

# “SMOKE FREE ARCHITECTURE” ROOKSCHEIDING ZONDER MUREN



## DEEL 1 - PROEFOPSTELLING EN OPTIMALISERING

Ben Bronsema en Peter G. Luscuere,  
Raadgevende ingenieurs ONRI, TU Delft - Faculteit  
Bouwkunde

### WIE KENNIS WIL VERSPREIDEN ZAL DIE EERST MOETEN VERGAREN.....

“De faculteit Bouwkunde van de Technische Universiteit Delft wil een “netwerk faculteit” zijn.

Meer dan ooit is in deze wereld het belang van een kwalitatief hoogwaardige leefomgeving duidelijk: Inspirerend, veilig, gezond, duurzaam en niet alleen voor de mens. Een onbegrensde opgave.

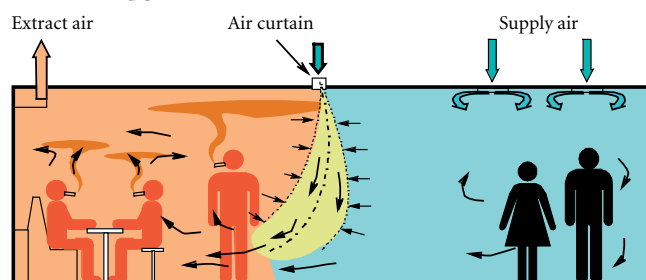
Deze missie kent geen grenzen.....Wij kiezen ervoor om kennis en inzicht te delen in een netwerk van partners in de hele wereld: universiteiten, onderzoeksinstituten, overheden en culturele instellingen .....

(Beunderman 2005)

Op basis van de Tabakswet 2002 is in veel gebouwen roken alleen toegestaan in afgesloten rookruimten. Door de fysieke scheiding van rokers en niet-rokers gaat de visuele, functionele en sociale eenheid van mensen en organisaties verloren.

Dit probleem kan worden opgelost door in gemeenschappelijke ruimten rookzones te maken, die niet door wanden maar met luchtgordijnen van de rookvrije zone worden gescheiden; zie figuur 1. Dat dit een reële mogelijkheid is werd aangetoond in het onderzoeksproject “Smoke free Architecture”, uitgevoerd bij de faculteit Bouwkunde van de TU Delft. Op basis hiervan zijn randvoorwaarden en technische uitgangspunten geformuleerd voor een succesvolle toepassing van dit concept in de zorgsector en de horeca.

Deel 1 omschrijft de proefopstelling voor het onderzoek en doet verslag van de optimalisering van het systeem met behulp van tracergas. In deel 2 wordt de werking van luchtgordijnen op basis van de straaltheorie onderzocht en een analytisch model hiervoor afgeleid. In deel 3 wordt verslag gedaan van de uitgevoerde metingen en de gerealiseerde scheidingseffectiviteit van het luchtgordijn. Tevens zijn hier de algemene conclusies uit het onderzoek opgenomen.



**Figuur 1:** Rookscheiding zonder muren (tekening Hakon Skistad)

## DE TESTRUIMTE

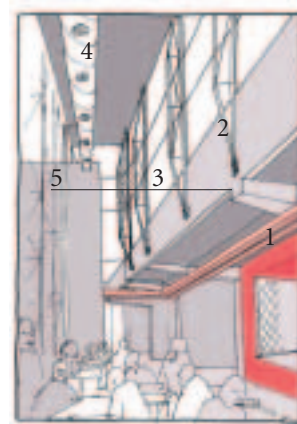
Als testruimte is de rookruimte in de hal van de faculteit Bouwkunde gebruikt, hierna aangeduid met *SfA*. Deze is gelegen aan de Westgevel, en omvat een vloeroppervlak van ca 80 m<sup>2</sup> met ca 40 zitplaatsen voor rokers.

