

Bepaling van de luchtkwaliteit in nieuw te ontwerpen operatiekamers

De gewenste luchtstroming in een operatiekamer wordt gedomineerd door de eisen die worden gesteld aan de luchtkwaliteit op de operatietafel, meer specifiek het operatiegebied. De luchtkwaliteit betreft in dit geval vooral de concentratie van bacteriën, uitgedrukt in kolonie vormende eenheden per kubieke meter (KVE/m³). Bacteriën kunnen tot infecties leiden in het wondgebied die in sommige gevallen desastreuze gevolgen kunnen hebben. Door strenge eisen te stellen aan de bacterieconcentratie wordt gepoogd de kans op een infectie te minimaliseren.

- door dr.ir. M. Loomans*, ir. A.D. Lemaire*, W. van Houdt**

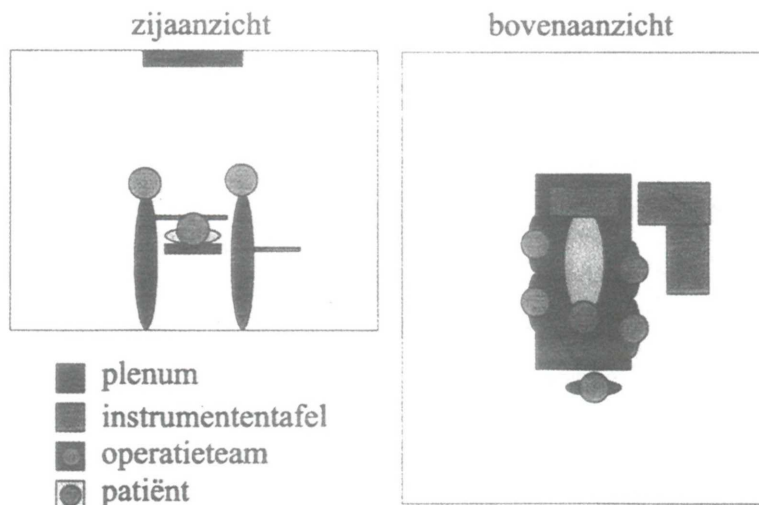
De bacteriebronnen in een operatiekamer worden gevormd door de aanwezige personen. Het is daarom, op dit moment, nog

niet mogelijk om de bacteriebronnen uit de ruimte te verwijderen. Dit zou de beste oplossing zijn voor het gestelde infectieprobleem. Alle overige moge-

lijke bronnen worden reeds met behulp van filters en een goede hygiëne zo veel als mogelijk geminimaliseerd of tot nul gereduceerd. Aan het operatieteam kunnen enkel strenge regels worden gesteld over de hygiëne en de te gebruiken kleding. Op die wijze kan de afgifte van bacteriën worden gereduceerd. Tot slot wordt door de toepassing van een speciaal ventilatieconcept geprobeerd het wondgebied van de patiënt zo schoon als mogelijk te houden.

Op dit laatste onderwerp, de ventilatie van een operatiekamer, zal in dit artikel nader worden ingegaan. Zij vormt het onderwerp aan de hand waarvan, met behulp van een voorbeeld, wordt getoond wat de mogelijkheden zijn van het gebruik van stromingssimulatie (CFD-) technieken om het ventilatieontwerp van een operatiekamer te ondersteunen en te optimaliseren. Overigens staat het gebruik van de CFD-techniek bij de toetsing van een operatiekamerontwerp aan de (toekomstige) normering momenteel ter discussie. Gezien dit mogelijke belang van CFD vormt de operatiekamer een interessant onderwerp om een indruk te geven van de mogelijkheden.

Alvorens hierop nader in te gaan zal eerst een kort overzicht worden gegeven van de jongste ontwikkelingen op het gebied van het ventileren van operatiekamers. Vervolgens zal kort wor-



Schets van een downflow systeem in een operatiekamer.

-FIGUUR 1-

* TNO Bouw, Delft

**Gooi-Noord ziekenhuis, Blaricum

den aangegeven wat de CFD-techniek behelst. Tenslotte zal een voorbeeld worden gegeven van het berekende stromingspatroon bij een bepaald systeemontwerp en de verbeteringen die aan dat ontwerp zijn aangebracht aan de hand van de berekende resultaten.

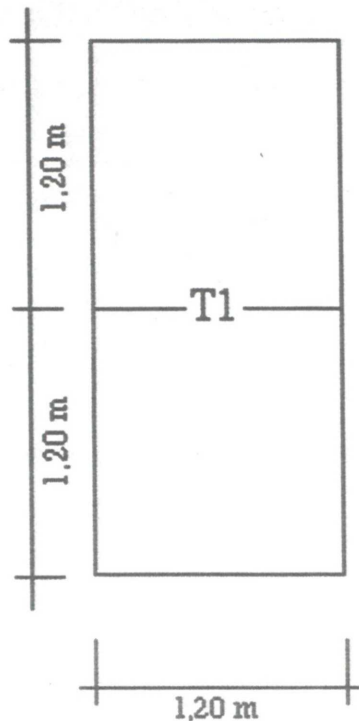
VENTILATIE VAN OPERATIEKAMERS

Om een zo laag mogelijke concentratie aan KVE nabij het wondgebied te krijgen wordt in operatiekamers in Nederland, zoals ook in een aantal andere West-Europese landen, in het algemeen gebruik gemaakt van een downflow systeem. Hierbij is een plenum direct boven de operatietafel gesitueerd. Een schets van de opzet van een operatiekamer is in figuur 1 weergegeven.

Met een plenum wordt een downflow gecreëerd waarmee in theorie het wondgebied continu 'schoongespoeld' zou moeten worden. Een voorbeeld van een standaard type plenum dat op dit moment veelvuldig wordt gebruikt in operatiekamers is afgebeeld in figuur 2. Bij dit type plenum wordt in het algemeen gebruik gemaakt van een uniforme toevoersnelheid en een uniforme toevoertemperatuur.

De realiteit is echter dat door de werkzaamheden van de chirurg in het operatiegebied en door andere versturende invloeden, zoals bijvoorbeeld variaties in de warmtelast en de aanwezigheid van operatielampen, de laminaire downflow niet zonder meer continu optimaal kan functioneren. Daarnaast kan met het in figuur 2 afgebeelde type plenum er niet goed voor worden gezorgd dat de op een operatiekamer aanwezige instrumententafels ook in een schone laminaire stroming kunnen worden gepositioneerd. Een experimentele studie van Ham (1999) maakt dit duidelijk.

Bij bepaalde type operaties, zoals bijvoorbeeld een orthopedische operatie, bevinden zich op de instrumententafels juist voorwerpen die in direct contact komen met het wondgebied. Dit is overigens een typisch voorbeeld van een operatie waarbij een bacterie-infectie aanzienlijke negatieve gevolgen kan hebben voor het herstelproces van de patiënt. Tegen deze achtergrond wordt de noodzaak om gebruik te maken van andere typen plenums, waarmee ook de instrumententafels kun-



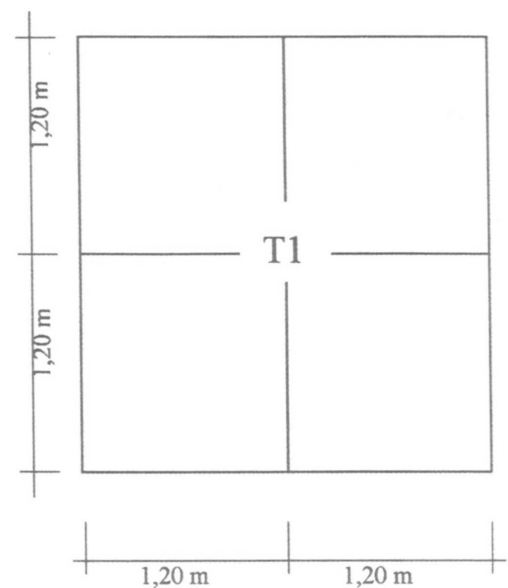
Schematische plattegrond van een standaard plenum zoals toegepast in een operatiekamer. Met T1 wordt aangeduid dat een uniforme toevoertemperatuur wordt toegepast.

