

Ventilatie in parkeergarages

Parkeergarages worden door het toenemende autogebruik steeds vaker toegepast op plaatsen waar mensen samenkomen. Hierbij kan worden gedacht aan winkelcentra, kantoren en uitgaanscentra, maar ook wooncomplexen. De nieuwste bouwvormen geven steeds vaker problemen om bestaande ventilatietechnieken toe te passen bij het ventileren van parkeergarages. Novenco heeft jarenlange ervaring in de tunnelventilatietechniek en heeft deze techniek geprojecteerd op parkeergarages. Inmiddels is de tunnelventilatietechniek veelvuldig toegepast voor het ventileren van parkeergarages.

Bij de tunnelventilatietechniek maakt men gebruik van stuwkrachtventilatoren. De techniek is gebaseerd op het impulsprincipe.

-door R.A.G. van Beek en ing. C.G.W.M. van Nuland***



Dhr. R.A.G. van Beek

Ventileren is het verplaatsen van lucht. Als we lucht verplaatsen dan is er sprake van het verplaatsen van een massa. Lucht heeft bij 20 graden Celsius een massa van ongeveer 1,2 kg per m³. Het ventileren van 10 m³ lucht betekent dus het verplaatsen van een massa van 12 kg. Lucht kan op 3 manieren worden verplaatst. De meest bekende manier is de lucht door een doorsnede (luchtkanaal) "duwen" met behulp van een ventilator. De tweede manier is dat lucht zich verticaal verplaatst als gevolg van temperatuurverschillen. Een derde methode is die van de zoge-

naamde 'stuwkrachtventilatie'. Hierbij wordt gebruik gemaakt van het natuurkundige verschijnsel dat een massa zich versnelt (verplaatst) als gevolg van een stootkracht. Deze stootkracht noemen we 'de stuwkracht'. Met de wetenschap dat lucht ook massa heeft, kunnen we vaststellen dat met stuwkracht lucht kan worden verplaatst. Door continue research wordt de toepassing van het stuwkrachtventilatiesysteem steeds verder geoptimaliseerd en geïntegreerd in de beveiligingsinstallaties van parkeergarages. De conclusie is dat een parkeergarage uitstekend kan worden geventileerd met stuwkrachtventilatie. In dit artikel wordt nader ingegaan op de mogelijkheden die de stuwkrachtventilatie biedt.

PARKEERGARAGE CATEGORIËN

Volgens de NVN 2443 zijn er twee categorieën parkeergarages te onderscheiden:

- Categorie 1 : open parkeergarages;
- Categorie 2 : dichte parkeergarages

Voor alle duidelijkheid wordt opgemerkt dat de term 'bovengrondse par-



keergarage' verwarrend werkt. Het is namelijk theoretisch mogelijk dat een bovengrondse parkeergarage in de categorie dichte parkeergarages valt. Dit is de reden dat in dit artikel de term 'bovengrondse parkeergarage' verder niet wordt gebruikt.

Open parkeergarage

Een open parkeergarage wordt pas als "open" erkend, als aan een aantal criteria is voldaan.

In figuur 1 is aangegeven wanneer een parkeergarage in de categorie open parkeergarages valt.

Een parkeergarage is 'open' als aan de volgende voorwaarden wordt voldaan:

- natuurlijke ventilatie moet gewaarborgd zijn;
- minstens twee tegenover elkaar staande wanden moeten niet afsluitbare buitenwanden zijn;
- de opening in de buitenwanden moet minimaal 1/3 van het totale wandoppervlak zijn dat het compartiment begrenst. (binnen- en buitenwanden samengerekend). Of de openingen in de buitenwanden moeten minimaal 2,5 % zijn van het bruto vloeroppervlak van het compartiment. Deze twee buitenwanden mogen niet meer dan 54 meter uit elkaar staan;
- de wanden met de openingen moeten minimaal 5 meter vrije ruimte heb-

* Manager Afdeling Industriële Ventilatie, Novenco B.V., Bergschenhoek

**Technisch adviseur, Novenco B.V., Bergschenhoek

- ben t.o.v. naastgelegen bebouwing;
- de laagste vloer van de parkeergarage mag nergens meer dan 1,3 meter onder het maaiveld liggen;
- wanden in de parkeergarage mogen geen belemmering zijn voor de natuurlijke ventilatie.

Indien aan één van deze en in figuur 1 aangegeven voorwaarden niet wordt voldaan, dan is er geen 'open parkeergarage'.

In die gevallen is er sprake van een 'dichte parkeergarage'.

Dichte parkeergarages

Enkele variaties zijn:

- de buitenwanden staan bv. 100 meter uit elkaar i.p.v. 54 meter;
- er is slechts één buitenwand open;
- de openingen in de buitenwand zijn te klein;
- er zijn geen open buitenwanden (zie figuur 3);
- iedere denkbare combinatie van deze variaties

Bij dichte parkeergarages dient een mechanische ventilatie-installatie te worden toegepast.

De uitvoering van de mechanische ventilatie-installatie is afhankelijk van de vorm en situering van de parkeergarage. Er zijn vele variaties om een parkeergarage te bouwen.

BESTAANDE VENTILATIEMETHODEN

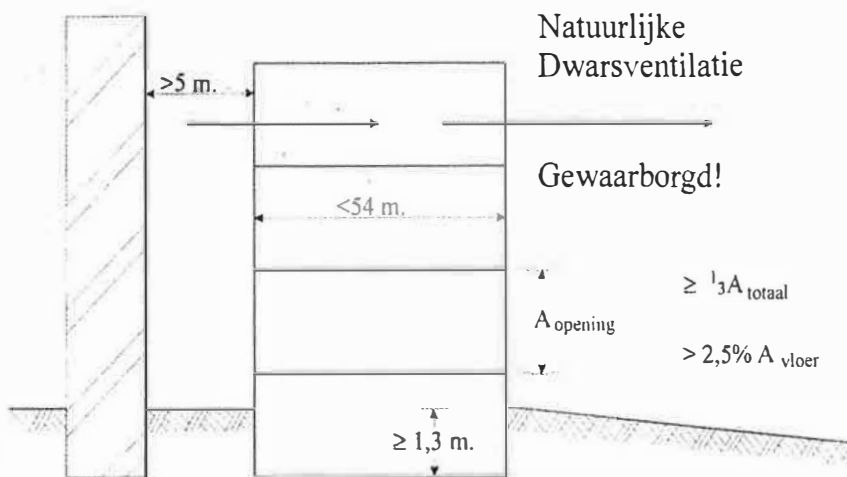
Om duidelijk te maken met welke methoden momenteel parkeergarages worden geventileerd volgt aansluitend een korte toelichting op een viertal methoden.

Natuurlijke methode

Hiermee wordt bedoeld de ventilatiemethode van de open parkeergarages. Door winddrukverschillen doet de natuur hier zijn werk.