Deze ruimte is bij studenten en docenten bijzonder populair, mede door de ligging dicht bij het restaurant en aan de Westgevel, waar de middagzon, en bij mooi weer ook het buitenterras, uitnodigend werkt. Opvallend is het relatief grote aantal niet-rokers dat er voor kiest een korte pauze in de *SfA* door te brengen, daarbij blijkbaar niet gehinderd door de tabaksrook in de ruimtelucht<sup>1</sup>, die overigens door de aangebrachte voorzieningen ook niet bijzonder opvalt. Het kunnen handhaven van deze open rookruimte, ook onder het regime van de Tabakswet, die een gesloten rookruimte verplicht stelt, was de eigenlijke aanleiding van het onderzoek. De dekaan gaf echter slechts toestemming voor het onderzoek op voorwaarde dat dit niet uitsluitend resultaten voor de specifieke locatie zou opleveren, maar ook, en met name voor generieke toepassingen in de gezondheids- en bejaardenzorg. Het onderzoek is hierna in feite op de laatstgenoemde toepassingen geconcentreerd.

De figuren 2 en 3 laten zien dat de *SfA* een grote hoogte heeft, die als “afzuigkap” kan dienen. Het tijdelijk aangebrachte verlaagde plafond is bedoeld om tijdens de proeven de *SfA* van haar atypische doorsnede te ontdoen en daarmee de onderzoeksresultaten bruikbaar te maken voor ruimten met normale plafondhoogte.

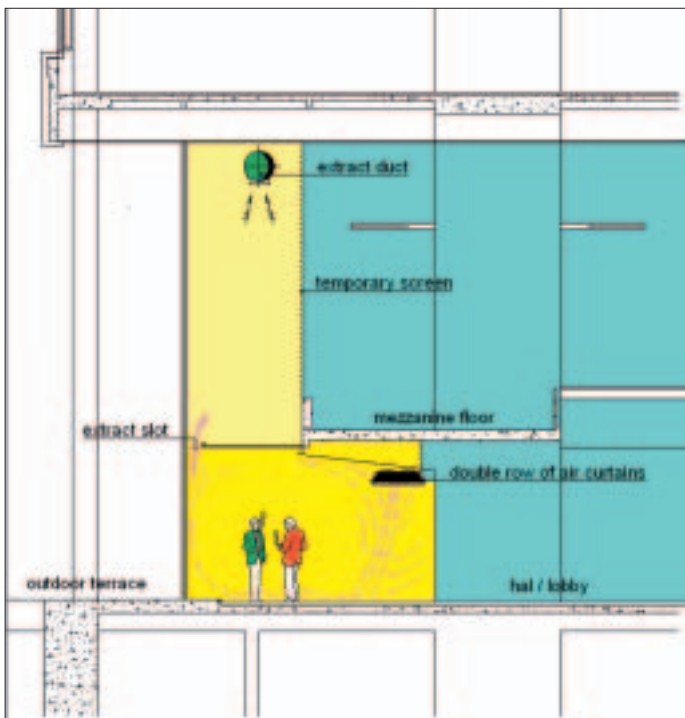
De technische voorzieningen van de *SfA* omvatten:

1. Een afscherming op begane grondniveau met behulp van luchtgordijnen.
2. Een afscherming van entresol naar dakniveau. Getekend is de definitieve uitvoering hiervan. Het onderzoek is uitgevoerd met behulp van plastic folie.
3. Een afscherming van entresol naar de gevel met behulp van plastic folie.
4. Een mechanisch afzuigstelsel. In de definitieve uitvoering dient de ruimte tussen entresol en afzuigkanaal als afzuigkap.



**Figuur 2:** De rookruimte *SfA*

1 In dit artikel verder aangeduid met TRIO – Tabaksrook in de Omgeving; internationaal bekend als ETS – Environmental Tobacco Smoke. Zie ook voorgaand artikel “Een tevreden roker.....”



Figuur 3: Doorsnede rookruimte Sfa (tekening UPWARDS CAD Applicaties)

5. Tijdens het onderzoek met de tijdelijke afscherming (3) wordt de Sfa afgezogen via een spleet tussen gevel en de afscherming.