-FIGUUR 2-

nen worden voorzien van een 'schone' laminaire downflow, steeds meer onderkend. Oplossingen worden op dit moment vooral gezocht in een groter plenum, eventueel voorzien van een randafscherming.

Figuur 3 geeft het meest eenvoudige voorbeeld van een groot plenum. Onderzoek en praktijkervaringen hebben inmiddels aangetoond dat deze standaard oplossing van een groot plenum niet zonder meer tot goede resultaten hoeft te leiden betreffende de contaminatie. Er bestaat onder meer een nauw verband tussen het temperatuurverschil van toe- en afvoer en de insnoering van de laminaire downflow en het stromingsgedrag direct boven het wondgebied. Wordt een zelfde koelend vermogen gehandhaafd als voor een klein plenum, dan is de werking van de thermische krachten geringer. Bij een overeenkomstig temperatuurverschil kan, vanwege inductie van lucht, het stromingsprofiel ter hoogte van de operatietafel een ongewenst verloop hebben.

Om deze problematiek het hoofd te bieden wordt gezocht naar alternatieve oplossingen. Eén van de alternatieven maakt gebruik van het fysische stro-



Schematische plattegrond van een groot plenum met een uniforme temperatuur T1.

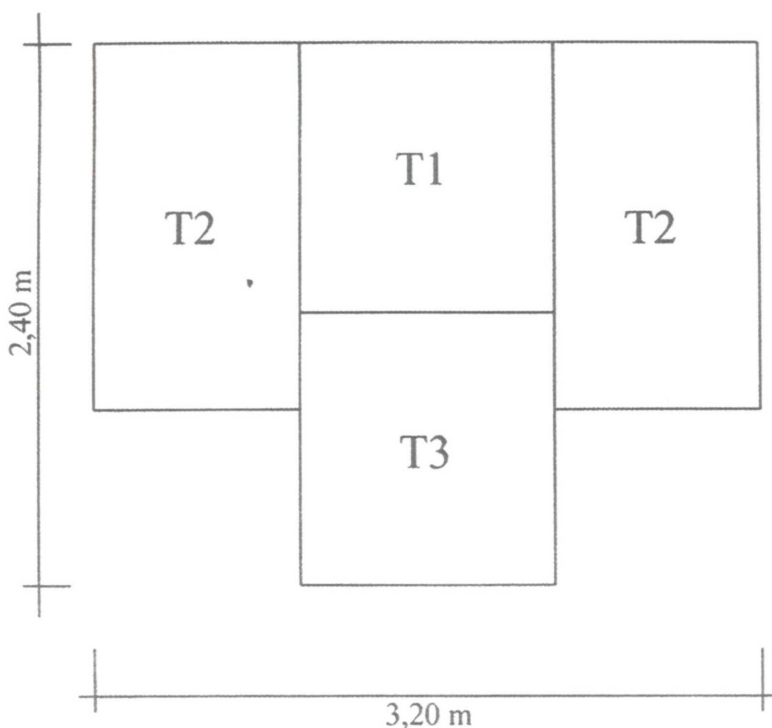
-FIGUUR 3-

mingseffect dat op lucht met een groter temperatuurverschil ten opzichte van de omgeving een grotere thermische kracht wordt uitgeoefend. Als gevolg daarvan zal deze een grotere verticale snelheid ontwikkelen.

In figuur 4 wordt een schets getoond van een alternatief ontwerp van een groot plenum waarbij gebruik wordt gemaakt van het bovengenoemde thermische effect. In dit geval is het operatiegebied gesitueerd op de grens tussen de plenums met aanduiding T1 en T3. Onder de overige twee plenums bevinden zich (een deel van) de instrumententafels. De lucht in plenum T1 wordt met de laagste toevoertemperatuur ingebracht. De plenums aangeduid met T2 hebben een iets hogere toevoertemperatuur en het plenum aangeduid met T3 een nog iets hogere toevoertemperatuur. Dit plenumontwerp, waarbij gebruik wordt gemaakt van verschillende toevoertemperaturen, is gepatenteerd.

Naast het thermische effect wordt, door het gebruik van verschillende toevoertemperaturen, in dit plenumontwerp ook ingespeeld op de verschillen in comfortwensen van de leden van een operatieteam, zoals die door Ham (1995) zijn beschreven.

Het plenumontwerp met een afwijkende opbouw en niet-uniforme temperatuurverdeling is nog niet toegepast in de Nederlandse ziekenhuizen. Derhalve was niet bekend of dit plenumontwerp



Schematische plattegrond van een ontwerp voor een groot plenum met een variabele toevoertemperatuur ($T1 < T2 < T3$).

-FIGUUR 4-

kan voldoen aan de eisen die zijn gesteld aan de contaminatie concentratie (uitgedrukt in KVE/m³) in een operatiekamer.

CONSENSUS RICHTLIJNEN LUCHTREINHEID

Momenteel bestaat er geen normering die voorschrijft wat het concentratieniveau in een OK maximaal mag zijn. Wel bestaat er een principeafspraken, die door Nederlandse orthopeden is gemaakt, waarin op basis van consensus is gesteld dat op een operatietafel de concentratie kleiner moet zijn dan 10 KVE/m³.

Het ontbreken van eisen met betrekking tot de luchtkwaliteit in operatiekamers wordt door de direct betrokkenen als een hiaat in de normering beschouwd. Derhalve is in 1999 een normalisatie commissie 'Luchthuishouding Operatiekamer complexen' in het leven geroepen, die tot doel heeft richtlijnen te ontwikkelen voor de luchtkwaliteit in een OK (Huiskamp 2001). Deze commissie bestaat uit enkele werkgroepen die zich onder meer richten op de technische aspecten, het materiaalgebruik en de meetprocedure. Voorlopige informatie van de Werk-

groep 'Techniek' maakt duidelijk dat de huidige consensusafspraken uitgangspunt zal zijn voor het maximale contaminatieniveau in een OK (Ham 2000). Er wordt voorlopig gesteld dat onder het luchtinblaasplenum de contaminatieconcentratie kleiner moet zijn dan 10 KVE/m³. Het staat momenteel ter discussie in hoeverre deze eis ten aanzien van het schone gebied wordt beperkt tot het wondgebied of dat deze ook moet gelden voor de instrumententafels.

In de nieuwe normering wordt gesteld dat, voor zover het een nog niet eerder toegepast en bewezen ontwerp betreft, de contaminatie-eis op voorhand moet worden aangetoond. Praktijktesten van dergelijke systemen zijn echter zeer kostbaar en zullen waarschijnlijk maar zeer beperkt kunnen worden ingezet om de contaminatie-eis voor vernieuwende systeemontwerpen te verifiëren. Om de drempel voor de introductie van zo een vernieuwend ontwerp te verlagen wordt het toestaan van het gebruik van numerieke technieken overwogen. In dat geval wordt de luchtstroming in een operatiekamer gesimuleerd met behulp van Computational Fluid Dynamics (CFD-) technieken.

