

De prestatie van een operatiekamer gemeten

In het Gooi-Noord Ziekenhuis te Blaricum is in 2002 een nieuwe operatiekamer gerealiseerd waarin een nieuw ontworpen plenum is toegepast. De vernieuwende aspecten van het plenum van deze operatiekamer zijn stromingstechnisch gelegen in de gescheiden toevoertemperaturen die worden gehanteerd en de configuratie van de deelvlakken van het plenum.

Het nieuwe plenumontwerp is in de ontwerpfasen van de operatiekamer in een numerieke studie beoordeeld op de gestelde prestatie-eis, contaminatieniveau $< 10 \text{ KVE/m}^3$, voor het operatiegebied en voor een belangrijk gedeelte van de instrumententafels. Aan de hand van verschillende stromingssimulaties met behulp van CFD, zijn aan dit ontwerp enkele verbeteringen aangebracht [3]. Op basis van de berekende resultaten werd uiteindelijk geconcludeerd dat het ontwerp voldoet aan de gestelde prestatie-eis. Nadat het nieuwe plenumontwerp is gerealiseerd, is in de praktijk met behulp van metingen e.e.a. geverifieerd. Daardoor werd het ook mogelijk om de eerder uitgevoerde berekeningen met de meetresultaten te vergelijken. In dit artikel zullen de resultaten van bovengenoemde metingen worden beschreven. Hierbij zal eerst worden ingegaan op de uitgangspunten voor de meting. Daarbij komen onder meer de meetmethode, de configuratie en de randcondities aan de orde. Daarna zullen de meetresultaten worden gepresenteerd. Tot slot zal een vergelijking worden gemaakt met de eerder berekende resultaten.

-door M. Loomans en W. van Houdt**.*

De contaminatieverdeling in een ruimte kan langs verschillende methoden worden bepaald. De basis voor deze methode is echter in alle gevallen gelijk; op één of meerdere punten in de ruimte wordt een contaminatiebron ingebracht en op andere punten in de ruimte wordt gemeten wat de blootstelling is die ontstaat als gevolg van deze contaminatiebron. Deze werkwijze is ook gehanteerd bij de numerieke bepaling

van de contaminatieverdeling in de ruimte, zoals beschreven in [3].

MEETMETHODIEK

Er zijn meerdere typen bronnen mogelijk. De eisen die worden gesteld zijn dat de geëmitteerde deeltjes de luchtstroming niet verstoren en deze goed volgen. Stofdeeltjes, microbiologische verontreiniging en tracergas zijn voorbeelden van brontypen die aan

deze eisen voldoen. Evenals voor de numerieke aanpak, geldt ook hier dat het effect van de zwaartekracht op kleine deeltjes (tot ongeveer $10 \mu\text{m}$), bij het hoge ventilatievoud in een operatiekamer, beperkt blijft.

Voor de hier besproken metingen is uiteindelijk gekozen voor een tracer-gas. Dit is vooral gedaan omdat de meettechnieken voor tracergas goed zijn uitgewerkt en er reeds lang ervaring is met het gebruik hiervan voor het meten van het ventilatievoud of de ventilatie-efficiëntie in een ruimte. Het inbrengen van stofdeeltjes is zeer complex en werd als niet geschikt beschouwd omdat de operatiekamer uiteindelijk toch geen cleanroom is. Het gebruik maken van microbiologische bronnen wordt logischerwijs ook als onwenselijk beschouwd in een operatieafdeling.

Om een tracergasmeting te kunnen uitvoeren is het noodzakelijk dat het uit de ruimte afgevoerde tracergas niet via de recirculatie opnieuw in de ruimte wordt gebracht. In een situatie met recirculatie is het niet mogelijk om de verdeling ondubbelzinnig te bepalen. Uitgangspunt voor de meting dient te zijn dat het recirculatiedeel dat normaal gesproken wordt gebruikt nu (tijdelijk) als lucht van buitenaf wordt toegevoerd. Aangezien in de te onderzoeken operatiekamer ook gebruik wordt gemaakt van recirculatie was hiertoe een speciale aanpassing van het luchttoevoersysteem noodzakelijk. Voor de metingen is daarom een tijdelijke aanpassing gemaakt zodat, in plaats van recirculatielucht, lucht van buitenaf in de

