

U.D.C. 697.957:725

LUCHTVERDELING IN OPERATIEKAMERS

P.A. Bossers

---

## I N H O U D

1. INLEIDING
2. DE NOODZAAK VAN MECHANISCHE VENTILATIE
3. WIJZE VAN LUCHTTOEVOER
4. HET "LAMINAR FLOW SYSTEM"
5. HET "LAMINAR FLOW" SYSTEEM IN OPERATIEKAMERS
6. METINGEN IN EEN OPERATIEKAMER IN ROTTERDAM
7. ONDERZOEK IN EEN OPERATIEKAMER NAAR TNO-MODEL
8. SLOTOPMERKINGEN
9. LITERATUUR

## 1. INLEIDING

Iedere ingreep in het menselijk lichaam brengt voor degene die deze ingreep moet ondergaan zekere gevaren mee. Eén van deze gevaren is de mogelijkheid om door besmetting met bacteriën die zich in de lucht in de operatiekamer bevinden een infectie op te lopen die meestal zal leiden tot een langere verpleegduur en persoonlijk ongerief. Hoewel in de loop der jaren de omstandigheden in de operatiekamers zo sterk zijn verbeterd dat het optreden van post-operatieve infecties beperkt blijft tot hoogstens enkele procenten van het totaal aantal behandelenden, geven de volgende cijfers een indruk van de grote menselijke en economische belangen die bij een verdere verbetering zouden zijn gediend. De kosten verbonden aan de behandeling van post-operatieve infecties werd in 1961 op ongeveer 50 miljoen gulden geschat bij de Britse Nationale Gezondheidszorg [1]. In een ziekenhuis in Australië trad bij 144 patiënten in een periode van 42 weken een infectie op die leidde tot een totaal aantal extra verpleegdagen van 1939. Voor dit ziekenhuis met 30 bedden komt dit overeen met het sluiten van het ziekenhuis voor nieuwe patiënten gedurende 9 weken [2].

Gezien de enorme kosten, het toch al aanwezige tekort aan bedden en niet in het minst de menselijke faktor is een verder onderzoek tot verbetering van de omstandigheden in operatiekamers zeker verantwoord.

## 2. DE NOODZAAK VAN MECHANISCHE VENTILATIE

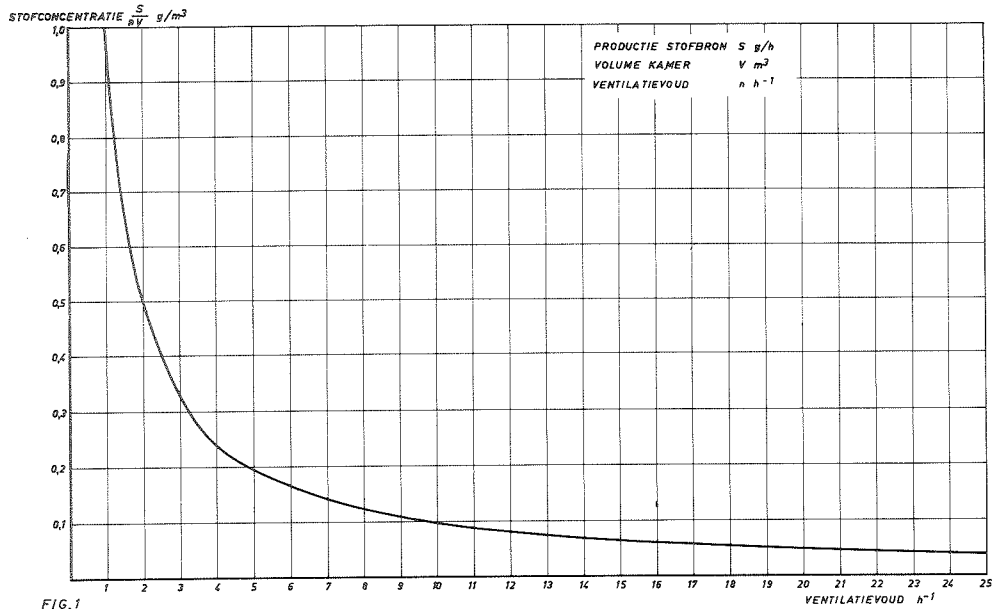
Hoewel de normale buitenlucht zeer weinig ziekteverwekkende bacteriën bevat en op grond daarvan gedacht zou kunnen worden aan natuurlijke ventilatie via de ramen, is deze vorm van ventilatie te veel afhankelijk van toevallige factoren zoals de windrichting en -snelheid om daarop te kunnen vertrouwen. Immers bij bepaalde windrichtingen is het mogelijk dat lucht vanuit de rest van het ziekenhuis de operatiekamer binnendringt en deze lucht is aanzienlijk minder "schoon" dan de buitenlucht.