TOEGEPASTE CFD-TECHNIEK

De inzet van numerieke technieken, binnen de te ontwikkelen normering, om de werking van een systeem aan te tonen, is momenteel nog onderwerp van discussie. De resultaten beschreven in dit artikel laten zien wat de mogelijkheden van de toepassing ervan kunnen zijn.

Binnen TNO is het CFD-model WISH3D ontwikkeld voor het simuleren van stromingen en warmte- en stoftransport. Dit programma berekent de verdeling van luchtsnelheden, drukken, temperaturen en stofconcentraties in verblijfsruimten en rondom bouwwerken, voor zowel stationaire als tijdsafhankelijke omstandigheden.

Het stromingsmodel lost de vergelijkingen op waarmee de stroming en het warmte- en stoftransport van een onsamendrukbaar medium worden beschreven. Turbulentie wordt hierbij gemodelleerd met het bekende k-ε model en stoftransport is gebaseerd op meevoering door het medium (lucht) en turbulente menging. De stroming in de nabijheid van vaste wanden wordt benaderd met zogenaamde standaard wandfuncties.

Het stelsel gekoppelde vergelijkingen wordt gediscriteerd en iteratief opgelost volgens de eindige volume methode. Hierbij wordt de ruimte opgedeeld in roostercellen, waarover de vergelijkingen worden geïntegreerd en opgelost. Dit houdt in dat voor elke roostercel de behoudswetten voor massa, impuls en energie worden toegepast, waarbij wordt verondersteld dat het transport door de wanden van een roostercel slechts wordt bepaald door de waarde van de grootheden in de eigen roostercel en in de aangrenzende roostercellen. De oplossing van de drukverdeling gebeurt met het zogenaamde SIMPLE algoritme.

Het programma is binnen verschillende nationale en internationale onderzoeken gevalideerd (Lemaire 1993). Voor operatiekamers heeft zelfs een speciaal validatietraject plaatsgevonden (Luscuere 1992; Lemaire et al. 1996).

PROBLEMBESCHRIJVING EN GEBRUIKTE RANDCONDITIES

Als voorbeeld van een CFD-studie wordt in dit artikel de toepassing van het type plenum zoals afgebeeld in fi-

guur 4 nader beschouwd. Dit plenum is geplaatst in een operatiekamer waarvan de configuratie in figuur 5 is afgebeeld.

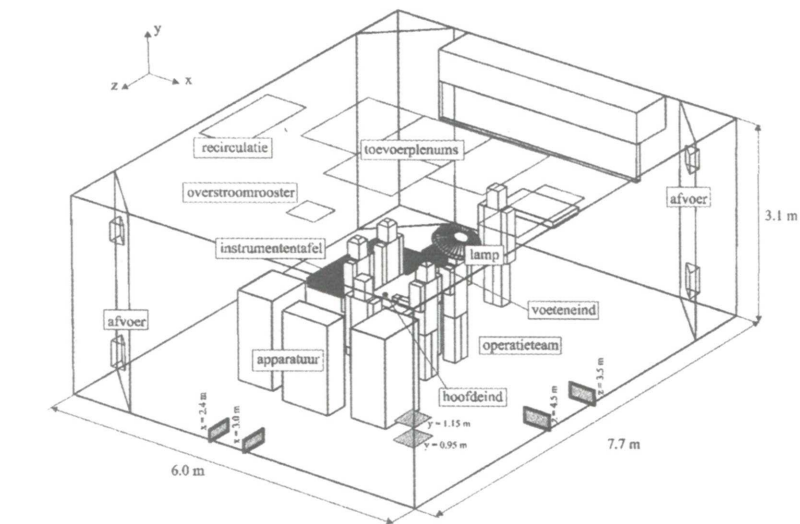
De gemodelleerde configuratie is een vereenvoudiging van de werkelijkheid. In de modellering zijn echter in ieder geval de belangrijkste objecten die zich in een operatiekamer bevinden en natuurlijk de patiënt en het operatieteam opgenomen. Doordat gebruik wordt gemaakt van een cartesische discretisering worden details buiten beschouwing gelaten.

De positie van het operatieteam, de operatie- en instrumententafels en de overige obstructies in de ruimte zijn weergegeven in figuur 5. De apparatuur in de ruimte wordt gedacht in een drietal blokken. Het nieuwe plenumontwerp bevindt zich direct boven het operatiegebied. Aan beide zijden van het toevoerplenum zijn recirculatioeroosters gedacht en tenslotte is een overstromrooster in het plafond opgenomen. De overige afvoerroosters bevinden zich op twee hoogtes in twee hoeken van de ruimte.

De operatielamp hangt niet boven de operatietafel, maar achter de chirurg en schijnt in de richting van de heup van de patiënt op de operatietafel. De positie van de operatielamp ten opzichte van het plenum vormt een belangrijke ontwerpbeslissing. Onderzoek (Ham 1999) heeft duidelijk gemaakt dat de positionering van de lamp recht boven het wondgebied, direct onder het plenum, tot een significant hogere contaminatie in het wondgebied leidt.

Er is een drietal instrumententafels nabij de operatietafel geplaatst; deze zijn groen ingekleurd in figuur 5. Twee tafels achter en naast de twee operatie-assistenten en een kleinere instrumententafel boven het voeteneinde van de operatietafel ($y = 1,20$ m). De kleine instrumententafel bevindt zich aan het voeteneinde boven de operatietafel, de overige twee tafels zijn even hoog als de operatietafel ($y = 0,90$ m). Deze instrumententafels bevinden zich nagenoeg volledig onder het plenum.

Naast de operatietafel is in de operatiekamer een werkgebied gepland om voorbereidende werkzaamheden (opdekken) uit te voeren. Dit werkgebied staat gepland aan de kopse zijde van de operatiekamer. In dit werkgebied wordt een downflow gecreëerd met



Configuratie operatiekamer ten behoeve van het stromingsmodel

-FIGUUR 5-

behulp van recirculatie. Onder de downflow worden verrijdbare tafels geplaatst en worden voorbereidende werkzaamheden verricht. Deze downflow wordt alleen aanwezig verondersteld voor dat een operatie plaatsvindt en niet tijdens de operatie.

Aan het plenum zijn bij de modellering volumestromen opgedrukt die op voorhand zijn bepaald. Ook voor de recirculatie- en afvoerroosters is een verdeling van de volumestromen vastgelegd. Overeenkomstig de beschrijving van het nieuw toe te passen plenumontwerp zijn verschillende toevoertemperaturen toegepast.

De vaststelling van de interne warmtelast in de operatiekamer en de positie van deze last zijn van groot belang in verband met de invloed die de thermische krachten op het stromingsprofiel hebben. Ook bepaalt zij, in combinatie met de gehanteerde volumestroom, het temperatuurverschil dat ontstaat tussen de toevoertemperatuur van het plenum en de luchttemperatuur buiten het plenum. Dit temperatuurverschil is van belang voor het insnoeringseffect of voor een eventueel optredend thermisch effect dat aan de laminaire downflow zal ontstaan.