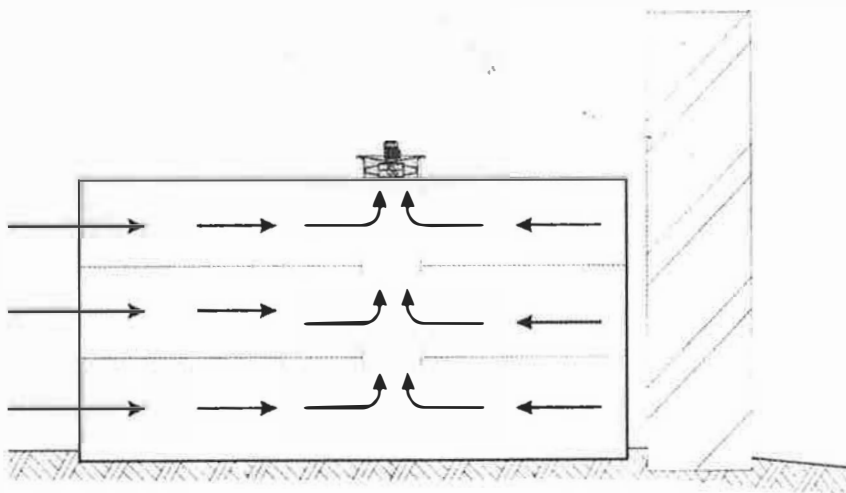
Semi natuurlijke methode

In dit geval wordt de verse lucht op natuurlijke wijze toegevoerd. De verontreinigde lucht wordt op mechanische wijze afgevoerd. Andersom kan het ook zo zijn dat de verse lucht op mechanische wijze wordt toegevoerd en de verontreinigde lucht op een natuurlijke wijze worden afgevoerd. Bij deze methode worden over het algemeen geen luchtkanalen toegepast, alhoewel dit niet uitgesloten is. (zie figuur 2)



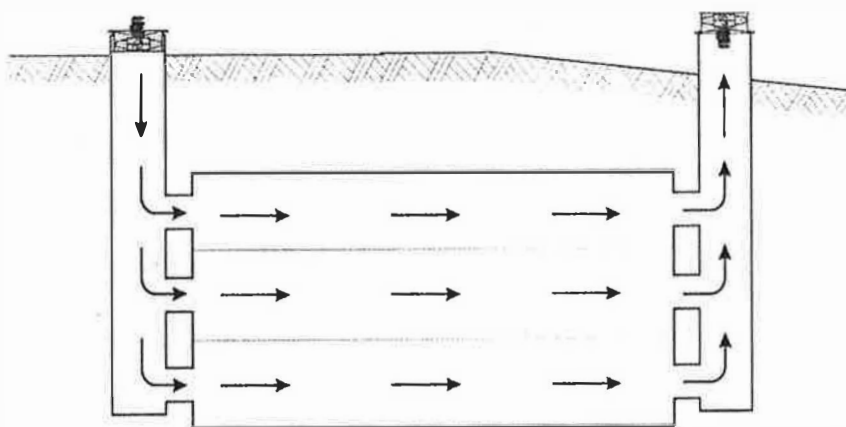
Open parkeergarage

-FIGUUR 1-



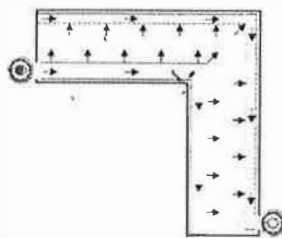
Semi natuurlijke methode

-FIGUUR 2-

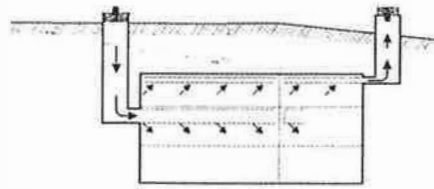


Semi mechanische methode

-FIGUUR 3-



Boven-aanzicht



Zij-aanzicht

Mechanische methode

-FIGUUR 4-



(Zij-aanzicht werking ventilatoren)



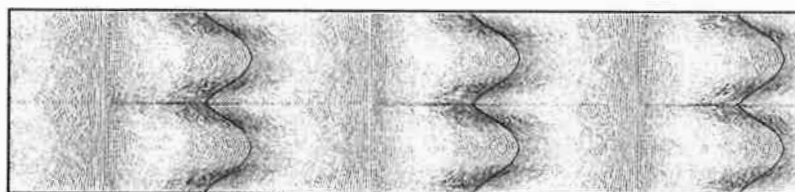
(Zij-aanzicht luchtsnelheid)

Stuwkrachtventilatie in de praktijk, zij-aanzicht

-FIGUUR 5A-



(Boven-aanzicht werking ventilatoren)



(Boven-aanzicht luchtsnelheid)

Stuwkrachtventilatie in de praktijk, bovenaanzicht

-FIGUUR 5B-

Semi mechanische methode

De toevoer van verse lucht wordt mechanisch verzorgd. De verontreinigde lucht wordt eveneens op mechanische wijze afgevoerd. Er wordt bij de semi mechanische methode geen gebruik gemaakt van luchtkanalen. (zie figuur 3)

Mechanische methode

Ook hier wordt de lucht op mechanisch wijze toegevoerd. De verontreinigde lucht wordt weer op mechanische wijze afgevoerd. Er wordt bij de mechanische methode wel gebruik gemaakt van luchtkanalen. Deze methode staat be-

kend als de 'conventionele methode' (zie figuur 4).

In de praktijk doen zich met deze bestaande methoden praktische problemen voor.

Enkele veel voorkomende problemen in de praktijk zijn:

- er is geen of te weinig plaats voor toevoer- en/of afvoerpunten;
- een voldoende doorspoeling van de parkeergarage is niet te garanderen;
- er ontstaan zogenaamde dode hoeken in de parkeergarage;
- er is te weinig beschikbare ruimte

- voor de plaatsing van luchtkanalen;
- hoe moet men ventileren bij een brandsituatie?
- wat te doen met het ventilatievolume bij een sterk wisselende belasting van de parkeergarage?

Een passend antwoord op de geschetste problemen kan worden verkregen als we het principe van stuwkrachtventilatie nader bestuderen.

PRINCIPE STUWKRACHTVENTILATIE

Het uitleggen van het begrip 'stuwkrachtventilatie' vergt enkele woorden. Een met lucht gevulde voetbal kan zich op twee manieren verplaatsen. Ten eerste kan de bal met de hand worden verplaatst en daarbij de hoeveelheid lucht die zich in de bal bevindt. Dit geschiedt met een constante kracht. Dit is te vergelijken met het verplaatsen van lucht waarbij alle te verplaatsen lucht door de ventilator heen gaat. Ten tweede kan de bal worden verplaatst door er een schop met de voet tegen te geven. In dit geval wordt de lucht verplaatst door middel van een stootkracht. Er wordt immers tegen een klein gedeelte van de lucht een kortstondige, maar grote kracht gegeven. De bal met daarin de lucht krijgt een versnelling. Dit natuurkundige verschijnsel heet 'impuls'.

Bij stuwkrachtventilatie wordt gebruik gemaakt van dit principe. Uit een klein oppervlak wordt met een relatief grote snelheid lucht geblazen met een snelheid van b.v. 20 m/s. Hierdoor kan een gemiddelde luchtsnelheid ontstaan in de doorsnede van de parkeergarage van bijv. 1 m/s.