Bovendien is mechanische koeling bij natuurlijke ventilatie niet mogelijk hetgeen, vooral bij de moeilijke operaties waarbij veel warmte-ontwikkende apparatuur gebruikt wordt en het operatieteam uit veel personen bestaat, tot een onaanvaardbaar hoog temperatuurniveau zou leiden.

Het toepassen van mechanische ventilatie geeft de mogelijkheid om de toe te voeren lucht tot een zeer hoge graad van zuiverheid te filteren. De in de operatiekamer aanwezige personen, waaronder ook de patiënt zelf, scheiden betrekkelijk grote hoeveelheden stof af waarop zich bacteriën kunnen bevinden. Afhankelijk van de mate van beweging van de personen kunnen enkele miljoenen stofdeeltjes met een grootte van  $0,3 \mu$  en groter per minuut vrijkomen. Omdat kan worden aangenomen dat de kans op het besmetten van de wond door bacteriën uit de lucht ongeveer recht evenredig zal zijn met het aantal bacteriën in de lucht zou het werken met zeer hoge ventilatievouden om de concentratie te verlagen voor de hand liggen. Zoals echter bij alle verdunningen verloopt de stofconcentratie niet evenredig met het ventilatievoud. In figuur 1 is dit aanschouwelijk voorgesteld, waarbij is aangenomen dat de verontreinigingsbron een constante produktie heeft en volledige menging optreedt. Uit deze figuur kan worden afgelezen dat onder deze omstandigheden grotere ventilatievouden dan ongeveer 15 weinig effect hebben. Hoewel het temperatuurniveau niet onbelangrijk is, behoeft het geen nader betoog, dat bij operatiekamers van gemiddelde grootte en deze mate van ventilatie, de hoeveelheid lucht ruimschoots in staat moet zijn om de overtollige warmte af te voeren zonder dat dit tot zeer lage inblaastemperaturen behoeft te leiden.

Als door verhoging van het ventilatievoud geen adequate vermindering van de bacteriënconcentratie kan worden bereikt zal op andere wijze dit probleem moeten worden benaderd. Een logische conclusie uit de redenering die aan figuur 1 ten grondslag ligt is, dat om een lagere bacteriënconcentratie bij een bepaald ventilatievoud te krijgen, dit plaatselijk zou kunnen gebeuren door de luchttoevoer op zodanige wijze te doen geschieden dat geen volledige menging optreedt. Dit houdt in dat het luchtstromingspatroon in de kamer zodanig moet zijn, dat een stabiele stroom zuivere lucht bij de patiënt aankomt.

VERBAND TUSSEN VENTILATIEVOUD EN STOFCONCENTRATIE BIJ VOLLEDIGE MENGING EN CONSTATE STOFTOEVOER



### 3. WIJZE VAN LUCHTTOEVOER

In vele landen werden systemen uitgedacht en geprobeerd om te komen tot een stromingsvorm van de lucht zodanig, dat de bacteriënconcentratie bij de patiënt lager is dan het gemiddelde in de gehele kamer. Merkle heeft een aantal vormen van luchttoevoer in operatiekamers verzameld en aangegeven hoe de lucht in die operatiekamers zou bewegen. [3]. Opvallend bij de geschetste mogelijkheden zijn twee dingen namelijk de aangegeven luchtstralen hebben geen inductie d.w.z. ze zuigen op hun weg door de ruimte geen kamerlucht mee en er bevinden zich geen personen in de kamer die door hun warmte-afgifte het stromingspatroon zouden kunnen beïnvloeden. De door Merkle geschetste systemen zullen juist door de straalvorm van de luchttoevoer tot een tamelijk intensieve menging van deze gezuiverde lucht en de kamerlucht leiden.