* TNO Bouw, Delft

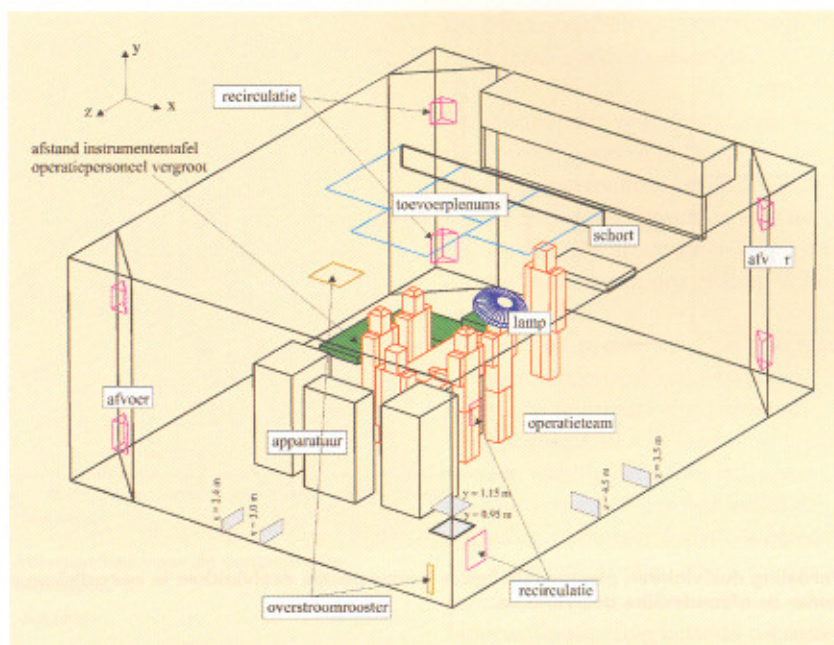
** Ziekenhuis Gooi-Noord, Blaricum

te onderzoeken operatiekamer werd ingeblazen.

CONFIGURATIE

De bemeeten configuratie van de operatiekamer kwam in grote lijnen overeen met de configuratie zoals die ook in de CFD-simulaties is onderzocht (zie figuur 1). In figuur 2 is met behulp van enkele foto's een indruk gegeven van de gerealiseerde situatie.

Tussen de eerder numeriek onderzochte configuratie en de daadwerkelijk gerealiseerde configuratie bestaan enkele verschillen. Het meest in het oog springende verschil zijn de iets grotere afmetingen van de deelvlakken van het plenum, die zijn ontstaan door de werkelijke positie en afmetingen van de eindfilters in de gerealiseerde situatie. Omdat eenzelfde uittrede luchtsnelheid is aangehouden betekent dit dat het ventilatievoud ook groter is geworden (ongeveer 10%). De overige verschillen, zoals een geringe verandering in de locatie van het overstroomrooster in het plafond, zullen geen groot effect hebben op de stromingssituatie in de ruimte, zeker niet onder het plenum. Wel geldt dat voor



Configuratie van de onderzochte operatiekamer.

-FIGUUR 1-

de bemeeten situatie het recirculatie-deel van de luchtvoorziening was afgesloten en dat hiervoor in de plaats lucht van buitenaf werd toegevoerd. In de balans van de luchtstromen is hiermee rekening gehouden voor zover de installatie dit toeliet. Het was echter niet te voorkomen dat de overdruk in

de operatiekamer aanzienlijk groter was (in de orde van 25 Pa) dan normaal voor een operatiekamer moet worden aangehouden (in de orde van 5 Pa). Dit verschil zal deels effect kunnen hebben op de luchtstroming en de afvoer van contaminatie, echter in het bijzonder in de periferie en niet onder

Het operatiegebied (inclusief de meetopstelling).

-FIGUUR 2A-



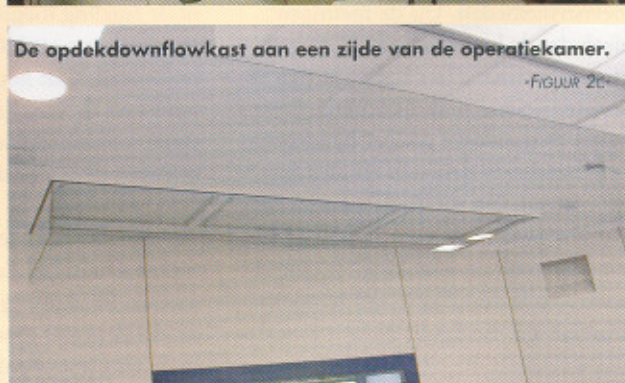
Het nieuwe plenumontwerp met de gescheiden temperatuurvlakken.