Figuur 5 geeft een beeld van stuwkrachtventilatie in de praktijk waarbij de langsdoorsnede van een ruimte wordt beschouwd.

De stuwkracht wordt uitgedrukt in Newton. Een tunnelventilator levert dus een bepaalde hoeveelheid Newton. Dit in tegenstelling tot het volume bij een bepaalde statische druk dat gewoonlijk wordt gebruikt bij ventilatoren.

De 2^e wet van Newton vertelt iets over de natuurkundige achtergrond van de impuls. Newton heeft bewezen dat een impuls de oorzaak is van een massa die een verandering van snelheid ondergaat. Een massa ondergaat een snel-

heidsverandering als er een kracht op wordt uitgeoefend. Bij tunnel- of parkeergarageventilatoren is dat de stuwkracht. De theoretische stuwkracht van een stuwkrachtventilator is dan te berekenen door het volume te vermenigvuldigen met de soortelijke massa van de lucht en de versnelling van de lucht. Bij ventilatoren hebben we te maken met een voortdurende luchtstroom. Hierbij is dus sprake van een continue stuwkracht in plaats van een kortstondige stootkracht. Ten gevolge van deze stuwkracht zet de ventilator zich af tegen de omgevingslucht. Omdat de ventilator vast zit wordt de luchtkolom achter de ventilator verplaatst en de omgevingslucht geïnduceerd. Vóór de ventilator wordt de verplaatste luchtkolom weer aangevuld met nieuwe lucht.

Zo komt er een luchtstroom op gang.

Het is belangrijk te beseffen dat de uiteindelijke totaal verplaatste luchthoeveelheid een veelvoud is van de luchthoeveelheid die door de ventilator heen gaat. De opstelling van de ventilator in de parkeergarage is zeer belangrijk i.v.m. het opstellingsrendement. Het opstellingsrendement wordt o.a. beïnvloed door het coanda-effect, de aanzuigcondities en de uitblaascondities van de ventilatoren. Het coanda-effect treedt in de praktijk altijd op omdat de tunnelventilatoren tegen het plafond of zelfs in een hoek van de wand met het plafond worden geplaatst.

De theoretisch berekende stuwkracht is niet volledig beschikbaar in gemonterde toestand. Normaal gesproken wordt het verschil in nominale stuwkracht en beschikbare stuwkracht uitgedrukt in het opstellingsrendement. Dit is een percentage van de theoretisch berekende waarde.

Het opstellingsrendement dient per situatie te worden bepaald omdat dit afhankelijk is van de opstelling van de ventilator in de parkeergarage.

Figuur 6 geeft een indruk van een opstelling in een parkeergarage waarbij de stuwkrachtventilator ruimtebesparend is gemonteerd tussen twee stramienen. Let hierbij op de afstanden voor en achter de ventilator, omdat die belangrijk zijn voor het opstellingsrendement.

Nu het begrip 'stuwkrachtventilatie' is verklaard kan worden bekeken hoe deze techniek in de praktijk werkt.

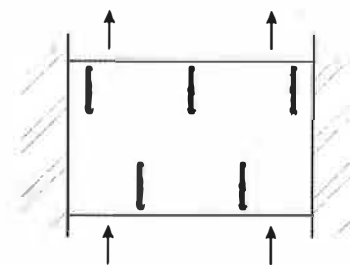


Geen ruimte voor luchtkanalen!

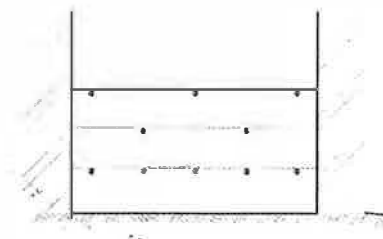


Opstelling stuwkrachtventilator

-FIGUUR 6-



Boven-aanzicht



Voor-aanzicht

Geen plaats voor toevoer- en afvoerschachten

-FIGUUR 7-

TOEPASSING STUWKRACHTVENTILATIE

Om de toepassing van stuwkrachtventilatoren in de praktijk te behandelen worden enkele praktische situaties beschouwd:

Voorbeeld 1: er is geen plaats voor toe- en afvoerpunten

Figuur 7 toont een parkeergarage waarbij twee open wanden meer dan 54 meter uit elkaar staan. Een dichte parkeergarage dus. Hier is het probleem dat er geen plaats is voor mechanische toe- en afvoerpunten.

Als nu stuwkrachtventilatoren in de parkeergarage worden aangebracht, wordt de lucht van de ene naar de andere open wand getransporteerd. De twee open wanden dienen als toe- en afvoerplaats zonder dat er iets verandert aan de parkeergarage.

De stuwkrachtventilatoren ondersteunen de natuurlijke ventilatie ten gevolge van winddrukverschillen op de open gevels. Er moet dan altijd met de wind mee worden geventileerd, reden waarom stuwkrachtventilatoren 100% omkeerbaar dienen te zijn. Dit wil zeggen dat zij door het omkeren van de draairichting van de waaier in beide richtingen dezelfde stuwkracht leveren.

Er zijn dan geen aparte toe- en afvoerpunten nodig.

Voorbeeld 2: Voldoende doorspoeling is niet gewaarborgd.

Nu wordt een parkeergarage beschouwd waarbij rechts een toevoerkanaal geplaatst is en links een afvoerkanaal (figuur 8). In de parkeergarage kunnen geen extra luchtkanalen worden toegepast om de lucht beter te verdelen. Er ontstaat een luchtstroom die niet de volledige parkeergarage doorspoelt.

Ook hier geldt dat we stuwkrachtventilatoren kunnen plaatsen om de lucht over de parkeerlaag te verspreiden en transporteren. Als dan het toevoerkanaal (rechts) aan de onderkant inblaast en het afvoerkanaal (links) aan de voorkant aanzuigt dan bereiken we samen met de stuwkrachtventilatoren een zeer goede doorspoeling van de parkeergarage.

Tevens wordt de lucht uitstekend over de parkeerlaag verdeeld.

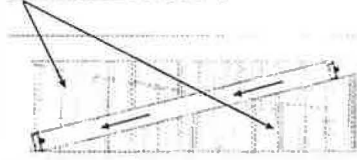
Voorbeeld 3: Het voorkomen van dode hoeken.