Ook in Groot-Brittannië is onderzoek gedaan naar de luchtstroming in operatiekamers en wel op zeer systematische wijze. Gedachtig aan het gestelde in de laatste alinea van 2, namelijk dat de toegevoerde lucht zich zo min mogelijk moet mengen met de aanwezige kamerlucht heeft men gestreefd naar een beweging van de lucht van boven naar beneden als een zuiger in een cilinder. Bij een proefopstelling waarbij via een geperforeerd plafond werd ingeblazen waren ook modellen van mensen betrokken bestaande uit verwarmde cilinders. Bij deze proeven bleek dat juist bij de operatietafel door de warmte-afgifte van het operatieteam een stagnatie in de luchtbeweging optrad. De toegevoerde lucht stroomde hoofdzakelijk langs de wanden naar beneden terwijl ter plaatse van het operatieteam een opstijgende luchtbeweging optrad. Rondom het operatieteam was de luchtbeweging zo gering dat de rook die werd gebruikt om de stroming zichtbaar te maken in lagen bleef hangen. [4].

Ook in de praktijk van ons Instituut zijn wij met een soortgelijk systeem geconfronteerd, merkwaardigerwijze niet vanwege de zuiverheid van de lucht, maar door het onaangename klimaat bij de operatietafel. Bij de betreffende kamer werd de lucht gelijkmatig verdeeld over het plafond toegevoerd namelijk door strippen met gaatjes rondom de plafondtegels. Met rook kon worden aangetoond dat bij enige concentratie van personen rondom de operatietafel ter plaatse een luchtstroming naar boven plaatsvond.

Temperatuurmetingen tijdens operaties toonden aan dat het temperatuurniveau van de lucht bij de hoofden van het operatieteam  $4,8^{\circ}\text{C}$  kon liggen boven het niveau in de rest van de kamer [5].

Omdat het grootste gedeelte van de stofbron (en bron van bacteriën) gevormd wordt door het lichaamsgedeelte onder het middel en het stof dus a.h.w. uit de broekspijpen van het operatieteam "regent", is de kans groot dat met dit systeem het omgekeerde wordt bereikt van wat er mee werd beoogd, namelijk de stofconcentratie bij de patiënt lager houden dan overeenkomt met volledige menging. Immers, in de betrekkelijk geringe hoeveelheid opstijgende lucht bevindt zich een groot gedeelte van de produktie van de stofbronnen. Slechts datgene wat van de huid van het gelaat en van het hoofdhaar (voorzover niet bedekt) vrijkomt, kan de patiënt niet bereiken.

Met behulp van de resultaten van de modelproeven van Linke [6] kan worden aangetoond dat met deze mate van ventilatie en warmtebelasting niet bereikt kan worden, dat zich een gelijkmatige stabiele stroming van boven naar beneden instelt. Bij de proeven van Linke werd als kenmerkende grootheid het kental van Archimedes gehanteerd, dat als volgt werd berekend:

$$Ar = \frac{g \Delta t \times 3,6^2 \times 10^6}{T \times H \times n^2}$$

waarin:

$g$  = versnelling van de zwaartekracht in  $\text{m/s}^2$

$\Delta t$  = temperatuurverschil tussen toevoerlucht en de lucht in het midden van het vertrek in  $^{\circ}\text{C}$

$T$  = absolute temperatuur in K

$H$  = hoogte van de ruimte in m

$n$  = aantal luchtwisselingen per uur

Het bleek dat een gelijkmatige stroming van boven naar beneden bereikt kon worden tot een waarde van  $Ar = 46$ . Daarboven vormde zich een wervel in de kamer.

Voor de door ons onderzochte operatiekamer met een ventilatievoud van ongeveer 12, een hoogte van 3,5 m, een ruimtetemperatuur van  $20^{\circ}\text{C}$  en een warmtebelasting door personen, verlichting en apparatuur van 3000 kcal/h is het getal van Archimedes = 3450.

Het behoeft dus geen verwondering te wekken dat de stroming die men zich had voorgesteld niet optrad.