-FIGUUR 2B-



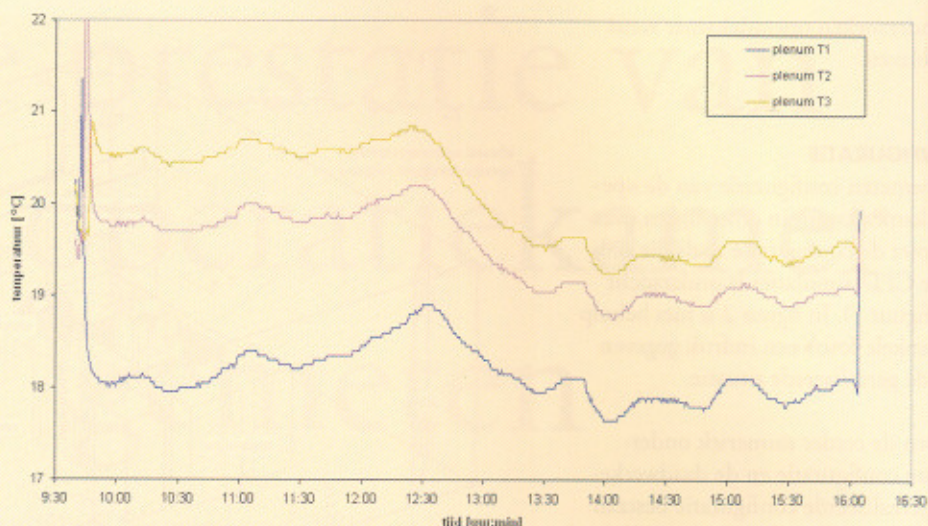
De opdekdownflowkast aan een zijde van de operatiekamer.

-FIGUUR 2C-



Enkele impressies van de gerealiseerde operatiekamer.

-FIGUUR 2-



Verdeling deelvlakken plenum (zie figuur 1 voor positie deelvlakken in operatiekamer) + verloop van de gemeten temperaturen onder de afzonderlijke deelvlakken.

-FIGUUR 3-

het plenum, op de operatietafel en de instrumententafels.

RANDCONDITIES

Op basis van de bovengenoemde uitgangspunten van de meetmethodiek en de configuratie is een experimentele opstelling gerealiseerd in de vernieuwde operatiekamer van het Ziekenhuis Gooi-Noord, zoals weergegeven in figuur 2a. Daarbij is gepoogd de randcondities voor de stromingstechnische situatie zoveel als mogelijk overeen te laten komen met de eerder uitgevoerde berekeningen.

De plenumcondities zijn hierbij natuurlijk de belangrijkste condities voor de stromingssituatie in de operatiekamer. Voor aanvang van de metingen zijn daarom enkele verificatiemetingen gedaan om een indruk te krijgen van de gemiddelde snelheden die werden gerealiseerd en de homogeniteit van de toevoersnelheden. Uit de metingen bleek dat de luchtsnelheid in de gesimuleerde situatie iets lager was dan in de onderzochte praktijksituatie. Deze was in de simulaties geschat op basis van de gehanteerde debieten en plenumafmetingen. Op een positie onder het plenum werd tevens een inhomogeniteit gemeten (i.e. afwijking tot gemiddelde >10%, ter plaatse van temperatuurvlak T3; zie figuur 3).

De plenumtemperatuur is een belangrijk ontwerpaspect van het onderzochte plenum. Gedurende de metingen zijn de temperaturen van de verschillende

plenumdelen dan ook geregistreerd om te controleren of de gewenste verschillen in temperatuur konden worden gehandhaafd. In figuur 3 is het gemeten verloop van de temperatuur over de dag weergegeven, zoals dat is opgetreden tijdens de hier besproken metingen.

De gemeten temperaturen geven het gewenste beeld voor de verdeling van de temperaturen over de verschillende delen van het plenum, met de laagste temperatuur voor plenum T1, oplopend naar een hogere toevoertemperatuur voor de plenumdelen T2 en T3.

Opvallend is dat gedurende de dag waarop is gemeten de gemiddelde temperatuur in het plenum is gedaald. De oorzaak hiervoor is een overgang van een verwarmings- naar een koelsituatie door een stijging van de buitentemperatuur. Tevens is gedurende de dag een fluctuatie in de temperatuur geregistreerd die het gevolg is van de in de regeling toegestane temperatuurafwijking van $\pm 0,2^\circ\text{C}$. In beide gevallen blijkt echter dat het temperatuurverschil over de verschillende plenumdelen steeds in stand wordt gehouden, ondanks de temperatuurvariaties.

Ten opzichte van de numeriek onderzochte situatie zijn de temperatuurverschillen bij aanvang van de meting duidelijk groter dan in de simulatie. In de simulaties werd tussen de plenumdelen T1 en T2 een temperatuurverschil gehanteerd van $0,7^\circ\text{C}$ en tussen de plenumdelen T2 en T3 nog eens $0,7^\circ\text{C}$. In de tweede helft van de me-

ting worden deze temperatuurverschillen wel ongeveer gerealiseerd.

De werking van een downflow systeem in een operatiekamer wordt in belangrijke mate mede beïnvloed door het aanwezige verschil tussen de luchttemperatuur van de toevoerlucht uit het toevoerplenum en de gemiddelde ruimtetemperatuur in de periferie rondom het plenum. Het temperatuurverschil dient in principe beperkt te blijven tot 1 à 2°C [2]. Om dit temperatuurverschil te realiseren is de aanwezigheid van een warmtelast noodzakelijk.