In de hier besproken berekeningen is het effect van straling niet in de berekeningen meegenomen. Derhalve is in de warmtelast alleen rekening gehouden met de convectieve warmteafgifte van de bronnen. De wanden van de opera-

tiekamer kunnen ofwel adiabatisch¹ ofwel als een extra interne warmtebron worden beschouwd. In deze studie zijn beide opties meegenomen.

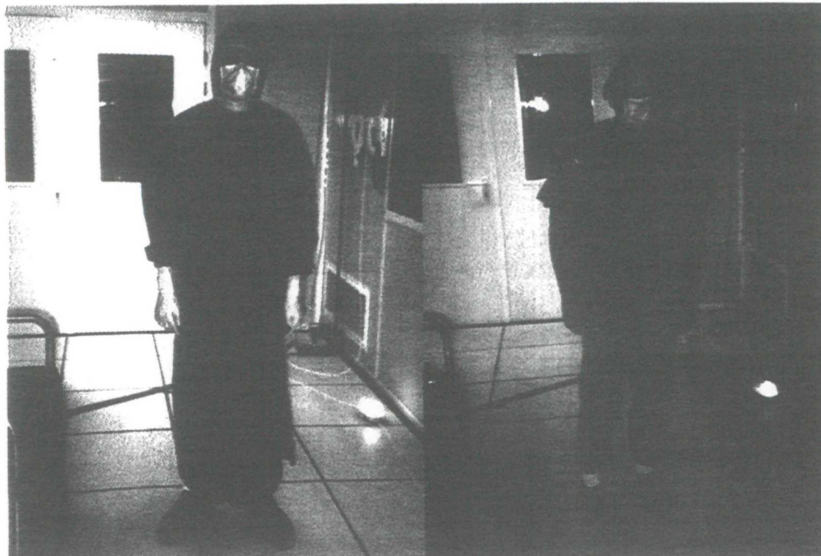
De warmtelast van het operatieteam en de patiënt zijn gebaseerd op de gegevens uit Ham (1995). Hierbij wordt er van uitgegaan dat de afzonderlijke leden van een operatieteam, gezien hun verschillende activiteitsniveau, een verschillend metabolisme hebben.

CONTAMINATIEBRONNEN

De verdeling van de contaminatie in de operatiekamer, in absolute zin, vormt het uiteindelijk resultaat van de rekenstudie op basis waarvan een beoordeling van het ontwerp moet worden gemaakt.

Op het moment van het onderzoek waren er nog geen voorlopige eisen vastgelegd waarin was aangegeven op welke positie contaminatiebronnen moesten worden gepositioneerd en welke afgifte aan deze bronnen moest worden opgegeven. Omdat beoordeling van de resultaten plaats vindt op basis van absolute gegevens was het van groot belang hiervoor realistische condities te gebruiken.

In overleg met dhr. Ham (2000), lid van de werkgroep 'Techniek' van de normcommissie 'Luchtnormering OK's', is een tweetal bronscenario's vastgelegd: 1. contaminatiebronnen in het downflowgebied, te weten de vier leden van het operatieteam die aan beide



Voorbeelden van moderne OK-kleding; links: operatiekleding met handschoenen, operatiemuts en schoenhoezen; rechts: omloopkleding met kleine muts en schoenhoezen.

-FIGUUR 6-

zijden van de operatietafel zijn gepositioneerd. De afgifte vindt plaats ter hoogte van de nek;

2. contaminatiebronnen in de periferie (omloopruimte), te weten vier leden van het operatieteam², gemodelleerd als één homogene bron vanaf de vloer tot 1.80 m hoogte in de periferie. De periferie is hierbij gedefinieerd als het gebied vanaf de wanden tot aan het plenum.

Het eerste type contaminatiebron geeft inzicht in de contaminatie van het operatiegebied als gevolg van het operatieteam. Omdat het operatieteam de downflow verstoort, hebben zij daarnaast ook effect op de contaminatie van de instrumententafels. Het tweede type contaminatiebron geeft inzicht in hoeverre contaminatie uit de omgeving tot het operatiegebied en de instrumententafels kan doordringen.

De afgifte van de contaminatie, in kolonie vormende eenheden per kubieke meter, is in alle gevallen gebaseerd op de personen die in de operatiekamer aanwezig zijn. Zij zijn veruit de belangrijkste contaminatiebronnen in een operatiekamer. Als gevolg van de verschillende operatiepakken die worden gedragen bestaan er echter wel verschillen tussen de afgifte. Uitgebreide meetresultaten van Ham en Kastelein (1999) tonen dit aan. Metingen uit 1977, die in het genoemde onderzoek van Ham en Kastelein worden aangehaald, laten overigens zien dat tegenwoordig de operatiepakken de afgifte

van contaminatie reeds aanzienlijk beter kunnen beperken.

Op basis van de meetresultaten van Ham en Kastelein (1999) is in overleg met Ham (2000) de afgifte van deeltjes door een persoon in moderne OK-kleding vastgelegd op 200 KVE/min. Deze waarde geldt voor de leden van het operatieteam die aan de operatietafel staan. Voor de periferie worden minder strenge eisen gesteld aan de OK-kleding. In dat geval is de afgifte vastgesteld op 500 KVE/min per persoon. In figuur 6 wordt een tweetal voorbeelden gegeven van moderne OK-kleding.

De contaminatie wordt in de CFD-berekening als gasvormig aangenomen. In Wiegersma (1978) wordt het gebruik van het tracergas koolmonoxide besproken, als alternatief voor het genereren van kunstmatige bacterie-aërosolen voor een experimenteel onderzoek in een operatiekamer. Wiegersma gaat hierbij uit van aërosolen met een equivalente diameter van 12 µm. Dit zijn afmetingen waarop in de praktijk kiemen voorkomen. Uit de experimentele resultaten van Wiegersma blijkt een goede correlatie af te leiden tussen de gemeten concentratie van het tracergas en die van de kunstmatig in de lucht gebrachte kiemen. In Ham en Kastelein (1999) worden deze resultaten bevestigd. Ook in dit geval betreft de onderzoeken ruimte een operatiekamer. Een soortgelijke conclusie wordt gevonden door Murakami et al. (1992) voor deeltjes tot ongeveer 10 µm, bij een ventilatievoud van 40 h⁻¹.