Van zeer praktische waarde voor het vaststellen met welk ventilatievoud bij een bepaalde gelijkmatig over het vloeroppervlak verdeelde warmtebelasting in een ruimte moet worden gewerkt om een stabiele stroming van boven naar beneden te bewerkstelligen, is de manier waarop Regenscheit [7] het Ar-getal berekende, namelijk:

$$Ar = \frac{3,6^2 \times 10^6 \times g}{c_p \times T \times \rho} \cdot \frac{Q}{n^3 \times F_r \times H^2}$$

Hierin is:

$c_p$  = soortelijke warmte in kcal/kg °C

$\rho$  = soortelijke massa van de lucht in kg/m<sup>3</sup>

Q = warmtebelasting in kcal/h

$F_r$  = grondvlak van de beschouwde ruimte in m<sup>2</sup>

In de grafiek (fig. 2) is het ventilatievoud als functie van het Ar-getal weergegeven met als parameter:

$$\frac{Q}{F_r H^2}$$

In het boven berekende concrete geval met een  $F_r = 60 \text{ m}^2$  is:

$$\frac{Q}{F_r H^2} = 4,07$$

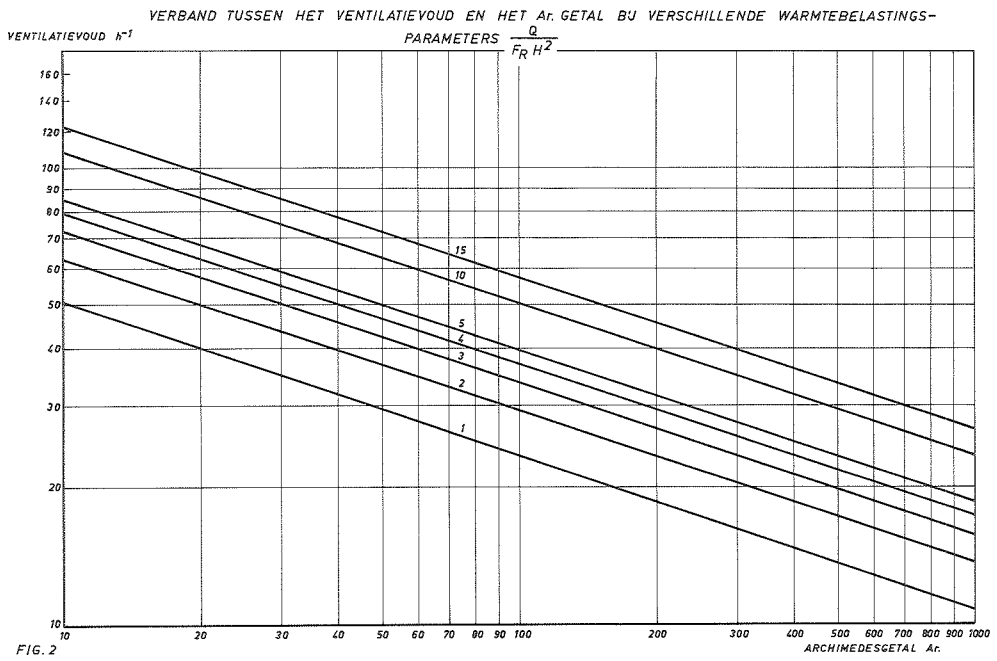
hetgeen bij een grenswaarde van  $Ar = 46$  leidt tot een minimaal ventilatievoud van meer dan 50.

Conclusie: Alleen bij zeer hoge ventilatievouden zal een benedenwaartse stroming gehandhaafd blijven.

#### 4. HET "LAMINAR FLOW SYSTEM"

Los van de onderzoeken in operatiekamers werden, vooral in de Verenigde Staten, stofarme ruimten ontwikkeld om tegemoet te komen aan de hoge eisen van de elektronische industrie en de ruimtevaart.





Ook hierbij ging men oorspronkelijk uit van het toevoeren van de lucht door middel van roosters, anemostaten e.d. waarbij met grote ventilatievouden werd getracht de gemiddelde stofconcentratie zeer laag te houden. Tot alleszins bevredigende resultaten leidde dit niet, omdat toch de stofconcentratie door de interne circulatie in de ruimte te hoog bleef.