## LUCHTGORDIJNEN

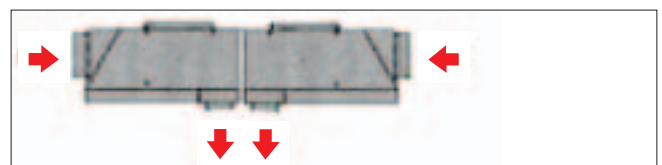
Luchtgordijnen worden op grote schaal toegepast voor klimaatscheiding tussen buitenlucht en binnenlucht in winkels en openbare gebouwen, kantoren en hotels. Deze toepassing heeft een dubbele functie: (a) De verticaal ingeblazen luchtstroom voorkomt het ontsnappen van warme lucht uit het interieur, en (b) de binnenkomende koude buitenlucht wordt door de warme luchtstroom opgewarmd, waardoor tochtklachten worden verminderd. Luchtgordijnen vinden eveneens toepassing bij koelruimten waar parallel luchtstralen van binnenlucht en ruimtelucht voor de deuropening worden ingeblazen waardoor koudeverlies wordt beperkt.

Het gebruik van luchtgordijnen voor rookscheiding is een geheel nieuw toepassingsgebied. Het onderzoek was bedoeld om (a) de geschiktheid van luchtgordijnen voor deze toepassing te onderzoeken, (b) de optimale inblaassnelheid en straaldikte vast te stellen en (c) eventuele noodzakelijke modificaties aan de luchtgordijnen te bepalen. Er is bij het onderzoek uitgegaan van luchtgordijnen in normale handelsuitvoering, dus met luchtcirculatie, zie figuur 4. Dit in tegenstelling tot luchtgordijnen die, als onderdeel van het ventilatiesysteem, werken met schone lucht (Skistad 2003). Het systeem werkt isotherm en de luchtgordijnen zijn derhalve niet voorzien van verwarmingsbatterijen.

Rookscheidingsproeven met dergelijke luchtgordijnen zijn voor zover bekend niet eerder uitgevoerd. Om over een uitgebreide range te kunnen meten kan de inblaassnelheid in drie standen worden ingesteld, respectievelijk 0,7 – 1,0 en 1,6 m/s. Verder is het luchtgordijn rondom de Sfa naar analogie



Figuur 4: Luchtgordijn ( Sfa geen verwarming)



Figuur 5: Dubbele rij Biddle luchtgordijnen

van de toepassing bij koelruimten dubbel uitgevoerd. Deze configuratie was voornamelijk gebaseerd op de ervaringen van de fabrikant bij de eerder genoemde toepassingen van luchtgordijnen (Cremers 2003).

Het luchtgordijn is opgebouwd uit units fabrikaat Biddle, type CITY S-200-A-F en type CITY S-250-A-F met een lengte van resp. 2.000 en 2.500 mm. De binnenring en de buitenring omvatten beide 4 stuks van 2.500 mm en 4 stuks van 2.000 mm lang. De luchtverplaatsing van de luchtgordijnen is variabel.

De systeemoptimalisering is uitgevoerd met een dubbele rij luchtgordijnen; zie figuur 4 en 5. Merk op dat de binnenring (rechts) lucht aanzuigt uit de Sfa en de buitenring (links) uit de hal. Geconstateerd werd dat de buitenring geen verbetering van de scheidingseffectiviteit oplevert. De TRIO metingen werden daarom alleen met de binnenring uitgevoerd

## FYSIEKE AFSCHERMINGEN

De verticale afscherming van entresol naar dakkniveau is uitgevoerd met behulp van plastic folie. Na succesvolle afronding van de proeven en verkregen toestemming van de faculteit zal deze afscherming architectonisch haar definitieve vorm krijgen.

De horizontale afscherming van entresol naar gevel met behulp van plastic folie is uitsluitend bedoeld om de testresultaten te kunnen veralgemeniseren, en zal daarom na beëindiging van de proeven worden verwijderd.