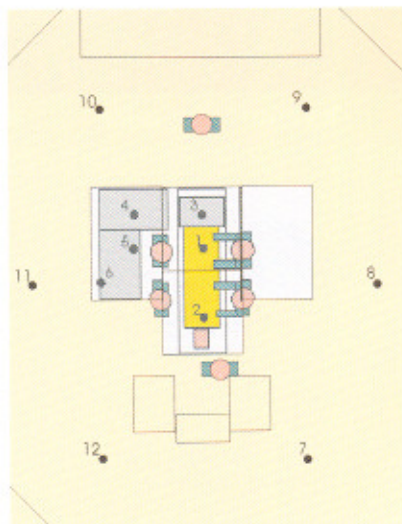
In de simulaties is de warmtelast gepresenteerd door het operatieteam, de patiënt, de apparatuur en de lamp die zich in de operatiekamer bevinden. Deze warmtelast is bij de metingen gesimuleerd met behulp van verschillende warmtebronnen. Voor het operatieteam zijn verschillende etalagepoppen en een tweetal dummy's gebruikt, die zijn uitgerust met lampen die de warmtebron representeren. Verder zijn enkele pompjes in de operatiekamer neergezet voor het inbrengen van de contaminatie in de ruimte. Eén van de aanwezige operatielampen is aangezet. In totaal kon op deze wijze de warmtelast in de operatiekamer nagenoeg gelijk worden gemaakt aan de in de berekeningen gehanteerde waarde.

De positie van de contaminatiebronnen vormt geen onderdeel van de luchtstromingstechnische randcondities van de operatiekamer, maar zijn wel van

wezenlijk belang voor een correcte vergelijking van de berekende en de gemeten situatie. Daarom is geprobeerd deze bronposities in overeenstemming met de gesimuleerde posities aan te brengen.

Er worden twee bronposities onderscheiden. Een bronpositie aan de hals van de leden van het operatieteam nabij de operatietafel. Een bronpositie evenredig verdeeld over de periferie van de operatiekamer, buiten het plenum. In het tweede geval is in de numerieke berekening uitgegaan van een evenredige verdeling van de contaminatie over het hele volume van de periferie tot een hoogte van 1,80 m. In de metingen kon dit niet worden gerealiseerd. In plaats daarvan is een lijnbron aangebracht op een hoogte van ongeveer 1,20 m rondom het plenum in de periferie. Aan de hals van het operatieteam is de contaminatie vrijgelaten in overeenstemming met de berekeningen.

Als contaminatie is gebruik gemaakt van het inerte gas SF_6 . Dit gas komt niet in de natuur voor, waardoor dus geen rekening hoeft te worden gehouden met achtergrondconcentraties. De contaminatiebron wordt uitgedrukt in m^3/min en de gemeten contaminatie in ppm. Er vindt een omrekening plaats om te komen tot uitdrukkingen in de



Meetposities voor de concentratiemetingen.

-FIGUUR 4-

vorm van Kiem Vormende Eenheden per minuut (KVE/min) en KVE/m^3 . Dit gebeurt aan de hand van een molaire benadering.

MEETPROCEDURE

De metingen zijn opgedeeld in een tweetal stationaire blootstellingsmetingen, met als variabele de bronpositie. De configuratie en de randcondities zijn voor deze beide metingen zoveel als mogelijk gelijk gehouden. Bij iedere meting is op 12 posities in de ruimte