Een nieuwe generatie stofarme ruimten ontstond met de invoering van het zgn. "laminar flow system". De stofarme ruimte kan hierbij worden gezien als een verwijding in een pijp waarbij filters met een zeer hoog rendement zorgen voor de toevoer van stofvrije lucht en tevens voor een goede verdeling van de lucht over de gehele "pijp"-doorsnede. Het voordeel van dit systeem is het éénrichting verkeer, d.w.z. een stofdeeltje kan niet voorkomen op een plaats waar het al eerder geweest is want er is geen interne circulatie in de ruimte. Hoe verder van de filterbatterij verwijderd hoe meer verontreinigd de lucht zal zijn, afhankelijk van de produktie van de stroomopwaarts gelegen stofbronnen:

Er vinden bij dit systeem twee methoden van luchttoevoer toepassing namelijk:

- a) toevoer vanuit het plafond en afzuiging door de vloer (down-flow)
- b) toevoer vanuit een wand en afzuigen via de tegenoverliggende wand (cross-flow)

Om de invloed van plaatselijke warmtebronnen (bijvoorbeeld personen) op de totale stroming te vermijden wordt als luchtsnelheid gemiddeld over de doorsnede van de ruimte aangegeven 0,45 m/s waarbij de afwijking van het gemiddelde niet groter mag zijn dan 0,1 m/s. [8].

Voor een ruimte met een hoogte van 3 m (in het geval van down-flow) betekent dit een ventilatievoud van 540.

De uitstekende resultaten van het "laminar flow" systeem met betrekking tot de stofconcentraties leidden er toe dat, ondanks de zeer hoge kosten (dure filters in grote oppervlakken en een grote installatie), pogingen werden gedaan het systeem toe te passen in operatiekamers.

##### 5. HET "LAMINAR FLOW" SYSTEEM IN OPERATIEKAMERS

Voor zover bekend is alleen in de Verenigde Staten systematisch onderzoek gedaan aan de toepassing van "laminar flow" in operatiekamers. Onder andere Fox [9] heeft een onderzoek verricht in een gemodificeerde cross-flow kamer. De modificatie bestond hierin dat het afzuigen niet geschiedde via de wand tegenover de filterwand maar via roosters in het plafond nabij de tegenoverliggende wand. Hierdoor bleef de wand beschikbaar voor toegangsdeuren e.d. De stroming in de kamer ondervond overigens weinig hinder van deze wijziging, zeker ter plaatse van de operatietafel. Uit de resultaten komt duidelijk het nadeel van cross-flow voor deze toepassing tot uitdrukking namelijk de grote invloed die de stof (bacterie)-concentratie ter plaatse van de operatietafel ondervindt, afhankelijk van de opstelling van het operatieteam.

Bij down-flow is niet de opstelling kritisch maar hierbij vormen de operatielamp(en) een storende faktor in de luchtstroming en is de kans groter dat bacteriën afkomstig van het hoofd en de armen van de chirurg de wond bereiken.

Overigens is het toepassen van down-flow over een gehele operatiekamer niet mogelijk, omdat de roostervloer, die daarbij nodig is voor de afvoer van de lucht, in een operatiekamer wegens de moeilijkheden met schoonmaken niet kan worden toegelaten. Vandaar dat slechts een gedeelte van het plafond wordt uitgevoerd met luchttoevoer-filters en dit gedeelte van de rest van de kamer wordt gescheiden door doorzichtige kunststof gordijnen. De afvoer van de lucht vindt plaats via de opening tussen de onderkant van de gordijnen en de vloer (fig.3). Met deze opstelling werden zeer lage waarden voor de bacterieconcentratie bij de wond bereikt waarbij de onderzoekers in hun verslag [10] terecht opmerken, dat het aantal bacteriën dat de wond zou kunnen bereiken ondanks de lage concentratie, door de grote luchthoeveelheid groter kan zijn dan men op grond van de bacteriënconcentraties zou verwachten. Zij stellen echter dat onderzoekingen van Whitcomb hebben aangetoond dat de kleine deeltjes waar het hier om gaat bij het om buigen van de luchtstroom boven de patiënt niet worden uitgeslingerd, maar met de lucht worden meegevoerd.