## AFZUIGSYSTEEM

De range van de in te stellen afzuigcapaciteit is gebaseerd op tabel 1 van het voorgaande artikel "Een tevreden roker in een veilig en gezond binnenmilieu". Hierbij is uitgegaan is van de

kwaliteitsklassen IDA 1 t/m 4 van EN 13779. Tevens is de minimum eis van het Bouwbesluit aangegeven. Bij een vloeroppervlak van 80 m<sup>2</sup> en een bezetting met 40 rokers zijn de ventilatiecapaciteiten berekend als vermeld in tabel 1.

EN 13779 (CEN 2005)	Luchtkwaliteit	Ventilatiecapaciteit SfA 100% rokers	
		dm <sup>3</sup> /s.persoon	m <sup>3</sup> /h
IDA 1	Hoog	40	5.760
IDA 2	Gemiddeld	25	3.600
IDA 3	Matig	16	2.304
IDA 4	Laag	10	1.440
Bouwbesluit		4,8 dm <sup>3</sup> /s.m <sup>2</sup>	1.382

Tabel 1: Ventilatiecapaciteit SfA m<sup>3</sup>/h volgens verschillende uitgangspunten

Op basis hiervan is een afzuiginstallatie geïnstalleerd met een capaciteit van 4.500 m<sup>3</sup>/h, regelbaar in drie stappen van resp. 1.500, 3.000 en 4.500 m<sup>3</sup>/h, globaal overeenkomend met één, twee en drie keer de eisen van het Bouwbesluit. Uit de hierna gepresenteerde theoretische benadering blijkt dat voor een scheidingseffectiviteit van 1,0 een afzuigcapaciteit tussen 3.000 en 4.000 m<sup>3</sup>/h nodig is. De waarde van 4.500 m<sup>3</sup>/h komt overeen met een ventilatiefrequentie van ca 18 h<sup>-1</sup>, en is daarom voor praktische toepassing in feite prohibitief in verband met energieverlies en thermisch comfort.

De afzuiginstallatie bestaat uit een frequentiegeregelde afzuigunit, fabrikaat Verhulst, waarop een afzuigkanaal Ø 600 mm met afzuigornamenten is aangesloten.

## SCHEIDINGSEFFECTIVITEIT

Als maat voor de prestaties van een luchtgordijn is de scheidingseffectiviteit  $\eta_s$  van het luchtgordijn ingevoerd die wordt gedefinieerd als

$$\eta_s = \frac{C_i - C_e}{C_i} = 1 - \frac{C_e}{C_i} \quad (1)$$

Waarin  $C_i$  = TRIO concentratie in de SfA

$C_e$  = TRIO concentratie buiten de SfA

De TRIO concentraties  $C_i$  worden op verschillende hoogten gemeten in verband met de vast te stellen ventilatie-effectiviteit.

## VENTILATIE-EFFECTIVITEIT

Verwacht werd dat het stromingspatroon in de SfA in belangrijke mate door de luchtgordijnen zou worden bepaald. De verticaal naar beneden ingeblazen luchtstralen worden op vloerniveau onder invloed van de luchtstroom uit de hal, suppletie van de afgezogen lucht, naar binnen afgebogen. Hierdoor wordt een wervel gevormd die ter plaatse van de rokers

omhoog stroomt waardoor de TRIO naar de afzuiging wordt afgevoerd en een pseudo verdringingsstelsel ontstaat; zie figuur 3. Omdat de schone lucht uit de hal op een laag niveau in de SfA penetreert, kan worden verwacht dat de TRIO concentratie op leefniveau lager is dan hoger in de SfA. De ventilatie-effectiviteit is dan groter dan bij zuivere mengventilatie.

Als index voor de ventilatie-effectiviteit is de *Contaminant Removal Effectiveness CRE* gehanteerd (Mundt et al 2004). Deze wordt gedefinieerd als de verhouding tussen de concentratie van de verontreiniging in de afgezogen lucht  $C_a$  en de concentratie van de verontreiniging op 1,1 meter hoogte in de SfA,  $C_{1,1,1}$ .

$$CRE = \frac{C_a}{C_{1,1,1}} \quad (2)$$

Om een indruk te krijgen van de eventuele recirculatie van lucht en verontreinigingen is ook op een hoogte van 1,8 en 0,1 meter gemeten. Concentratiemetingen hebben derhalve plaatsgevonden op 0,1 – 1,1 en 1,8 meter hoogte en in de afzuiglucht.