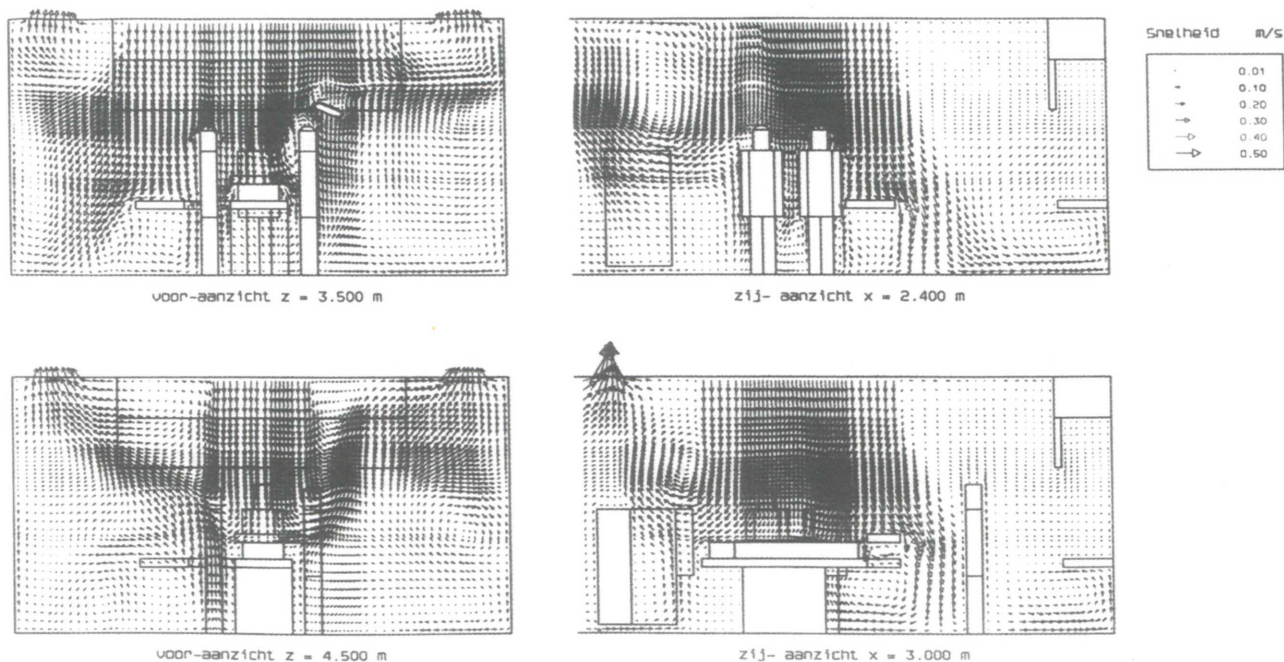
RESULTAAT

In dit onderzoek wordt gesteld dat de contaminatieconcentratie op de operatietafel, ter plekke van het wondgebied, kleiner moet zijn dan 10 KVE/m³. In verband met het contaminatierisico waaraan de instrumenten op de instrumententafel worden blootgesteld, is deze eis binnen dit onderzoek uitgebreid naar de eis dat ook op instrumententafels de contaminatieconcentratie lager moet zijn dan 10 KVE/m³. Aangezien momenteel nog geen eisen worden gesteld voor de instrumententafel, betekent dit een duidelijke verzwaring van de momenteel gehanteerde (consensus) richtlijn en sluit dit aan bij een eventuele verzwaring van deze richtlijn in een toekomstige normering.

In figuur 7 tot en met 9 worden enkele grafische resultaten getoond van de berekeningen die voor de besproken configuratie zijn uitgevoerd. In figuur 7 worden de luchtsnelheden weergegeven met behulp van vectoren, waarvan de richting en de grootte de lokale tijdsgemiddelde snelheid representeren, geprojecteerd op de doorsneden. De kleur is een maat voor de absolute snelheid. In figuur 8 en 9 worden enkele resultaten voor respectievelijk de temperatuur- en de contaminatieverdeling getoond. De contaminatieverdeling toont het gesommeerde effect van beide bronnen zoals die hierboven zijn gedefinieerd. Per kleur worden vijf lijnen getoond, waarvan de waarde evenredig oploopt tot de waarde van de volgende kleur.

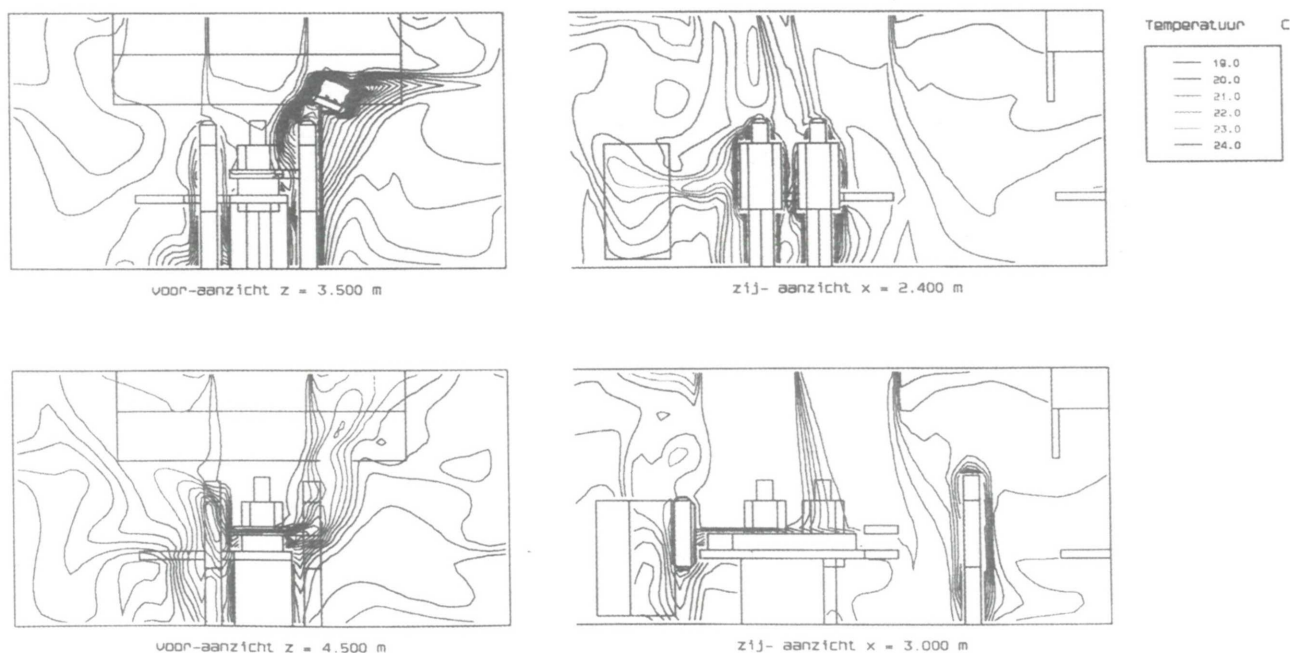
Het vectorveld zoals getoond in figuur 7 maakt duidelijk dat de recirculatiroosters in het plafond een negatieve invloed hebben op het stromingspatroon in de operatiekamer. Hoewel normaal gesproken de positie van een afvoer- of recirculatirooster weinig effect heeft op het stromingspatroon, speelt dat door de hoge debieten die in een operatiekamer worden gehanteerd toch duidelijk een rol. Op sommige posities is zelfs sprake van kortsluiting tussen de toe- en afvoer.

Het stromingsprofiel kan deels worden verklaard uit het temperatuurverloop in de ruimte en de gehanteerde temperatuurverdeling van de plenums. Er ontstaat een thermische gradiënt in de ruimte, gelijk als die bij een verdringingsventilatiesysteem zou worden gevonden. Daardoor kan alleen de koud-



Snelheidsvectorveld op enkele doorsneden in de configuratie.

-FIGUUR 7-



Temperatuurverdeling op enkele doorsneden in de configuratie.

-FIGUUR 8-

ste lucht tot de vloer doordringen. Voor de lucht uit de overige plenums is de impuls die wordt gegenereerd door de toevoer en de thermische krachten onvoldoende om voldoende diep door te dringen in de koude laag.

De contaminatieprofielen maken duidelijk dat ter hoogte van het operatiegebied de contaminatie-eis nog kan worden gehaald. Echter op een groot deel van de instrumententafels worden

hogere concentraties gevonden dan de maximaal te accepteren 10 KVE/m³.