„DOWN FLOW“ OPERATIEKAMER MET MECHANISCHE SCHEIDING TUSSEN  
BINNEN-EN BUITENZE

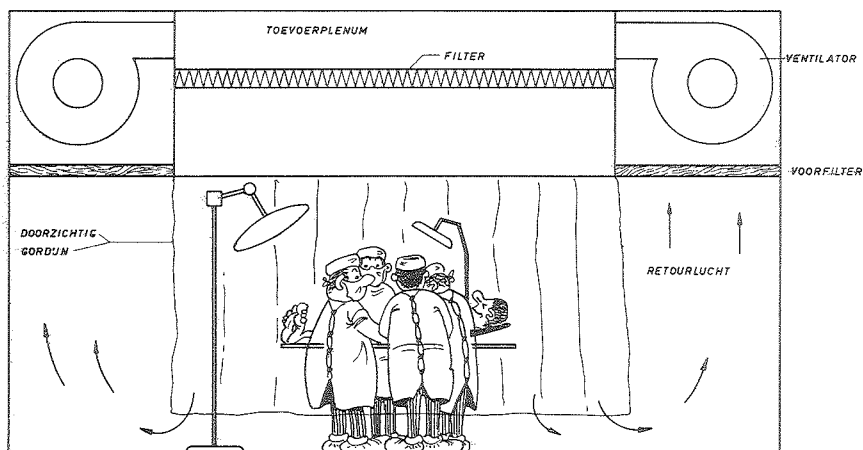


FIG. 3

Ook onderzoek bij het Radiobiologisch Instituut TNO wijst in deze richting.

De toepassing van een mechanische afscherming tussen het schone gebied en de rest van de kamer, zoals het kunststof gordijn, stuit nogal op bezwaren met betrekking tot de moeilijkheden met schoonmaken van het gordijn.

Dit leidde er toe dat geprobeerd werd de mechanische afscherming te vervangen door luchtschermen.

Uit een spleetvormige opening rondom de binnenzône wordt daartoe lucht met een zekere snelheid naar beneden uitgeblazen, terwijl ook via het plafond binnen de luchtschermen lucht wordt toegevoerd.

In de Medische Faculteit in Rotterdam zijn enige operatiekamers op deze wijze uitgevoerd en dank zij de medewerking van zowel de Faculteit als de adviseur en installateur zijn wij in de periode van april tot en met juli 1970 in de gelegenheid geweest metingen in zo'n operatiekamer uit te voeren.

#### 6. METINGEN IN EEN OPERATIEKAMER IN ROTTERDAM

De operatiekamer met een oppervlak van  $7 \times 6 \text{ m}^2$  werd door het rechthoekig luchtscherm verdeeld in een binnenzône van  $2,5 \times 3,2 \text{ m}^2$  en een buitenzône. Alleen via de spleten van het luchtscherm en via het plafond van de binnenzône werd lucht toegevoerd. De totale hoeveelheid lucht was  $3680 \text{ m}^3/\text{h}$ , waarvan  $2260 \text{ m}^3/\text{h}$  voor het luchtscherm werd gebruikt. De overige lucht werd aan de binnenzône toegevoerd via 28 rijen gaatjes die een diameter hadden van 6 mm. De verdeling van de gaatjes over het plafond van de binnenzône is weergegeven in figuur 4. De warmtebelasting werd geïmiteerd door in plaats van apparatuur dozen te plaatsen die inwendig werden verwarmd met gloeilampen en in plaats van personen overalls op statieven te plaatsen die inwendig werden verwarmd met 2 gloeilampen van elk 60 W. Op deze wijze kwamen zowel de warmteproductie als de temperatuur aan de buitenkant van de "poppen" goed overeen met de belasting en temperatuur gemeten aan een licht gekleed mens bij middelmatig zware arbeid. De opstelling van de geïmiteerde apparatuur werd vastgesteld met behulp van personeel van het ziekenhuis en de totale opstelling is weergegeven in fig. 5.