## ONVOLKOMENHEDEN VAN DE LUCHTGORDIJNEN

Geconstateerd werd dat de snelheidsverdeling over de roosters nogal ongelijkmatig is. Volgens Biddle wordt dit veroorzaakt door de constructie van de luchtgordijnen. Deze zijn uitgevoerd met een radiaalventilator waarvan de persmond veel korter is dan de lengte van het inblaasrooster. Normaliter zorgt een verwarmingsbatterij voor de nodige druk- en snelheidsvereffening, maar de in het SfA experiment toegepaste modellen zijn uitgevoerd zonder verwarmingsbatterij.

Deze omstandigheid is er debet aan dat de geschakelde luchtgordijnen zwakke plekken hebben. Op de plaatsen met de hoogste luchtsnelheden wordt onnodig veel ruimtelucht geïnduceerd. De plaatsen met de laagste luchtsnelheden zijn potentiële "lekken" in het luchtgordijn.

## OPTIMALISERING

### Systeeminstellingen

Het doel van deze meetsessie was de optimale instellingen van het luchtgordijn te bepalen in relatie tot de afzuigcapaciteit. De volgende mogelijkheden waren beschikbaar.

- Inblaasselheid luchtgordijnen instelbaar op 1,6 – 1,0 en 0,7 m/s;
- Enkel en dubbel luchtgordijn;
- Afzuigcapaciteit instelbaar op 4.500 – 3.000 en 1.500 m<sup>3</sup>/h.
- De optimalisering van het systeem werd uitgevoerd op zaterdag 15 januari 2005 met behulp van tracergas SF<sub>6</sub>. Om de warmteafgifte van de niet aanwezige personen te simuleren werden in de ruimte 40 gloeilampen van elk 80 W geplaatst; zie figuur 7.

### SF<sub>6</sub>-metingen

De tracermetingen zijn uitgevoerd door een extern ISO 9001 gecertificeerd bureau met behulp van tracergas SF<sub>6</sub> en een

Bruël & Kjaer INOVO 1302 foto-akoestische monitor (Bollen 2005). Tracergas concentraties zijn bepaald door gedurende een kwartier gaszakken te vullen, en daarna de inhoud te analyseren. Tussen de tafels in de SfA werd een gangpad evenwijdig aan het raam vrijgelaten om het meetstatief door de SfA te kunnen verplaatsen en daardoor een ruimtegemiddelde te kunnen bepalen.

De SF<sub>6</sub> concentraties zijn op 5 posities gemeten – zie figuur 3 en 6:

- In de spleet tussen het provisorische plafond van de SfA en het buitenraam, waardoor de lucht uit de SfA werd afgezogen (afzuig).
- In de SfA op 0,1 – 1,1 en 1,8 meter hoogte, ruimtegemiddelde.
- Buiten de SfA bij de wenteltrap.

Om 08.00 uur werd begonnen met het installeren van de apparatuur voor de emissie van SF<sub>6</sub> en de monsterafname. De analyser werd geplaatst in de portiersloge. De metingen begonnen om ca 09.30 uur.

De ruimtetemperatuur in de hal was ca 20° C en in de SfA gemiddeld 1,0 à 1,5° C hoger. Dit verschil kan worden toegeschreven aan de warmte van 40 gloeilampen à 80 W, die waren geplaatst om de warmte van 40 personen te simuleren, en aan de zoninstraling 's middags door de westgevel.

De buitentemperatuur varieerde van ca +1° C in de vroege morgen tot ca +5° C in de loop van de middag. 's Middags scheen de zon, en de windsnelheid was gemiddeld 5 m/s uit ZZO richting. De SfA bevond zich dus aan de lizijde, waardoor infiltratie van buitenlucht naar verwachting minimaal is geweest. De kieren van de twee buitendeuren waren overigens afgeplakt.