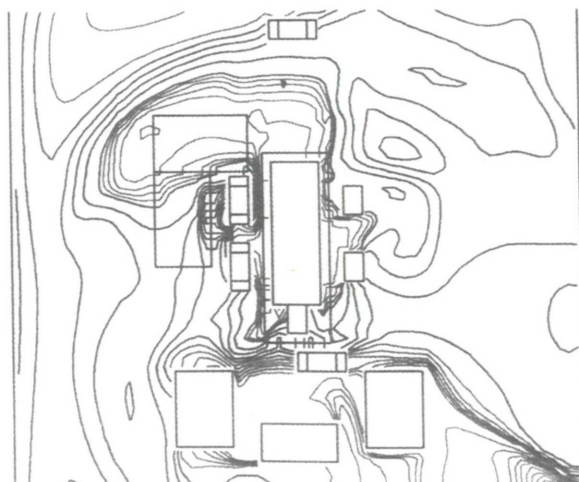
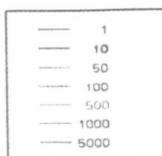
ONTWERPAANPASSINGEN

Uit de besproken resultaten blijkt dat de onderzochte configuratie met het speciale toevoerplenum niet voldoet aan de gestelde eisen. Er dienen derhalve aanpassingen te worden uitgevoerd aan het ontwerp. Met behulp van het simulatiemodel is in een tweetal

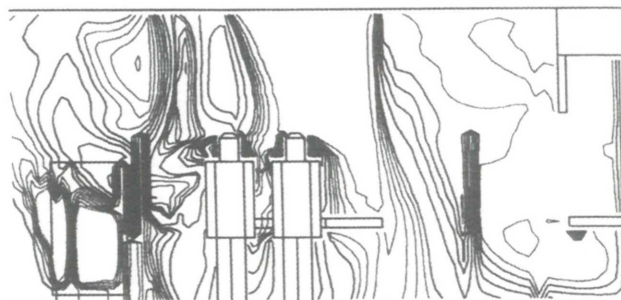
stappen het ontwerp aangepast opdat de stromingsconfiguratie in de operatiekamer en de contaminatie-eis voldeden aan de gewenste situatie.

De belangrijkste aanpassing was hierbij het verplaatsten van de recirculatie-roosters van het plafond naar de hoeken van de ruimte. Vergelijkbaar met de afvoerroosters is een hoog-laag verdeling toegepast voor de recirculatie. Tevens is een extra overstroomrooster

Conc (KVE/m³)



bovenaanzicht y = 0.950 m



zij- aanzicht x = 2.400 m

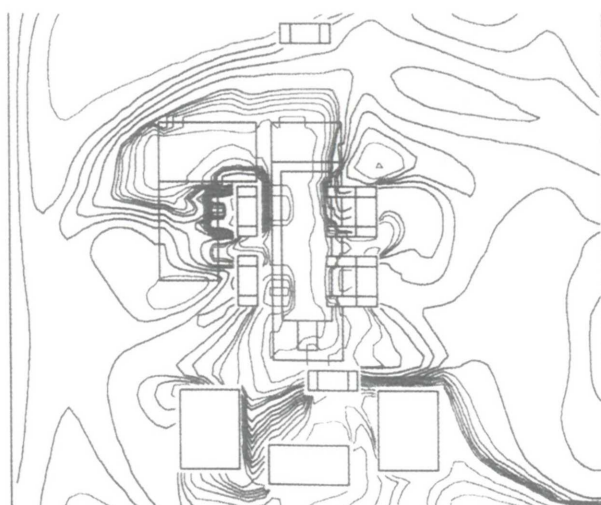
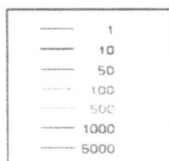


zij- aanzicht x = 3.000 m

Contaminatieverdeling op enkele doorsneden in de configuratie.

FIGUUR 9-

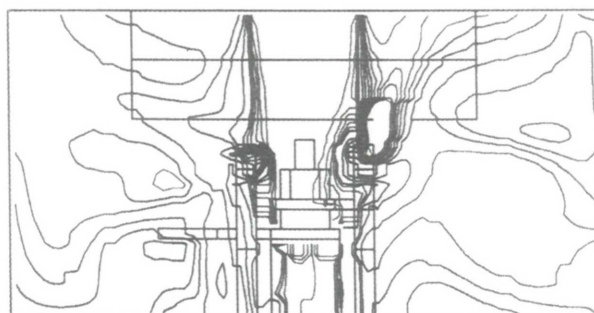
Conc (KVE/m³)



bovenaanzicht y = 1.250 m



voor-aanzicht z = 3.500 m



voor-aanzicht z = 4.500 m

Contaminatieverdeling op enkele doorsneden in de configuratie. (vervolg)

FIGUUR 9B-

opgenomen in de deur. Hiermee worden de geprononceerde effecten van de thermische stratificatie, zoals gevonden in het uitgangsonwerp, tegengegaan.

Tot slot zijn kleine wijzigingen aangebracht zoals de plaatsing van een schort aan de lange zijde van het plenum. Hiermee wordt de insnoering van het

koudste deel van het plenum meer beperkt. Ook is de ruimte tussen de instrumententafels en de leden van het operatieteam wat vergroot. Hierdoor

kan de downflow langs de personen zo veel als mogelijk ongehinderd tot de bodem doordringen. Uit de resultaten van het uitgangsontwerp was gebleken dat door de positie van de leden ten opzichte van de tafels vervuilde lucht van de personen over de instrumententafels wordt geleid.

Het uiteindelijke ontwerp van de operatiekamer, dat is aangepast op basis van de eerdere rekenresultaten met behulp van het stromingsmodel, is weer gegeven in figuur 10. In figuur 11 tot en met 13 zijn respectievelijk weer het vectorveld, de temperatuurverdeling en de contaminatieverdeling afgebeeld.

Uit het snelheidsvectorveld zoals afgebeeld in figuur 11 wordt een duidelijk rustiger stromingsbeeld gevonden dat meer overeenstemming vertoont met het bij een downflow systeem gewenste stromingspatroon. Het overstroomrooster in het plafond heeft nog steeds een functie in de massabalans van de ruimte, maar er is geen negatief effect op het gewenste stromingspatroon.

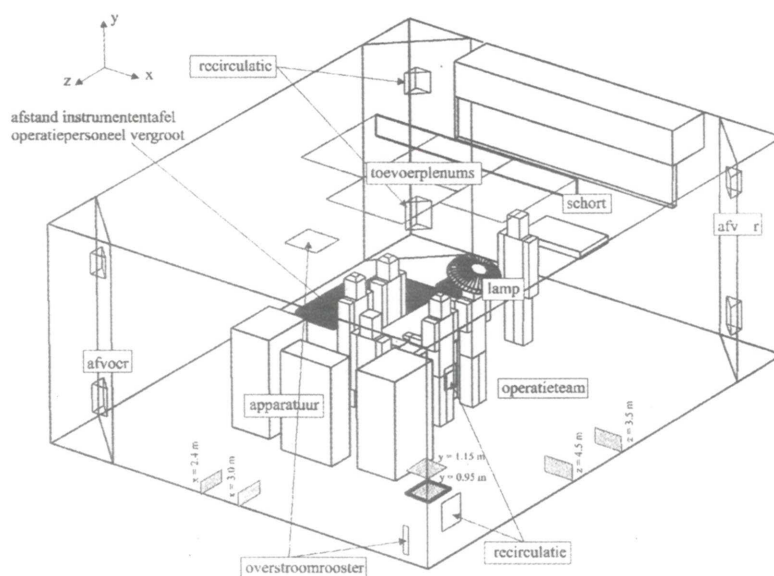
Het temperatuurverloop toont ook nu een stratificatie, maar de negatieve invloed daarvan op het stromingspatroon is door de lage positie van de recirculatie- en afvoerroosters beperkt. De downflow van de afzonderlijke plenums met de verschillende toevoertemperaturen

kan tot nabij de bodem min of meer gehandhaafd blijven.