Figuur 9 laat een parkeergarage zien die voor een deel onder een hoofdgebouw ligt. De semi-natuurlijke methode wordt toegepast. Er is één afvoerpunt

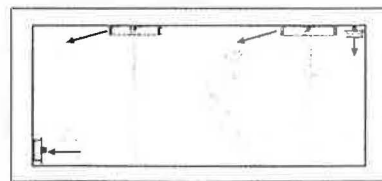


Bovenaanzicht

Onvoldoende doorspoeling



Voorraanzicht (zonder stuwdruk ventilatie)



Voorraanzicht (met stuwdruk ventilatie)

Doorspoeling van de parkeergarage

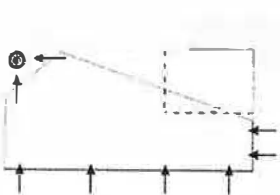
-FIGUUR 8-



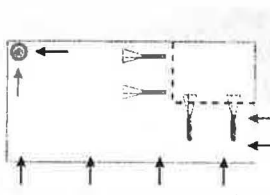
Voorraanzicht



Voorraanzicht



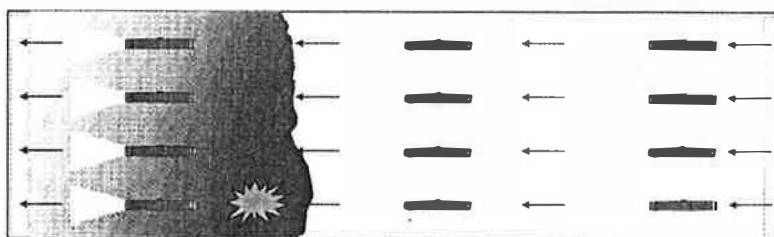
Bovenaanzicht



Bovenaanzicht

Voorkomen van dode hoeken

-FIGUUR 9-



Bovenaanzicht (stuwdruk ventilatie aan)



Zijaanzicht (stuwdruk ventilatie aan)



Zijaanzicht (stuwdruk ventilatie uit)

Brandveiligheid realiseren met stuwkrachtventilatie

-FIGUUR 10-

en de toevoer geschiedt op natuurlijke wijze via twee haaks op elkaar staande open wanden. De overige wanden zijn dicht. Duidelijk zal zijn dat ter plaatse van het gedeelte onder het hoofdgebouw een dode hoek ontstaat. Als we vervolgens stuwkrachtventilatoren plaatsen dan wordt er lucht van de hoofdstroom "afgetakt" en in de dode hoek geblazen.

De stuwkrachtventilatoren verplaatsen de lucht ook vanuit de hoek in de richting van het afvoerpunt.

Voorbeeld 4: Toevoer en afvoer van de lucht met stuwkrachtventilatoren

Het is ook mogelijk met de stuwkrachtventilatoren de lucht van buiten in de parkeergarage te voeren.

Zo kan door stuwkrachtventilatoren in de inrit te plaatsen lucht via de inrit worden toegevoerd. De lucht kan ook door een opening in een wand worden toegevoerd.

Ditzelfde geldt voor de afvoer van de lucht. Hierbij dient men echter de winddruk in aanmerking te nemen. Tevens is specialistische kennis noodzakelijk over luchtverdeeltechniek in gesloten ruimten. Rekening houdend met de nieuwste wetgeving over emissie van benzeen uit parkeergarages (handreiking benzeen en parkeergarages) moet bij een ondergrondse parkeergarage de verontreinigde lucht meestal via een schacht worden afgevoerd.

In deze gevallen kan worden volstaan met het plaatsen van twee axiaalventilatoren parallel in de afvoerschacht.

Voorbeeld 5: Hoe te ventileren bij brand?

Dit item heeft zeer veel aspecten. Zo zijn er voorschriften gegeven in de NVN 2443, maar ook de brandweer geeft aanbevelingen in de boeken "Een brandveilig gebouw installeren" en "Een brandveilig gebouw bouwen". Figuur 10 geeft een voorbeeld van een dichte parkeergarage waarbij de lucht toe- en afvoer mechanisch worden verzorgd. Stuwkrachtventilatoren zorgen voor de verdeling en het transport van de lucht over de parkeerlaag. Theoretisch zou bij een balans tussen de geproduceerde hoeveelheid rook en het afgevoerde volume een rookvrije hoogte ontstaan. In een parkeergarage met een gemiddelde hoogte van 2,5 meter zal zich geen rookvrije hoogte vormen. Door de stuwkrachtventilatoren op de

juiste manier in te schakelen kan de rook worden beheerst. Onder voorwaarde dat er voldoende rook wordt afgevoerd en voldoende lucht wordt toegevoerd kan de rook binnen een bepaald gebied ("rookcompartiment") worden beheerst. We beheersen de rook in dit geval niet verticaal maar horizontaal.

Het gebruik van de stuwkrachtventilatoren voor deze toepassing vraagt een nauwkeurige analyse van de mogelijke brandsituaties.

Hierbij spelen diverse aspecten een belangrijke rol:

- waar bevinden zich de vluchtwegen?
- welke rookontwikkeling kan men verwachten en wat wordt de rooktemperatuur/-zichtlengte?
- binnen welke tijdperiode kan de brandweer aanwezig zijn?
- hoe is het aanvalsplan van de brandweer?
- op welk punt kan de rook worden afgevoerd?

Uit bovengenoemde aspecten blijkt duidelijk dat er altijd nauw overleg met de brandweer dient plaats te vinden. In juni 1998 heeft er een zeer groot-schalige 1:1 brandproef plaatsgevonden om o.a. de werking van het stuwkrachtsysteem voor rookbeheersing te toetsen.

Verderop in dit artikel wordt de proef apart behandeld.

Voordelen van stuwkracht (parkeergarage) ventilatie

Het systeem voor parkeergarageventilatie zoals in de voorbeelden beschreven, is gebaseerd op ventileren met behulp van stuwkracht. Zoals in het begin van het artikel is geconcludeerd biedt stuwkrachtventilatie de oplossing voor veel praktische problemen die optreden bij de bestaande ventilatiemethoden.

Als belangrijkste voordelen kunnen worden genoemd:

Ruimtebesparing

Er wordt ruimtebesparing gerealiseerd omdat de functie van luchtkanalen in een parkeergarage wordt overgenomen door de stuwkrachtventilatoren. De stuwkrachtventilatoren verdelen en transporteren de lucht over de parkeerlaag van luchttoevoerpunt naar lucht-afvoerpunt. Er zijn geen luchtkanalen meer nodig. Dit geeft ruimtebesparing.

Flexibele installatie

Uit diverse beproevingen is gebleken dat de plaats van de stuwkrachtventilatoren zeer flexibel is. Zo kan de plaats van de stuwkrachtventilatoren binnen een straal van 3 à 4 meter variëren zonder de juiste werking van het systeem te beïnvloeden.