Uit meetsessie A zijn de volgende conclusies te trekken:

- De contaminant removal effectiveness CRE stijgt bij lagere inblaassnelheid van de luchtgordijnen. Dit kan worden toegeschreven aan de inductiewerking van de luchtstralen, die sterker wordt bij een hogere snelheid. De luchtgordijnen gaan hierbij als “mixer” werken voor de ruimtelucht in de SfA, waardoor een pseudo mengventilatie ontstaat.
- De scheidingseffectiviteit  $\eta_s$  is met waarden in de orde van 0,7 onverwacht laag. Dit kan mogelijk worden toegeschreven aan de plaats van het meetpunt, direct naast de SfA, en onder directe invloed van de secundaire geïnduceerde luchtstroom die gecontamineerd is met lucht uit de SfA.

Uit meetsessie B zijn de volgende conclusies te trekken:

- De verlaging van de afzuigcapaciteit van 4.500 tot 3.000 m<sup>3</sup>/h heeft grosso modo de volgende effecten:
  - Geen noemenswaardige invloed op de SF<sub>6</sub> concentratie in de SfA.
  - Een licht verbeterde scheidingseffectiviteit  $\eta_s$ .
  - Een duidelijk hogere CRE-waarde; bij alle metingen > 1,0
- Verlaging van de inblaassnelheid van 1,0 naar 0,7 m/s heeft bij dubbele luchtgordijnen een 15% - 25% hogere SF<sub>6</sub> concentratie in de SfA tot gevolg, echter ook een hogere CRE-waarde.
- Enkele luchtgordijnen geven een ca 15% lagere SF<sub>6</sub> concentratie in de leefzone en een aanzienlijk hogere CRE-waarde, zowel bij 0,7 als bij 1,0 m/s.
- Op basis van deze meetresultaten werd besloten de verdere metingen uit te voeren met enkele luchtgordijnen en een inblaassnelheid van 0,7 m/s.

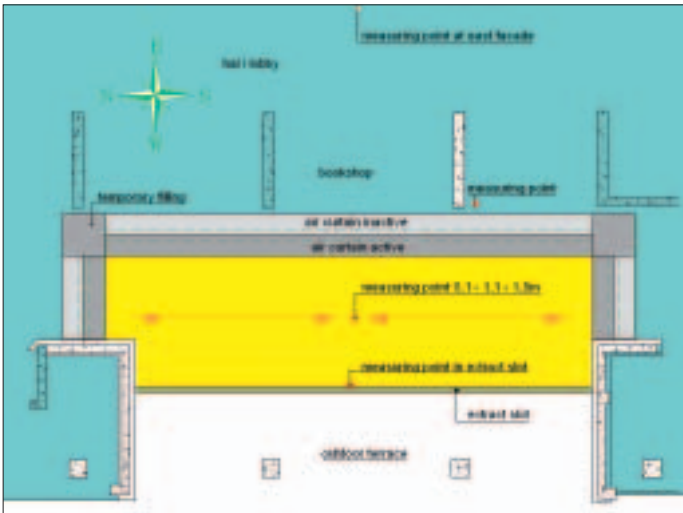
Nr.	V m/s	m <sup>3</sup> /h	E/D	SF6-concentraties in ppm <sub>v</sub> - C <sub>i</sub>				C <sub>e</sub>	CRE	$\eta_s$
				0,1 m <sup>1</sup>	1,1 m <sup>1</sup>	1,8 m <sup>1</sup>	afzuig			
				0,1 m <sup>1</sup>	1,1 m <sup>1</sup>	1,8 m <sup>1</sup>	afzuig	buiten	1,1 m <sup>1</sup>	1,1 m <sup>1</sup>
1	1,6	4.500	dubbel	0,92	1,44	1,49	0,93	0,39	0,65	0,73
2	1,0	4.500	dubbel	?	1,50	1,66	1,30	0,46	0,87	0,69
3	1,0	4.500	enkel	1,56	1,51	1,55	1,42	0,40	0,94	0,74
4	0,7	4.500	dubbel	1,19	1,53	1,51	1,54	0,46	1,0	0,70