De contaminatieverdeling laat zien dat het aangepaste ontwerp tot een lagere contaminatieconcentratie leidt die voor een groot gedeelte van de instrumententafels lager is dan de geëiste 10 KVE/m³. Vervuiling afkomstig van de leden van het operatieteam komt niet in het operatiegebied en wordt door de aanwezige downflow langs de instrumententafels afgevoerd. Vervuiling

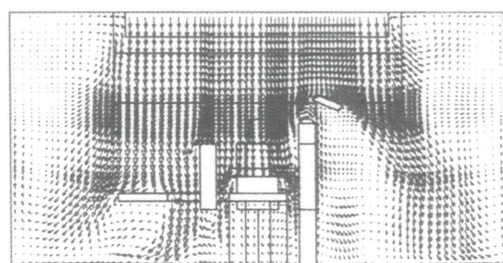
uit de periferie dringt niet door tot het operatiegebied en slechts in zeer beperkte mate tot de instrumententafels.

Aanvullende berekeningen waarbij een hogere warmtelast in de ruimte is verondersteld maken duidelijk dat de verdeling van de contaminatieconcentratie iets verslechtert door de grotere invloed van de periferie als gevolg van de insnoering van de downflow. Echter ook in dat geval wordt grotendeels aan de gestelde eis voldaan.

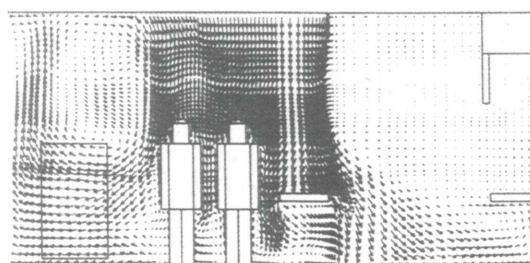


Configuratie verbeterde ontwerp operatiekamer.

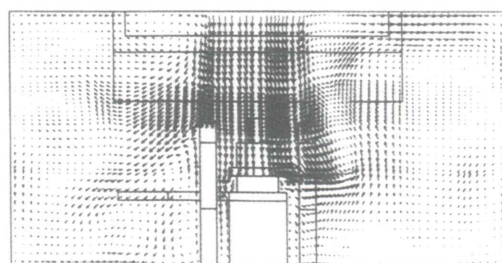
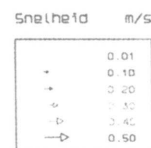
-FIGUUR 10-



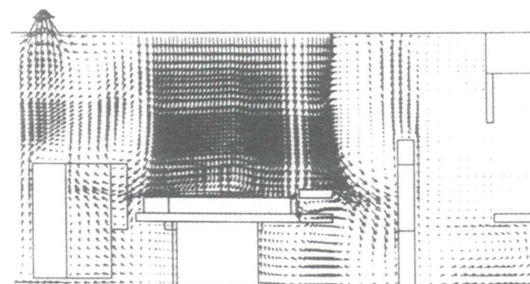
voor-aanzicht z = 3.500 m



zij- aanzicht x = 2.400 m



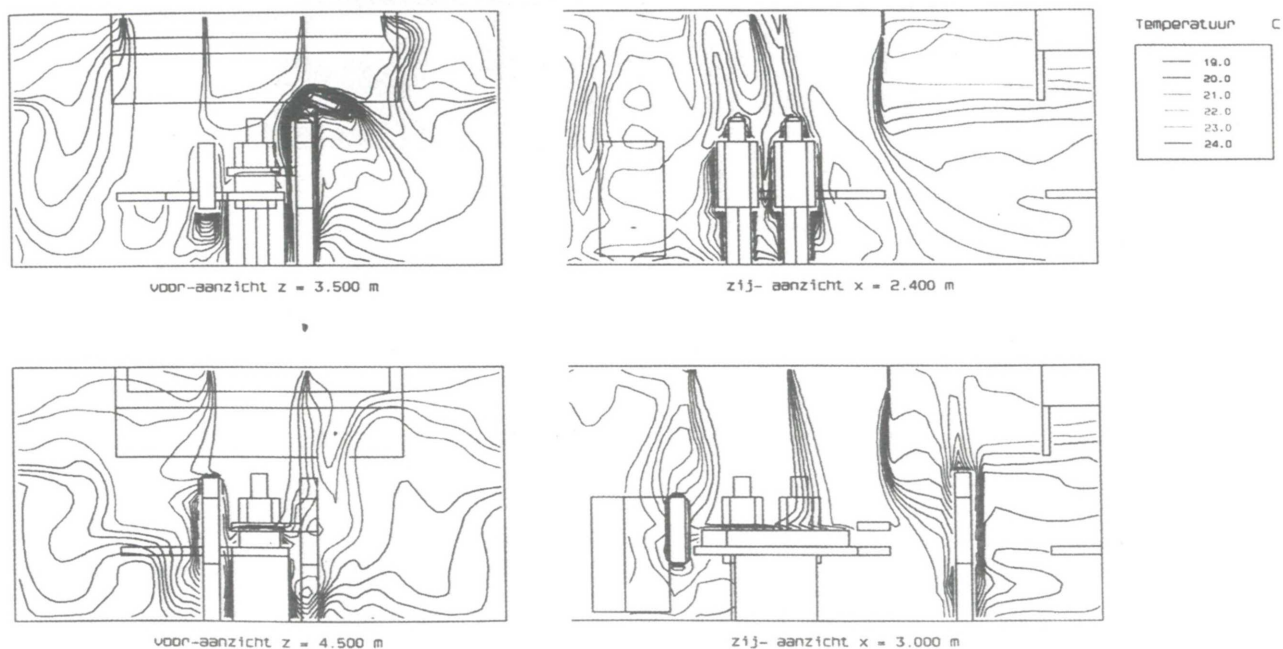
voor-aanzicht z = 4.500 m



zij- aanzicht x = 3.000 m

Snelheidsvectorveld op enkele doorsneden in de aangepaste configuratie.

