkt zijn. De verblijftijd van de auto's in de tunnels is te laag om de lucht op te warmen. Dit kan opgelost worden door de tunnel fictief te verlengen. Met een overkapping voor de tunnel kan de lucht langer in contact gehouden worden met het verkeer. Hierdoor neemt de temperatuur van de lucht toe waardoor het effect van de thermiek versterkt wordt. In het meest gunstige geval, wordt de gehele snelweg overkapt, waarbij ontluchting alleen via hoge schoorstenen plaats vindt. Oververhitting in de zomer kan beperkt worden door afsluitbare ventilatievoorzieningen in de overkapping te maken.

Overwegingen bij het gebruik van schoorstenen:

- Wat is het effect van de opwarming en afkoeling van de tunnel en de omgevingslucht. In de ochtend kan de omgevingslucht sneller opwarmen dan het verkeer de lucht in de tunnel opwarmt. Hierdoor gaat de schoorsteen omgekeerd werken, en wordt er juist lucht toegevoerd. (menging resulteert nog altijd in lagere concentraties!!)
- De luchtstroming komt niet op gang. Bij te grote hoogteverschillen tussen de overkapping en het laagste punt in de tunnel kan ervoor zorgen dat de luchtstroom omgekeerd is.
- Kan een stuurstraal vanuit het asfalt vertikaal omhoog ervoor zorgen dat de luchtstroom in de juiste richting geïnitieerd wordt en dat het merendeel van de luchtstroming in de tunnel door de schoorsteen de tunnel verlaat. Hoe reageert het verkeer op een luchtstroom vanuit het asfalt. Beïnvloed de luchtstroom het rijgedrag van bijvoorbeeld een motorrijder, lichte personenauto.



Is het mogelijk om de warmte te sparen voordat de tunnel ingegaan wordt? Hierdoor wordt de drijvende kracht voor de thermiek werking van de schoorsteen vergroot.

Een oriënterende berekening is gemaakt om de potentie van de drijvende kracht te bepalen. Hierbij is op basis van het geschatte benodigde vermogen om met de voertuigen een snelheid van 60 km/uur vast te houden. Hierbij is aangenomen dat daarvoor circa 7 kW benodigd is. Als alle verliezen omgezet worden in warmte, zal ieder voertuig dus een fictieve kachel van 7 kW zijn. Met één seconde afstand tussen de voertuigen kan bepaald worden wat het verwarmende vermogen is van een rijbaan. Deze warmte wordt opgenomen door de langsstromende lucht. Deze is geschat op 3 m/s bij een oppervlak van 20 m² per rijbaan. (bij twee rijbanen verdubbelen zowel het aantal auto's als de hoeveelheid lucht door de tunnel). Ter controle is de berekening ook uitgevoerd op basis van het gemiddelde verbruik van de auto's en de verbrandingswarmte van benzine.

ΔP	=	ΔT	ΔH	0,045		
[Pa]		[°C]	[m]	[-]		
23	=	21	25	0,045		
op basis van schatting rendement auto				op basis van verbruik benzine		
tunnellengte		1000	m			
oppervlak tunnelbuis		20	m ²	(per rijbaan)		
snelheid auto		60	km/uur		benzine	28 MJ/L
auto vermogen		7	kW		verbruik	0,1 l/km
rendement auto		0,2			energie tunnel	2,8 MJ/km
afstand tussen de auto's		1	s			2,8 kJ/m
lengte van de auto		5			snelheid	60 km/uur
						16,7 m/s
luchtsnelheid tunnel		3	m/s		per auto	46,7 kJ/s (kW)
volume		60	m ³ /s	(per rijbaan)	aantal auto's	46
auto's in de tunnel		46			vermogen in tunnel	2153,846 kW
vermogen in tunnel		1615	kW			
temperatuur stijging		21	°C		temperatuur stijging	27,8 °C

Een tunnel van 1000 meter kan op basis van deze schattingen resulteren in een temperatuurstijging van circa 20 °C.

Beantwoording vragen:

Zijn enige van deze technieken toepasbaar op tunnels?

Deze technieken zijn gebaseerd op emissie-eisen van 1 of 5 mg/m³. De luchtstroom die we willen zuiveren heeft maximaal een vervuiling van circa 0,2 mg/m³. Dat betekent dat waar de industrie ophoud met zuiveren, daar moet begonnen worden met zuiveren rond tunnelmonden.

De industrie is niet bezorgd om de restconcentratie, waarom niet?

Ze voeren de, in onze ogen, sterk vervuilde lucht af door hoge schoorstenen. De hoogte van de schoorsteen is bepalend voor de benodigde menging van de vervuilde lucht voordat deze weer in de leefomgeving komt. Het bekende probleem van Nederland met het Ruhrgebied. Daar zijn de schoorstenen voldoende hoog om het probleem met stof over honderden kilometers te verplaatsen (maar niet op te lossen). Door de variatie in windrichting zijn de problemen lokale beperkt.

Kunnen we dat bij tunnels ook?

Het “mooie” van de industrie is dat het stof meestal al gevangen is in de installatie. Hierdoor hoeven ze het “alleen nog maar te reinigen”. De locatie van de industrie is vaak uitgezocht op beschikbaarheid van water en ruimte.

Bij tunnels is het probleem dat het verkeer niet gehinderd mag worden. Hierdoor kunnen de tunnelmonden niet fysiek afgesloten worden om de emissie te beperken. Dit is één van de problemen bij tunnelmonden ten opzichte van de industrie. Daarnaast zijn er vaak de secundaire voorzieningen niet, zoals ruimte voor een grote installatie of voldoende water.

Als meeste geschikte techniek lijkt het toepassen van een schoorsteen om (net zoals de industrie) de restvervuiling hoog in de lucht te spuien. Daarbij wordt het opgemengd en afhankelijk van de windrichting, wordt de probleemlocatie steeds afgewisseld waardoor op veel plaatsen enkele overschrijdingen op geofferd worden tegen één locatie met geregelde overschrijdingen. Kritische punten hierbij zijn:

- vangen van alle vervuilde lucht zonder het verkeer te hinderen;
- een systeem te maken met een laag energieverbruik (anders weegt de extra CO₂, NO_x en PM10 emissie van de energiecentrale niet op tegen de verspreiding bij de tunnelmonden).