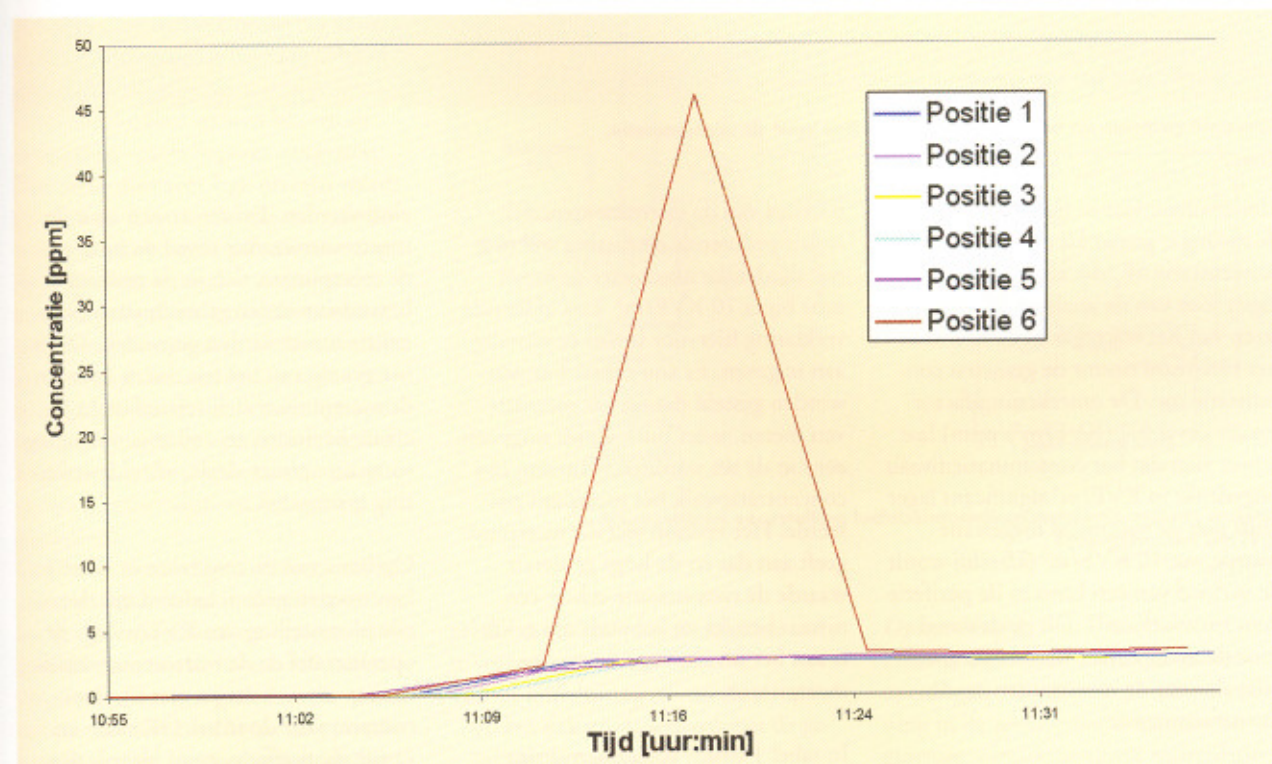
het concentratieniveau gemeten en gerelateerd aan de bronsterkte.

De meetposities voor de tracergasmeting zijn aangegeven in figuur 4. De eerste zes meetpunten bevonden zich enkele centimeters boven de verschillende tafels. De meetpunten zeven tot en met twaalf bevonden zich op 0,95 m van de vloer.

Voor een meetsessie werd het tracergas constant toegevoerd gedurende ten minste 30 minuten (ventilatievoud OK: ongeveer 40 h^{-1}). Gedurende deze periode werd het contaminatieniveau op de meetpunten gevolgd totdat een nagenoeg stationaire situatie is bereikt. Per meetsessie konden steeds zes meetpunten worden bemonsterd, zodat een blootstellingsmeting bestond uit twee meetsessies. Na een verstoring van de luchtstroming werd opnieuw eerst een stationaire situatie gecreëerd en vervolgens werd de meting op dezelfde wijze herhaald.

MEETRESULTATEN

In figuur 5 is een voorbeeldresultaat weergegeven van één van de meetsessies. In dit geval de meting met als bron het OK-team rond de operatietafel en de eerste zes meetpunten (op de operatie- en de instrumententafels).



Voorbeeld van een meetresultaat voor posities 1 tot en met 6, waarbij het OK-team als contaminatiebron fungeert (ieder meetpunt wordt eens per 6 minuten bemonsterd; $1 \text{ ppm} = 0,2 \text{ KVE}/\text{m}^3$).

-FIGUUR 5-

bron: OK-team				bron: periferie			
punt	KVE/m ³	Punt	KVE/m ³	punt	KVE/m ³	Punt	KVE/m ³
1	0.6	7	15*	1	1.4	7	2.5
2	0.6	8	5*	2	1.5	8	7.6
3	0.5	9	1*	3	1.3	9	201**
4	0.6	10	1*	4	1.4	10	20
5	0.6	11	5*	5	1.6	11	8.9
6	0.7	12	15*	6	1.5	12	26

* waarde geschat op basis van ter plaatse gevolgde meetresultaten.
 ** grote fluctuaties in de gemeten waarde (tussen 23 en 208 KVE/m³).

Overzicht gemeten eindwaarden voor de contaminatie.

-TABEL 1-

Meting				Simulatie			
punt	KVE/m ³	Punt	KVE/m ³	punt	KVE/m ³	Punt	KVE/m ³
1	2	7	17.5*	1	< 1	7	40
2	2.1	8	12.5*	2	< 1	8	30
3	1.8	9	200**	3	< 1	9	50
4	2	10	20*	4	< 1	10	40
5	2.2	11	15*	5	< 1	11	25
6	2.2	12	40*	6	5	12	35

* waarden deels gebaseerd op basis van geschatte waarden.
 ** grote fluctuaties in de gemeten waarde (tussen 23 en 208 KVE/m³).

Overzicht gemeten en berekende eindwaarden voor de contaminatie.