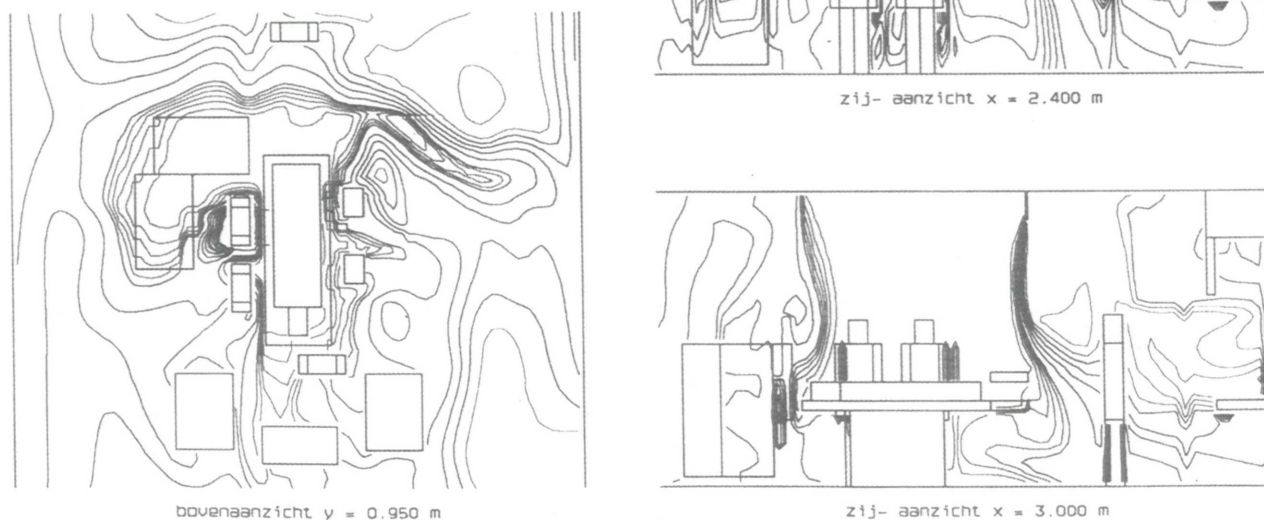
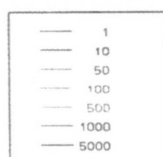
-FIGUUR 11-



Temperatuurverdeling op enkele doorsneden in de aangepaste configuratie.

-FIGUUR 12-

Conc (KVE/m³)



Contaminatieverdeling op enkele doorsneden in de aangepaste configuratie.

-FIGUUR 13-

CONCLUSIE

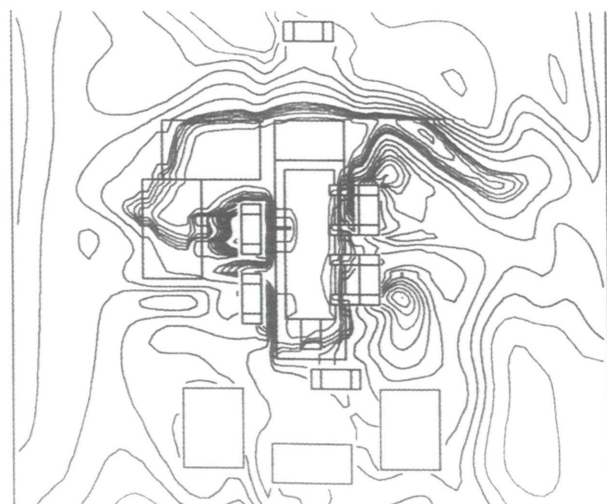
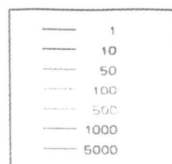
In dit artikel worden enkele resultaten besproken van een ontwerpstudie naar de effectiviteit van een nieuw plenum-ontwerp in een operatiekamer. Voor deze studie is gebruik gemaakt van het ontwerp hulpmiddel CFD waarmee het mogelijk is de luchtstroming in

een ruimte te simuleren.

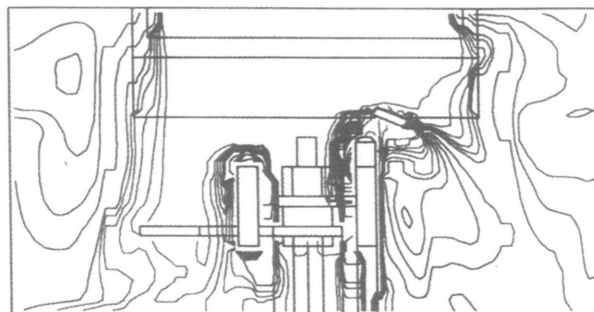
Door gebruik te maken van CFD in het ontwerpproces is het mogelijk gebleken om met een relatief beperkte investering belangrijke ontwerpeisen te toetsen en zo mogelijk een ontwerp daarop aan te passen. In het hier be-

handelde geval van een operatiekamer kon op deze wijze inzicht worden verkregen in het effect van relatief kleine aanpassingen zoals de plaatsing van een schort en de vrije afstand tot een instrumententafel. In dit voorbeeld is het effect van de positie van de circulatieroosters natuurlijk het meest in

conc (KVE/m³)



bovenaanzicht y = 1.250 m



voor-aanzicht z = 3.500 m



voor-aanzicht z = 4.500 m

Contaminatieverdeling op enkele doorsneden in de aangepaste configuratie. (vervolg)

-FIGUUR 13B-

het oog springend. Bij aanvang van het onderzoek werden juist het plenum-ontwerp en de plenumcondities als de belangrijkste ontwerpvariabelen beschouwd.

De toepassing van de CFD-techniek bij een toetsing van een operatiekamer-ontwerp aan de toekomstige normering staat momenteel nog ter discussie. De hier getoonde resultaten geven een indruk van de mogelijkheden.

NASCHRIFT

De constructieve inbreng van dhr. Ham, als adviseur van TNO Bouw, bij dit onderzoek wordt zeer gewaardeerd. 

REFERENTIES

1. Ham, Ph.J. 1995. *Het thermisch comfort in de operatiekamer*, Tijdschrift voor Hygiëne en Infectiepreventie, vol. 95-3, pp. 77-80.
2. Ham, Ph.J. 1999. *Tracergastechieken – Onderzoek naar het contaminatierisico in OK's*, TVVL Magazine, vol. 11, pp. 36-44.
3. Ham, Ph.J. 2000. *persoonlijke communicatie*, TNO Bouw, Delft.
4. Ham, Ph.J. en Kastelein, J. 1999. *Relatie tussen deeltjes en bacteriën in de OK*, TVVL Magazine, vol. 11, pp. 72-89.
5. Huiskamp, H. 2001. *Is de operatiekamer luchtkwaliteit te optimaliseren?*, Technologie in de Gezondheid, nr. 1, jr. 17, pp. 8-10.
6. Lemaire, A.D. et al. 1993. *Room air and contaminant flow, Evaluation of Computational Methods*, IEA Annex 20, Subtask-1 Summary Report, TNO-Bouw, Delft.
7. Lemaire A.D., Ham, Ph.J. en Luscure, P.G. 1996. *Evaluation of computer flow modelling in operating theatres*, Proc. 13th International Symposium on Contamination Control, Den Haag, pp 585-592.
8. Luscure, P.G. 1992. *Luchtstromingsbeheersing in operatiekamers*, Syllabus luchtbeheersing in operatiekamers, Vereniging Contamination Control Nederland.
9. Murakami, S., Kato, S., Nagano, S. en Tanaka, Y. 1992. *Diffusion characteristics of airborne particles with gravitational settling in a convection-dominant indoor flow field*, ASHRAE Transactions, vol. 98 part 1, pp.82-97.
10. Wiegersma, N. 1978. *Bacterietransport in operatiekamers*; Eindverslag

van het project dat ten doel had de efficiëntie van ventilatiesystemen in operatiekamers in bacteriologische zin te beoordelen, IG-TNO, rapport F1478, Delft, Nederland.

- ¹ Geen warmte-uitwisseling met de omgeving binnen en buiten de operatiekamer.
- ² Deze leden van het operatieteam zijn niet fysiek gemodelleerd.