Tabel 2: Resultaten meetsessie A

Nr.	V m/s	m <sup>3</sup> /h	E/D	SF6-concentraties in ppm <sub>v</sub> - C <sub>i</sub>				C <sub>e</sub>	CRE	$\eta_s$
				0,1 m <sup>1</sup>	1,1 m <sup>1</sup>	1,8 m <sup>1</sup>	afzuig			
				0,1 m <sup>1</sup>	1,1 m <sup>1</sup>	1,8 m <sup>1</sup>	afzuig	buiten	1,1 m <sup>1</sup>	1,1 m <sup>1</sup>
5	1,0	3.000	dubbel	1,09	1,43	1,70	1,55	0,34	1,08	0,76
6	0,7	3.000	dubbel	1,34	1,65	2,12	2,00	0,30	1,21	0,82
7	1,0	3.000	enkel	1,17	1,22	1,45	1,92	0,29	1,57	0,76
8	0,7	3.000	enkel	1,27	1,17	1,23	2,48	0,28	2,11	0,76

Tabel 3: Resultaten meetsessie B





Figuur 6: Plattegrond Sfa met meetposities (tekening UPWARDS CAD Applicaties)



Figuur 7: Optimalisering van de rookruimte Sfa

Om de goede resultaten van meting nr. 8 te verifiëren werd besloten deze onder dezelfde condities te herhalen. De resultaten van deze meting nr. 10 zijn aangegeven in tabel 4. Vergelijking met nr. 8 laat zien dat de meetresultaten goed vergelijkbaar zijn. De lagere concentratie in de afzuig en de inherent lagere CRE-waarde kan vermoedelijk worden toegeschreven aan het latere tijdstip van meting nr. 10. Door de inmiddels gedaalde buitentemperatuur, het verdwijnen van de zoninstraling en de inherente sterkere koudeval langs de grote glasspui, zijn de condities ter plaatse van de monsterafname op de afzuiglocatie veranderd.

Op basis van de conclusies uit meetsessie B werd in eerste instantie de afzuigcapaciteit verlaagd naar 1.500 m<sup>3</sup>/h bij V=0,7 m/s en een enkel luchtgordijn (nr.9). Bij meting nr.11 werden de luchtgordijnen uitgeschakeld en de afzuigcapaciteit ingesteld op 4.500 m<sup>3</sup>/h. Bij meting nr. 12 werd tenslotte ook de afzuiginstallatie uitgeschakeld.

Uit meetsessie C zijn de volgende conclusies te trekken:

- Vergelijking van de meetresultaten uit meting nr. 10 en nr. 9 leert dat verlagings van de afzuigcapaciteit van 3.000 naar 1.500 m<sup>3</sup>/h, bij overigens gelijkblijvende omstandigheden, een aanzienlijke verhoging van de  $C_i$  en de  $C_e$  waarden tot gevolg heeft.
- Uitschakeling van de luchtgordijnen en verhogen van de afzuigcapaciteit naar 4.500 m<sup>3</sup>/h (nr.11) geeft een aanzienlijk beter resultaat dan dezelfde afzuigcapaciteit met ingeschakelde luchtgordijnen; de  $C_i$ -waarden zijn ca 40% lager en de  $C_e$ -waarde ca 50%.
- Zie de metingen 1 t/m 4. Van alle metingen levert nr.11 zelfs de beste resultaten, zowel voor de  $C_i$  als voor de  $C_e$  waarden.
- De voorlopige conclusie moet luiden dat een grote afzuigcapaciteit een grote invloed heeft, een conclusie die overigens door het gezonde verstand gemakkelijk wordt bevestigd. Luchtgordijnen hebben verder niet alleen positieve effecten maar ook negatieve. Hierop wordt hierna nader ingegaan.