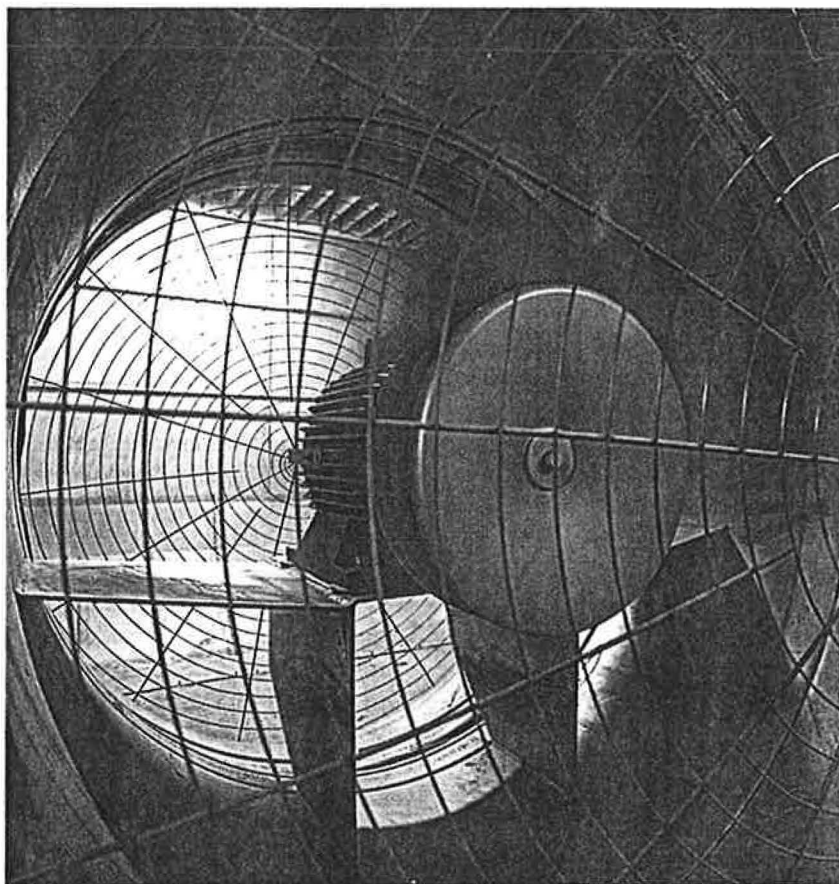
Volledige menging van de lucht

Indien uitsluitend lucht wordt afgezogen vindt er geen menging van de afgezogen lucht plaats. De richtlijnen volgens de NVN 2443 bevestigen dit. Er wordt immers geëist dat de lucht voor minimaal 2/3 laag wordt afgezogen. Door het toepassen van stuwkrachtventilatoren wordt de lucht op de parkeerlaag uitstekend gemengd. Er zullen bij het toepassen van stuwkrachtventilatoren veel minder concentratieverschillen optreden dan bij het conventionele systeem met kanalen. Ook de lucht in het bovenste deel van de

vervuiling ontstaat wordt vaak een uitgebreid kanalsysteem toegepast. Met de stuwkrachtventilatoren is het mogelijk op iedere plaats in de parkeergarage luchtbeweging te creëren. Zie hiervoor ondermeer figuur 8 en 9. Er ontstaan geen "dode hoeken".

Er is energiebesparing mogelijk.

Bij een systeem met luchtkanalen wordt de lucht toe- of afgevoerd waarbij de lucht met een relatief hoge snelheid door een luchtkanaal moet worden geperst. Hierbij moet weerstand worden overwonnen. Dit kost energie. Bij het systeem met stuwkrachtventilatoren daarentegen wordt gebruik gemaakt van de parkeergarage zelf als luchtkanaal. De luchtsnelheid is dus laag en het benodigde vermogen dus ook. Hierbij dient wel te worden opgemerkt dat deze vergelijking alleen geldt voor systemen waarbij luchtkanalen worden toegepast.



parkeerlaag wordt nu gebruikt waardoor de uiteindelijke concentratie aan verontreinigingen lager zal zijn en in het verticale vlak gezien constanter.

Betere doorspoeling van de parkeergarage.

Om in iedere hoek of willekeurige plaats in de parkeergarage zeker te zijn dat er geen hoge lokale concentratie

Kostenbesparing

Indien ervan wordt uitgegaan dat er geen luchtkanalen nodig zijn dan kan worden geconcludeerd dat dit kostenbesparend werkt. Tevens kan bij het toepassen van een mechanische afzuigventilator deze ventilator op een lagere statische druk worden geselecteerd omdat de weerstand van het luchtka-

naal vervalt. De ventilator heeft alleen de weerstand van de afvoerschacht te overwinnen. Dit kan resulteren in een kleinere ventilator of een ventilator met een lager toerental waardoor de geluidreducerende voorzieningen weer goedkoper worden.

Het systeem met stuwkrachtventilatoren vraagt echter meer bekabeling en een grotere schakelkast. Ondanks deze kosten is het systeem met stuwkrachtventilatoren goedkoper dan het conventionele systeem.

Eenvoudig inregelen en deelbedrijf

Er zijn geen inregelkleppen meer nodig om een juiste afzuigverhouding te verkrijgen. De stuwkrachtventilatoren zijn voorzien van een afbuigrooster. Met dit afbuigrooster kan richting worden gegeven aan de luchtstraal. Dit is eenvoudig uit te voeren tijdens de montage. Deze instelling is eenmalig. Het realiseren van deelbedrijf is mogelijk door het schakelen van aantallen stuwkrachtventilatoren. Ook is het mogelijk deelbedrijf te realiseren door middel van 2-toeren motoren.

Rookbeheersing is mogelijk

De toepassing van stuwkrachtventilatie tijdens brandsituatie is momenteel een zeer "hot" onderwerp. De regelgeving in Nederland voorziet niet in de toepassing van stuwkrachtventilatie. Derhalve leefde er bij de brandweer bezwaren tegen het toepassen van stuwkrachtventilatie-systemen in parkeergarages voor rookbeheersing als gelijkwaardig alternatief op bouwkundige compartimentering.

Een aantal redenen hiervoor zijn o.a.:

- de 1e proeven met koude rook voldoen niet aan de verwachtingen en zijn niet representatief;
- gelijkwaardigheid is nog niet onafhankelijk aangetoond.

Aan deze "twijfels" is op initiatief van Novenco het hoofd geboden. Per mei 1998 is er een grootschalige proef gestart die door TNO is uitgevoerd. Deze proef bevatte een aantal full scale brandproeven in een dichte parkeergarage. Het betrof de af te breken parkeergarage "Fleerde" te Amsterdam. Het doel van de proeven was om de bruikbaarheid van het rekenmodel van Novenco en de CFD simulatietechnieken te toetsen aan de praktijk. Tevens wordt een rapport opgesteld richting de regelgeving om tot een verantwoorde



toepassing van stuwkrachtventilatie bij brand in parkeergarages te komen. Omdat de eerste resultaten van het onderzoek door TNO aan het Landelijk Netwerk Preventie van deze brandweer zijn gepresenteerd kunnen wij in dit artikel deze resultaten ook publiceren. Wij verwijzen u hiervoor naar Aandachtspunt D verderop in dit artikel.

WERKWIJZE EN AANDACHTSPUNTEN

Voor het in de praktijk realiseren van een stuwkrachtventilatiesysteem in parkeergarages zijn een viertal aandachtspunten van belang:

- A. Het bepalen van de luchthoeveelheid.
- B. Het vaststellen de luchthoudding.
- C. Geluid binnen en buiten de parkeergarage.
- D. Voor de brandsituatie geldt dat de behandelde full scale brandproef met TNO meer duidelijkheid heeft aangegeven.

Het bepalen van de luchthoeveelheid

In de loop der tijd is gebleken dat er meer ventilatiewegen naar de parkeergarage leiden dan alleen de NVN 2443. De huidige situatie is als volgt: In de 2^e fase Bouwbesluit staat dat er voor stallingsruimten, waaronder de parkeergarages gerekend worden, 3 l / (s.m²) vloeroppervlakte dient te worden geventileerd.