-TABEL 2-

Het resultaat laat in figuur 5 zien dat de meting is gestart bij een achtergrondconcentratie SF₆ die kleiner is dan de eigen fout van de analyser. Bij het loslaten van het tracergas in de hals van het OK-team neemt de gemeten concentratie toe. De omrekeningsfactor (in dit geval 0,2 (KVE/m³)/ppm) laat echter zien dat het contaminatieniveau uitgedrukt in KVE/m³ significant lager blijft dan de maximaal toegestane waarde van 10 KVE/m³ (Hierbij wordt de invloed van een bron in de periferie even verwaarloosd). Dit geldt zowel voor de meetpunten op de operatietafel als voor de meetpunten op de instrumententafel.

Op punt 6, dat zowel nagenoeg recht onder de grenslijn van het buitenste plenum is gelegen als ook aan de bui-

tenrand van de instrumententafel, wordt gedurende de meting wel nog een duidelijke uitschieter gemeten naar bijna 10 KVE/m³. Een afdoende verklaring hiervoor is niet eenvoudig aan te geven. Er zou echter kunnen worden gesteld dat op het moment van meten, ieder punt wordt ongeveer eens in de zes minuten bemeaten, een concentratiewolk het meetpunt passeerde. Het verloop van dit meetpunt geeft aan dat na de hoge gemeten waarde de concentratie echter een niveau bereikt en behoudt dat gelijk is aan het niveau voor de overige meetpunten.

In tabel 1 wordt een samenvatting gegeven van de gemeten concentraties bij de verschillende meetsessies. De waarden in de tabel zijn de gemeten

eindwaarden. Echter, vooral voor de meetessie waarbij zowel de bron als de meetpunten zich in de periferie bevinden worden grote fluctuaties in enkele meetwaarden gevonden. Dit is het gevolg van het feit dat de bron en de meetpunten zich relatief dicht bij elkaar bevinden en volledige openging soms niet plaats vindt, ofwel kortsluiting is mogelijk.

Op basis van de resultaten in tabel 1 kan worden geconcludeerd dat de totale blootstelling aan KVE/m³ op de operatietafel en de instrumententafels (meetpunten 1 tot en met 6), door contaminatie door het OK-team en vanuit de periferie, ruim lager is dan de gestelde eis van 10 KVE/m³ (maximaal 2,2 KVE/m³). In de periferie zijn de gevonden waar-

den niet opvallend hoog, met uitzondering natuurlijk van positie 9 bij de bron in de periferie. Deze waarde is echter met vrij grote zekerheid het gevolg van de eerder genoemde mogelijke kortsluiting tussen de bronpositie en de meetpositie.