Nr.	V m/s	m <sup>3</sup> /h	E/D	SF6-concentraties in ppmV - $C_i$				$C_e$	CRE	$\eta_s$
				0,1 m <sup>1</sup>	1,1 m <sup>1</sup>	1,8 m <sup>1</sup>	afzuig			
10	0,7	3.000	enkel	1,26	1,09	1,13	1,86	0,27	1,71	0,75

Tabel 4: Resultaten herhalingsmeting 10.

Nr.	V m/s	m <sup>3</sup> /h	E/D	SF6-concentraties in ppm <sub>v</sub> - $C_i$				$C_e$	CRE	$\eta_s$
				0,1 m <sup>1</sup>	1,1 m <sup>1</sup>	1,8 m <sup>1</sup>	afzuig			
9	0,7	1.500	enkel	1,37	2,07	2,11	3,19	0,48	1,54	0,77
11	-	4.500	-	1,29	0,84	0,98	2,41	0,21	2,87	0,75
12	-	-	-	2,26	1,85	1,51	2,92	0,48	1,58	0,74

Tabel 5: Resultaten meetsessie C.

- Het uitschakelen van zowel luchtgordijnen als afzuiginstallatie (nr.12) heeft minder dramatische effecten dan verondersteld zou kunnen worden. Het is echter waarschijnlijk dat bij een veel langere meetperiode, een hele dag, de concentraties aanzienlijk zullen stijgen.

#### *Overall conclusies*

- Een grote afzuigcapaciteit is de belangrijkste parameter voor het verkrijgen van een goed resultaat. De in de metingen gebruikte maximum capaciteit van 4.500 m<sup>3</sup>/h, overeenkomend met een ventilatiefrequentie van ca 18 h<sup>-1</sup> is echter voor praktische toepassingen prohibitief. Een goed thermisch comfort is hierbij nauwelijks te realiseren, en het energiegebruik is hoog, evenals de installatie- en de exploitatiekosten.
- Een afzuigcapaciteit van 1.500...3.000 m<sup>3</sup>/h, overeenkomend met ventilatiefrequenties van ca 6...12 h<sup>-1</sup> kan in combinatie met een luchtgordijn goede resultaten geven. Voor praktische toepassingen zal de afzuigcapaciteit tussen deze grenzen regelbaar moeten zijn.
- De inblaassnelheid van de luchtgordijnen moet zo laag mogelijk zijn.
- Er is geen reden om dubbele luchtgordijnen toe te passen.

*Wordt vervolgd in deel 2.*

## REFERENTIES

---

- Beunderman, H. 2005. De Netwerk-faculteit Bouwkunde. [www.bk.tudelft.nl](http://www.bk.tudelft.nl)>Organisatie>Voorwoord Decaan
- Bollen, A.M. 2005. Metingen luchtgordijn. *Rapport BRCC bv nr. cb04-016.r01.c02*. [www@infobrcc.nl](http://www.infobrcc.nl)
- CEN 2005 EN 13779. Ventilation for non-residential buildings – Performance requirements for ventilation and room-conditioning systems. [www.cen.org](http://www.cen.org)
- Cremers, B.E. 2003. Hoe hard denkt u dat een luchtgordijn moet blazen? *TVVL Magazine3/2003*
- Goodfellow, Howard and Tähti, Esko. Industrial Ventilation Design Guidebook. *Academic Press 2001. ISBN 0-12-289676-0.*
- Olesen, B.W. Empfehlungen für Lüftungsraten und Luftklassen in Gebäuden mit Raucher- und Nichtraucherzonen. *VDI berichte 1429 – Lufttechnische Konzepte für Raucher- und Nichtraucherzonen.*
- Mundt, E. et al. Ventilation Effectiveness. *REHVA Guidebook no.2. Federation of European Heating and Air-conditioning Associations. P.O. Box 82 – 1200 Brussels 20, Belgium.*
- Skistad, H. en Berner, M. Ventilation for tobacco smoking – a case study. *Proceedings Roomvent 2000.*