Bij een parkeergarage met een hoogte van ongeveer 2,5 m komt dit neer op 4 tot 4,5voudige ventilatie. Deze 4-voudige ventilatie vinden wij wij ook terug in het boek "Een Brandveilig gebouw installeren". In feite is het Bouwbesluit bepalend.

De ventilatieberekeningsmethode in de NVN 2443 is dan te gebruiken als middel om gelijkwaardigheid aan te tonen. Met een nauwkeurige berekening kan worden aangetoond dat met minder lucht ook een voldoende laag niveau van CO/LPG derhalve kan worden gegarandeerd.

De methode conform NVN 2443

wordt in dit artikel toegelicht. Voor projecten die zich in een vroegtijdig stadium bevinden is de bouwbesluitregel van 3 l / (s.m²) vloeroppervlak een goede vuistregel.

De nu volgende berekening is gebaseerd op de Nederlandse Voornorm 2443, die ten tijde van deze publicatie, nog niet definitief als NEN 2443 beschikbaar was. Het is noodzakelijk in het bezit te zijn van deze norm bij het vaststellen van de luchthoeveelheid. Artikel 9.4 van de NVN 2443 geeft de benodigde informatie om de luchthoeveelheid met betrekking tot het CO-gehalte in de parkeergarage te berekenen.

Hierbij wordt de volgende formule gebruikt:

$$q = \frac{n \times P_{co} \times 10^3}{TGG - C_a}$$

q = ventilatieluchtdebiet in m³/h

n = aantal auto's dat gedurende een tijdsduur van een uur in de garage met draaiende motor (stilstaand en rijdend) aanwezig is.

P_{co} = gemiddelde koolmonoxyde productie van een draaiende motor (0,35 m³/h)

TGG = CO-gehalte (tijd gewogen gemiddelde), bij maximale ventilatie 120 ppm (0,12%)

C_a = CO-gehalte van de toegevoerde ventilatielucht.

Verder geeft de NVN 2443 de volgende informatie:

TGG mag bij een verblijfsduur van minder dan een half uur in de parkeergarage maximaal 150 ppm bedragen (= 0,15 %).

De C_a waarde is moeilijk te bepalen. Uit ervaring is gebleken dat een waarde van 20 ppm bij toevoer van de lucht via de inrit een redelijke inschatting is. Het vaststellen van de laatste variabele (n) vraagt de meeste aandacht. Er zijn twee methoden om deze (n) waarde te bepalen.

Bij de *eerste methode* wordt geschat welk percentage van het totaal aantal parkeerplaatsen (het maximaal aantal auto's) tegelijkertijd in de parkeergarage aanwezig is met draaiende motor gedurende 1 uur. Dit percentage is sterk afhankelijk van het gebruik van de parkeergarage.

Bijvoorbeeld: de parkeergarage bij een

winkelcentrum geeft een ander beeld dan een parkeergarage bij een appartementencomplex of theater.

Over het algemeen worden de volgende percentages aangehouden:

Kantoren	: 5 - 10 %
Woningen	: 5 - 10 %
Winkelcentra	: 10 - 15 %
Theaters	: 15 - 20 %

De tweede methode vraagt meer inzicht in de te verwachte parkeerbewegingen. Een binnenkomende auto wordt gezien als 1 parkeerbeweging. Een uitgaande auto wordt ook gezien als 1 parkeerbeweging. Verder moet worden vastgesteld wat de gelijktijdigheidsfactor (GF) is. Deze hangt weer nauw samen met het gebruik van de parkeergarage. Het is de bedoeling dat wordt vastgesteld wat het gemiddeld aantal parkeerbewegingen per uur wordt.

Als algemeen regel wordt de gelijktijdigheidsfactor per situatie als volgt gesteld:

Kantoren	: 50 - 70 %
Woning	: 20 - 30 %
Winkelcentra	: 70 - 100 %
Theaters	: 100 %

Bij 50 % gelijktijdigheid kan dit inhouden:

- de parkeergarage is binnen 2 uur vol;
- bij een volle parkeergarage rijden 25 % van de auto's uit en 25 % komt weer opnieuw binnen, binnen 1 uur;
- de parkeergarage is binnen 2 uur leeg.

Hierbij moet goed worden bedacht dat de grootte en het toegangssysteem van de parkeergarage ook een rol speelt bij het vaststellen van de gelijktijdigheidsfactor. De tweede waarde die moet worden bepaald is de tijd die nodig is per parkeerbeweging. Deze wordt bepaald door een gemiddelde rijsnelheid in de parkeergarage aan te nemen. Deze ligt tussen de 1.000 en 5.000 m/h. Vervolgens stelt u vast wat de gemiddelde afstand is die een auto af moet leggen om van de ingang naar een parkeerplaats te rijden of van een parkeerplaats naar de uitgang.

Dit is over het algemeen de helft van de totale lengte van de rijbanen.

De tijd voor een parkeerbeweging is dan

$$t = \frac{\text{gemiddeld af te leggen afstand (m)}}{\text{gemiddelde rijsnelheid (m/h)}}$$

Het aantal parkeerbewegingen:

$$pb = \text{aantal parkeerplaatsen} \times GF$$

Bij een parkeergarage met 1 parkeerlaag is het aantal parkeerbewegingen bij een gelijktijdigheid van 100 gelijk aan het aantal parkeerplaatsen.

Indien een parkeergarage b.v. 2 lagen heeft, dan rijden de auto's voor de 2e laag ook over de 1e laag. Dit geeft bij 100 % gelijktijdigheid het dubbele aantal parkeerbewegingen.

De totale tijd nodig voor de parkeerbeweging is dan:

$$t_1 = pb \times t$$

Daarna wordt vastgesteld hoeveel tijd er nodig is om in te parkeren of uit te parkeren. Dit is over het algemeen 30 seconden = 0,0083 h.

De totale tijd nodig voor in- en uitparkeren is dan:

$$t_2 = \text{aantal parkeerbewegingen} \times 0,0083 \text{ h}$$

n wordt dan berekend uit:

$$n = t_1 + t_2$$

Benzeenbesluit

Steeds vaker wordt al of niet terecht de aandacht gevestigd op de uitstoot van benzeen. Het ministerie van VROM heeft hiervoor een rekenmodel CAR Parking ontwikkeld. Dit rekenmodel is gepubliceerd in rapport TNO-MEP-R95/222. Kort gezegd komt het op het volgende neer:

Auto's "produceren" benzeen in de volgende situaties:

- met een warme motor bij het binnenrijden.
- met een koude motor bij het weggrijden. (dit is veel meer dan met een warme motor)
- bij stilstand door verdamping uit de tank.

De ventilatie zorgt ervoor dat deze benzeen buiten komt. Vervolgens mag deze benzeen op straatniveau niet meer bij dragen aan het heersende jaargemiddelde dat de waarde hiervan de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ niet overschrijdt.

De wijze van uitblazen via in-/uitrit of gevel op straatniveau geeft dan een grotere bijdrage dan uitblazen via een schacht op grote hoogte. Deze tweede optie is bijna altijd toereikend om aan het benzeenbesluit te voldoen. Voor het maken van een benzeenberekening wordt in dit artikel niet verder uitgeweid.