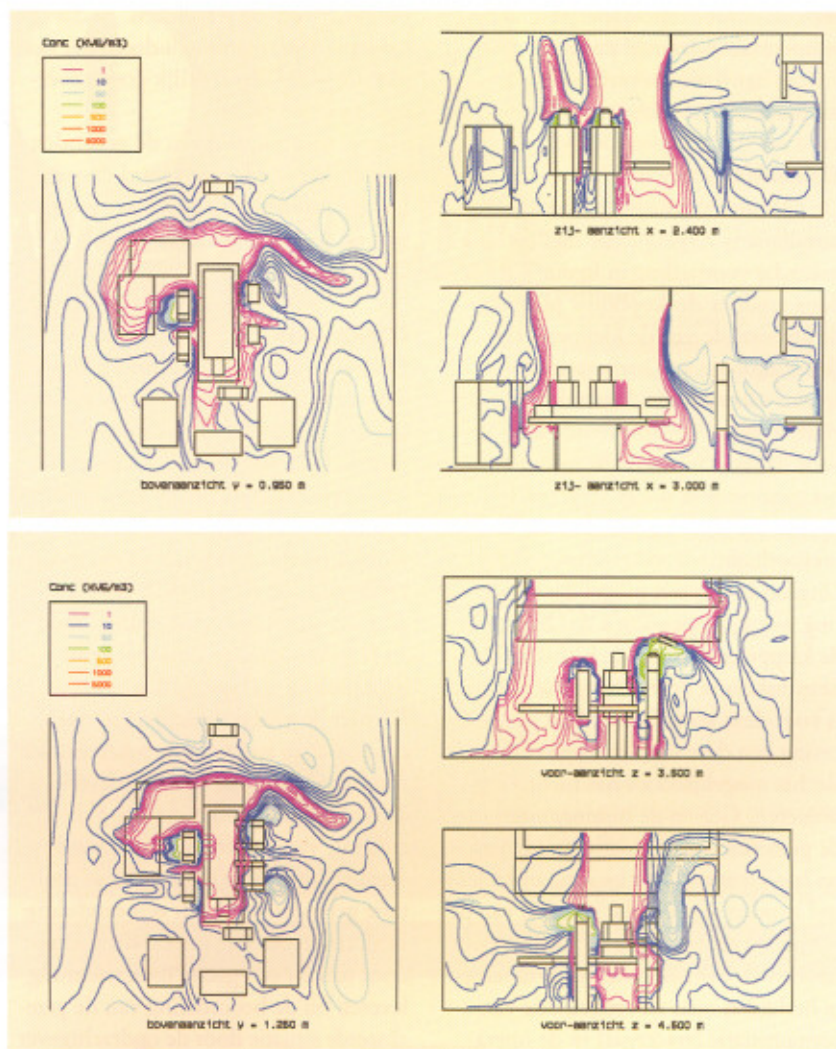
VERGELIJK MET ONTWERPSIMULATIE

Naast de bepaling van de blootstelling vormde een vergelijking van de meetresultaten met de berekende waarden ook tot de doelstellingen van de uitgevoerde metingen. In tabel 2 is daarom een overzicht opgenomen van de totale blootstelling als gevolg van de bronnen bij het OK-team en in de periferie voor de metingen en de waarden zoals die kunnen worden afgeleid uit de berekende resultaten. In dit geval is een schatting gemaakt op basis van de beschikbare grafische presentaties. Ter illustratie is in figuur 6 de bijbehorende berekende contaminatieverdeling afgebeeld.

Uit de vergelijking tussen de meting en de simulatie blijkt dat met de numerieke simulatie een redelijke benadering kan worden gevonden voor de daadwerkelijke contaminatieverdeling. Er zijn echter wel enkele opvallende verschillen aan te wijzen.

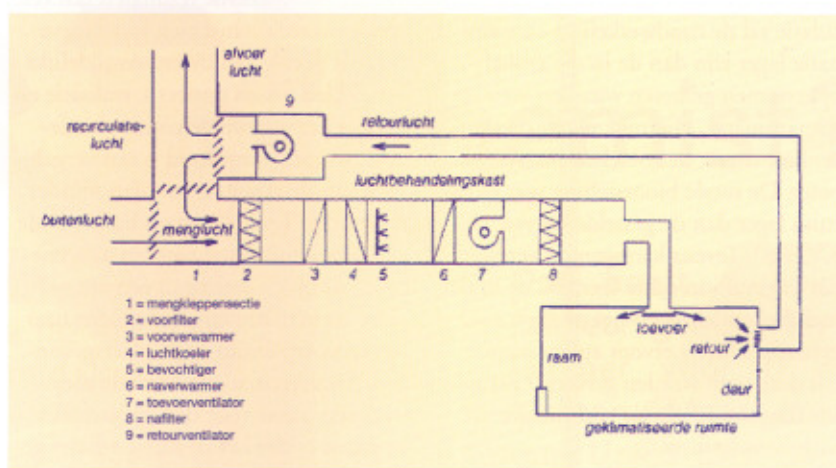
Op de eerste plaats is duidelijk dat de gemeten concentratie op de operatietafel en de instrumententafels relatief gezien duidelijk hoger is dan gesimuleerd. In absolute termen blijven de verschillen echter beperkt aangezien hier reeds over zeer lage niveaus wordt gesproken. Een verklaring voor de desondanks aanwezige contaminatie zou deels gezocht kunnen worden in de aanwezige operatielamp. Door visualisatie met behulp van rook kon worden aangetoond dat contaminatie van het nabij gepositioneerde lid van het operatieteam boven de operatietafel terecht kon komen. De positie van de lamp vormt daarmee dus een belangrijke parameter.

Gezien de evenredige verdeling van het contaminatieniveau in de meetpunten op de operatietafel en de instrumententafel bestaat echter ook het sterke vermoeden dat een gedeeltelijke recirculatie van afvoerlucht uit de operatiekamer naar de toevoerlucht heeft bijgedragen aan de hogere gemeten waarden in vergelijking tot de berekende waarden. Hierbij zijn een tweetal mo-



Berekende contaminatieverdeling van de ontwerpsituatie van de onderzochte OK.

-FIGUUR 6-



Schematische voorstelling luchtbehandelingsinstallatie met recirculatie (overgenomen uit: [2]).

-FIGUUR 7-

gelijke oorzaken voor recirculatie aan te wijzen:

1. door kortsluiting tussen de afvoer op het dak en de toevoer aan de gevel van het gebouw;
2. door lekken in de overigens gesloten recirculatiekleppen in de luchtbehandelingsinstallatie.

Opmerking 1.

Hoewel de afstand tussen de afvoeropening op het dak en de toevoeropening in de gevel groot is kan een ongunstige windrichting tot recirculatie hebben geleid. Echter, gezien het vlagerige karakter van wind, zou er in dat geval niet sprake zijn geweest van

een constante recirculatie. Tevens mag worden verondersteld dat er in dat geval een aanvullende verdunning van de contaminatie zal hebben plaatsgevonden.

Opmerking 2.

De opbouw van de luchtbehandelingsinstallatie is vergelijkbaar met de schematische voorstelling in figuur 7. Hierdoor vindt er drukopbouw plaats aan de afvoerszijde van de kleppensectie die de recirculatie kan verzorgen en is er sprake van onderdruk aan de toevoerszijde. Hoewel de betreffende kleppen voor de recirculatie dicht stonden is het aannemelijk dat er toch een lekstroom zal zijn opgetreden naar de toevoerlucht.

Uitgaande van een mogelijke kortsluiting wordt aangenomen dat lekken in de kleppensectie van de luchtbehandelingsinstallatie de belangrijkste oorzaak is voor deze kortsluiting. Een kwantificering van deze kortsluiting is echter slechts mogelijk door het luchtlek te bemeten. Gezien de homogeniteit van de gemeten contaminatiewaarden en op basis van realistische aannamen kan wel worden afgeleid dat een deel van de gemeten contaminatie op de operatietafel en de instrumententafels is terug te herleiden naar de recirculatie van contaminatie (tracergas) in de operatiekamer via het toevoerplenum.

Als gevolg van een gedeeltelijke recirculatie zal de daadwerkelijke contaminatie lager zijn dan de in dit artikel opgenomen gemeten waarden voor de contaminatie. Hiermee wordt de overeenkomst met het berekende resultaat beter. De totale blootstelling was reeds ruim lager dan de gestelde eis van 10 KVE/m³. Tevens kan worden vermeld dat in geval van echte kiemen, de in de luchtbehandeling en het plenum aangebrachte filters ervoor zullen zorgen dat deze eruit worden gefilterd. Zij zullen daarom niet in de gerecirculeerde lucht voorkomen.

Van de concentratieniveaus in de periferie komt duidelijk naar voren dat de bronmodellering in de meting niet goed te vergelijken is met de bronmodellering in de CFD-simulatie. Daardoor lijkt een directe vergelijking van de absolute waarden op de meetpunten tussen meting en simulatie weinig zinvol. Indirect heeft dat natuurlijk ook effect op de contaminatie in het plenumgebied. Wel kan het beeld van de verdeling van de contaminatie in de

periferie worden vergeleken. In dat geval kan worden geconcludeerd dat het globale beeld een redelijk goede overeenkomst vertoont.

Tevens kan een deel van de gevonden verschillen worden verklaard doordat het gehanteerde toevoerdebiet groter was en de drukhiërarchie afweek.

CONCLUSIES

Op basis van de in dit artikel gepresenteerde meetresultaten kan worden geconcludeerd dat het contaminatieniveau op de operatietafel en de instrumententafels in de nieuw gerealiseerde operatiekamer van het Ziekenhuis Gooi-Noord voldoet aan de oorspronkelijk gestelde eis van < 10 KVE/m³, dit voor de onderzochte configuratie en randcondities en de aangegeven bronposities en bronsterkte.

De hier beschreven meting en meetopzet, die op basis van de berekeningen is ontwikkeld, lijkt een waardevolle aanvulling te kunnen geven op de controle van de uiteindelijk gerealiseerde situatie. De methodiek is prestatie gebaseerd en heeft een eenduidig beschreven evaluatiemethodiek. Daardoor kan zij een goede ondersteuning leveren bij de beoordeling van de gerealiseerde situatie door de opdrachtgever of het ontwerpteam.

De vergelijking van de meetresultaten met de gesimuleerde resultaten laat een goede overeenkomst zien in relatieve zin. Als gevolg van de onvermijdelijke verschillen tussen ontwerp, realisatie en in de wijze waarop de contaminatiebron wordt gesimuleerd is een vergelijking van de absolute waarden minder eenduidig. Tevens mag op basis van de aanwezige installatie worden aangenomen dat bij de metingen een onvoorziene recirculatie van afvoerlucht naar het toevoerplenum heeft plaatsgevonden. Deze recirculatie heeft de meetwaarden, zeker voor de lage gemeten waarden onder het plenum, relatief gezien, duidelijk beïnvloed. Desondanks kan worden gesteld dat het uitvoeren van numerieke stromingssimulaties in het ontwerpproces voor nieuwe operatiekamers zijn waarde heeft.

NASCHRIFT

De bijdrage aan dit onderzoek door de heer Cornelissen en de heer de Jong van TNO Bouw wordt zeer gewaardeerd.

REFERENTIES

1. College voor Ziekenhuisvoorzieningen. 1995. *Bouwkundig functionele maatstaven ten behoeve van nieuwbouwplannen voor een operatieafdeling in een algemeen ziekenhuis*. Rapportnummer: 052, CVZ, Utrecht, Nederland.
2. Ham, Ph.J. 2002. *Handboek Ziekenhuisventilatie*. TNO Preventie en Gezondheid, Leiden, Nederland.
3. Loomans, M., Lemaire, A. en van Houdt, W. 2001. Bepaling van de luchtkwaliteit in nieuw te ontwerpen operatiekamers, TVVL Magazine, Nr.12, pp.52-64.

NOOT

- ¹ De analysetijd per meetpunt bedraagt ongeveer één minuut. De zes meetpunten worden met behulp van een analyzer sequentieel afgelezen.