Het vaststellen van de luchthuishouding.

Hiervoor is het noodzakelijk de NVN 2443 artikel 9 te bestuderen over de aanzuig- en afblaaspunten en de weg die de lucht volgt door de parkeergarage. Bij het stuwkrachtventilatiesysteem is het gebruikelijk de lucht via de in-/uitrit wordt toegevoerd. In de meeste gevallen wordt dit gerealiseerd ten gevolge van onderdruk in de parkeergarage opgebouwd door de axiaalventilatoren. Vervolgens wordt de lucht over de parkeerlagen verspreid. Hierbij is men vrij de luchtrichting met de rijrichting van de auto's mee of hier haaks op te kiezen. Wel is het belangrijk dat de stuwkrachtventilatoren zodanig worden gesitueerd dat zij geen hoogtebelemmeringen veroorzaken.

In feite is het vaststellen van de luchthuishouding alleen goed mogelijk als de lay-out en omgeving van de parkeergarage bekend zijn. Er zijn een aantal principemogelijkheden. Een ander aspect dat aandacht vraagt bij het vaststellen van de luchthuishouding is de weerstand die de lucht ondervindt. Hierbij kan worden gedacht aan de weerstand van het binnenstromen en uitstromen van de lucht. Ook de luchtstroom dwars op of langs de stilstaande auto's is van belang. Verder is de vorm en de bouw van de parkeergarage van invloed. Vooral de constructie met ondersteuningspilaren en de plafondconstructie zijn belangrijk en het gedrag van de stuwkrachtventilatoren in de parkeergarage. Denk hierbij aan werp en spreiding. Deze specifieke eigenschappen zijn voor de Novenco-stuwkrachtventilatoren door TNO gemeten en vastgesteld als onderdeel van de brandproef. Kortom, voor dit onderwerp is specifieke kennis en ervaring nodig over het gedrag van stuwkrachtventilatoren.

Geluid binnen en buiten de parkeergarage.

Het geluid dat wordt geproduceerd in een parkeergarage heeft meer bronnen dan het ventilatiesysteem alleen. De auto's die door de parkeergarage rijden produceren ook 75 - 80 dBA. Als bedacht wordt dat de ventilatie nodig is op het moment dat auto's in de parkeergarage rijden, dan is het logisch dat er veel geventileerd wordt op het moment dat de auto's rijden. Tijdens de perioden dat de parkeergarage vol is zijn er weinig parkeerbewe-

gingen. Op die momenten is het dus verstandig weinig te ventileren, met het gevolg weinig geluid.

De stuwkrachtventilatoren van Novenco zijn standaard uitgerust met 2-toeren motoren. Bij weinig parkeerbewegingen wordt getracht op laag toeren te draaien. Bij veel parkeerbewegingen (dus veel geluid) draaien de ventilatoren op hoog toeren. Zodoende is het mogelijk om aan de geluidseisen te voldoen. Om een indruk te geven: de stuwkrachtventilatoren veroorzaken op hoog toeren een gemiddeld geluidniveau in de parkeergarage dat onder de 70 dBA ligt.

Op laag toeren is het geluidniveau minder dan 58 dBA.

De NVN 2443 geeft alleen wat richtwaarden. Deze variëren tussen de 65 en 70 dBA. Men geeft geen informatie over de tijdsduur waarover het geluidsniveau geldt. Het geluid uit de parkeergarage naar de omgeving is een ander verhaal. Hier is het dagdeel belangrijk. De plaatselijke overheid stelt de eisen. Over het algemeen geldt een bepaald geluidniveau gedurende een bepaald dagdeel op de gevel van derden.

Het handboek "Meten rekenen industrielawaai" geeft hiervoor wat richtwaarden:

Dagdeel	Geluidswaarden op gevel van derden
09.00 - 19.00 uur	50 dBA
19.00 - 23.00 uur	45 dBA
23.00 - 09.00 uur	40 dBA

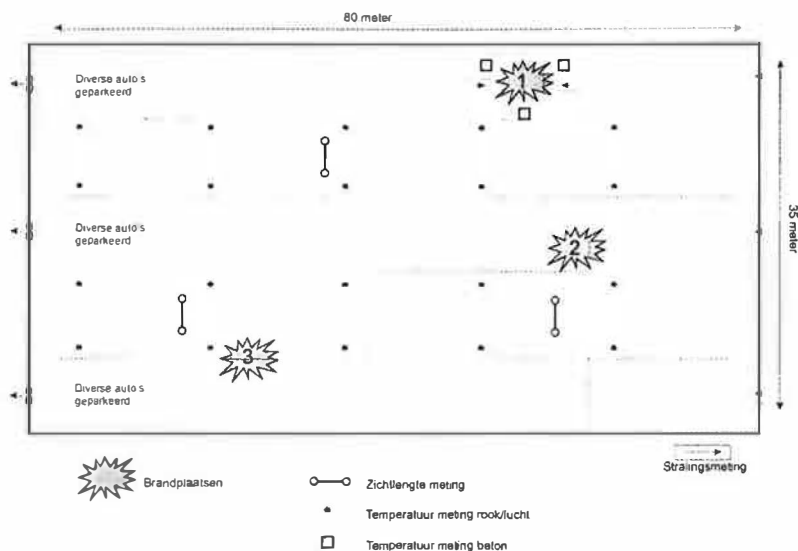
Om de waarde op de gevel van derden vast te stellen door de geluidsbronnen uit de parkeergarage is het verstandig een deskundige in te schakelen.

Er spelen veel civiele en omgevingsfactoren een rol.

Hoe ventileren bij brand?

Een full-scale brandproef door TNO/Novenco heeft plaatsgevonden onder de noemer 'stuwkrachtventilatie in parkeergarages'. Bij de proef zijn de volgende participanten betrokken geweest:

- TNO Bouw: centrum voor Brandveiligheid; Afdeling BBI (Binnenmilieu, Bouw-



Situatie brandproeven

-FIGUUR 11-

- fysica en Installaties);
- Novenco B.V.;
- Ministerie van Economische Zaken;
- Brandweer (Amsterdam, LNB);
- Bouwdienst Rijkswaterstaat;
- Parkeerbeheer Amsterdam.

De doelstelling van het onderzoek is als volgt geformuleerd:

Evalueren/uitbreiden CFD-codes:

- VESTA: ontwikkeld binnen TNO;
- Fluent: Commerciële code;

Toepasbaarheid voor ontwerp/controle:

- randvoorwaarden toepassing CFD;
- submodellen: straling, verbranding, etc.;

- betrouwbaarheid resultaat (controle);
- rapportage (invoer, uitvoer, methodes).

Kennis vergroten over mogelijkheden, beperkingen en ontwerp van stuwkrachtventilatie voor toepassing bij brand in ondergrondse gebouwen:

- bepalen effectiviteit stuwkrachtventilatie;
- beoordelen van ontwerpmethode
- uitwerken CFD voor ontwerp/controle

- Aanzet tot regelgeving

Het onderdeel van het onderzoek naar de werking van het stuwkrachtprincipe behelst bestaat uit de volgende onderdelen:

- Modelonderzoek (literatuur);
- Koudemetingen ventilatoren:
 - metingen "vrije" straal;
 - metingen wand/plafond straal;
 - metingen in Fleerde (balkenplafond).
- Ontwerp/simulatie (eenvoudig en CFD);
- Brandproeven (18 stuks).

De brandproeven hebben plaatsgevonden in de te slopen parkeergarage "Fleerde" in Amsterdam. De 2^e laag is omgebouwd tot dichte parkeergarage, zie figuur 11.

Totaal drie plaatsen zijn vastgesteld als brandplaats. In de parkeergarage waren ongeveer 50 auto's geparkeerd. Dit om voor stroming en weerstand een realistische situatie te creëren.

Aan de rechtse korte zijde werd lucht op natuurlijke wijze toegevoerd. Aan de linkse korte zijde werd met drie toerengeregelde axiaalventilatoren de lucht mechanisch afgezogen.

Er zijn totaal 18 autobranden uitgevoerd waarbij, naast de hoofddoelstelling, de volgende zaken zijn onderzocht en beoordeeld:

- ervaring opdoen met autobrand in Fleerde;
 - ontwikkeling instrumentatie;
 - variatie brandlocatie (3x);
 - optimaliseren ventilatiesysteem;
 - reproduceerbaarheid;
 - branduitbreiding naar andere auto's.
- TNO heeft tijdens alle proeven de volgende grootheden gemeten:
- temperatuur (rook, beton, lucht 200 meetpunten);
 - zichtlengte (4 meetpunten);
 - straling (3 meetpunten);
 - luchtsnelheden/ventilatiecapaciteit;
 - vermogen van de branden (massa afname, Tc)
 - rookverspreiding (visueel/video).

Omdat het gebruik van zogenaamde multi purpose vehicles de laatste jaren

TUNNELVENTILATIE

Tunnels worden in langsrichting geventileerd zonder gebruik te maken van een buis- of luchtkanaalsysteem. De frisse lucht wordt met een gelijkmatige snelheid door de tunnel gevoerd. In tunnels met meer dan 200 meter lengte, of in situaties waar veel verkeer is, wordt dit gedaan met straalventilatoren (tunnelventilatoren). Deze ventilatoren zijn speciaal ontwikkeld voor het 'vrij' aanzuigen en uitblazen van lucht, daarbij rekeninghoudend met de luchtsnelheidsvoorwaarden in tunnels. De straalventilatoren worden tegen het plafond van een tunnel gemonteerd, uiteraard rekeninghoudend met de met de hoogte van de tunnel en de hoogste vrachtwagens. Straal- of tunnelventilatoren worden in het algemeen op een onderlinge afstand van 100 meter geplaatst, afhankelijk van de constructie van de tunnel. De luchtuitblaasrichting 'loopt' met de verkeersstroom mee.

De Jet-Vents van de firma Airfan zijn echter omkeerbaar, aldus deze leverancier. Het uitblazen van lucht tegen de verkeersstroom in is daarmee mogelijk, bijvoorbeeld bij rookontwikkeling in de tunnel. Doordat het verkeer zelf in de tunnel al een luchtstroom veroorzaakt, is de toepassing van straalventilatoren volgens de leverancier effectief en economisch als ondersteunende ventilatie.

De Jet-Vent-straalventilatoren zijn in 8 standaard grootten leverbaar van 560 tot 1.250 mm diameter. De waaierbladen zijn verstelbaar en gemaakt van gietaluminium. De motoren zijn gesloten en voorzien van 3- of 4-puntsophanging.

Informatie: Airfan
tel. 0548 366366

behoorlijk toeneemt is een aparte proef gedaan met een Renault Espace. Tevens is een autobrandproef gedaan met een in de parkeergarage geïnstalleerd conventioneel ventilatiesysteem met luchtkanalen. Dit diende in eerste instantie om te kunnen beoordelen hoe dit systeem zich gedraagt bij een brand. Vervolgens is dit gedrag vergeleken met het gedrag van het stuwkrachtventilatiesysteem.

De resultaten zijn hier kort samen gevat:

- het vermogen van een autobrand ligt hoger dan algemeen aangenomen (massa.temp);
- de rookproductie is 'matig' evenredig met het vermogen;
- de brandduur van een auto is 15 - 20 minuten;
- de temperatuur als gevolg van straling van de brand is hoger dan de temperatuur in de rooklaag; (vlammen enigszins "schuin" door ventilatie);
- branduitbreiding:
 - tegen ventilatierichting in is mogelijk;
 - branduitbreiding met ventilatierichting mee gaat enigszins sneller;
- rookbeheersing is mogelijk;
 - ventilatiecapaciteit afhankelijk van uitgangspunten;
 - positie van Jetfans is van belang;
 - beperkte periode, afhankelijk van brandweerinzet;
- een koude rookproef is **niet** representatief;
- hoge gastemperaturen (> 900°C) zijn er alleen lokaal nabij de brand;
- zichtlengte bovenwinds onbeperkt (voor de brand);
- sterke stratificatie van rookgassen nabij de brand, verder benedenwinds goed opvangd.

TNO heeft uit de proeven en het onderzoek de volgende voorlopige conclusies getrokken:

- stuwkrachtventilatoren mengen "rook/rookvrij" snel op. Vluchtwegen stroomafwaarts worden door (verdunde) rook geblokkeerd;
 - 'vertraagd' inschakelen van stuwkrachtventilatie;
- gedeelte van de garage rookvrij is mogelijk voor beperkte duur;
- recirculatie treedt op (geen tunnel);
- stuwkrachtventilatie vs. dwarsventilatie;
- vergelijkings brandproef:
 - start met 4-voudige dwarsventilatie;

- na enige tijd (10 à 20 minuten) hele garage vol rook;
- vervolgens optoeren naar 8-voudige ventilatie helpt niet;
- na enige tijd start stuwkrachtventilatie;
- enige minuten na start stuwkrachtventilatie is het bovenste deel van de garage weer 'rookvrij' (voor brandweer).

CONCLUSIE

Als eerste kan worden geconcludeerd dat dichte parkeergarages kunnen worden geventileerd met stuwkrachtventilatie. Er dient dan wel aan de voorwaarden te worden voldaan die in deze publicatie zijn besproken.

Bij het ventileren van een parkeergarage met het stuwkrachtventilatiesysteem kunnen aan de in het Bouwbesluit en de NVN 2443 gestelde eisen, over zowel natuurlijke als mechanische ventilatie, worden voldaan.

Er is een aantal voordelen aan te wijzen zoals: kostenbesparing, ruimtebesparing, betere menging van de lucht en flexibele installatie.

Rookbeheersing is mogelijk waardoor kosten kunnen worden bespaard en een aanzienlijk veiligere situatie ontstaat voor de brandbestrijding.

Geluidtechnisch kunnen de gestelde eisen en wensen worden ingewilligd.

De conclusie over de CFD-facetten zijn ten tijde van het opstellen van dit artikel nog niet uitgekristalliseerd. Het definitieve rapport van TNO is ongeveer in juni 1999 gereed. 