De resultaten van de metingen aan de luchtstromingspatronen waren teleurstellend als een scheiding in een binnen- en buitenzône als doel werd gesteld. De fig. 6 en 7 geven de richtingen en snelheden weer in twee onderling loodrechte doorsneden ongeveer op de symmetrieassen van de kamer.

Ook uit de metingen met bacteriën, die met behulp van waterstof werden verspreid midden tussen het operatieteam ter hoogte van de hoofden, kon geen verschil tussen binnen- en buitenzône worden afgeleid. Het versproeien van de bacteriën met waterstof werd gedaan om naast de metingen met bacteriën een methode te hebben die het vermengen van de lucht in de operatiekamer kan aangeven. Het inbrengen van een tracergas in een ruimte en de concentratie daarvan te meten met katharometers is een methode die bij de Afdeling Binnenklimaat wordt gebruikt om ventilatiemetingen te doen. Op zes verschillende plaatsen in de kamer werden katharometers geplaatst.

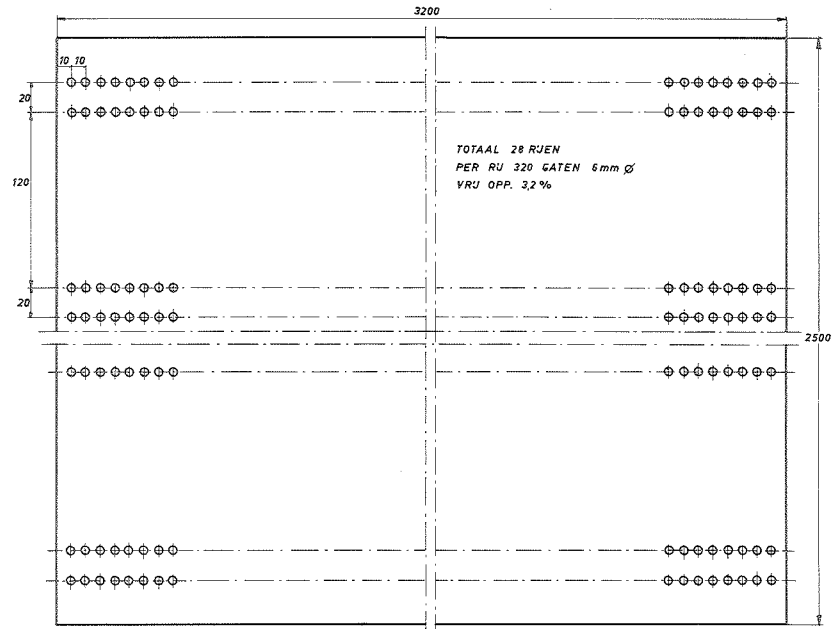
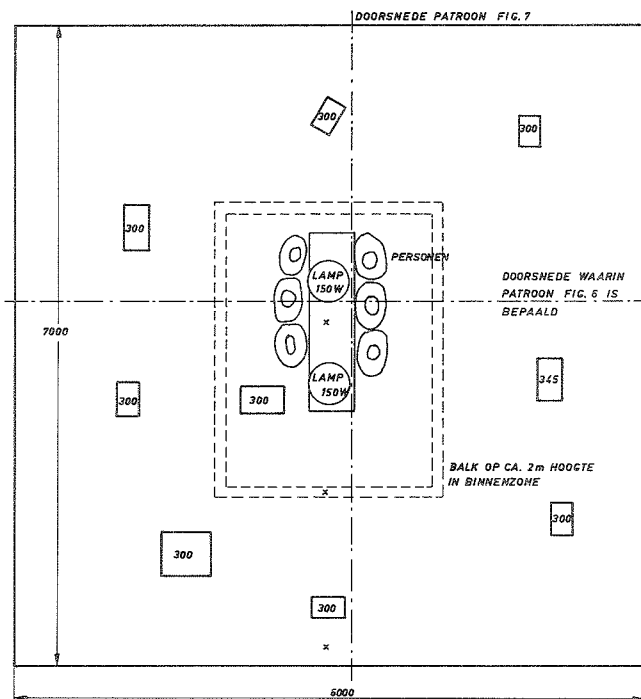


FIG.4 PERFORATIE IN PLAFOND VAN BINNENZONE IN O.K. IN ROTTERDAM

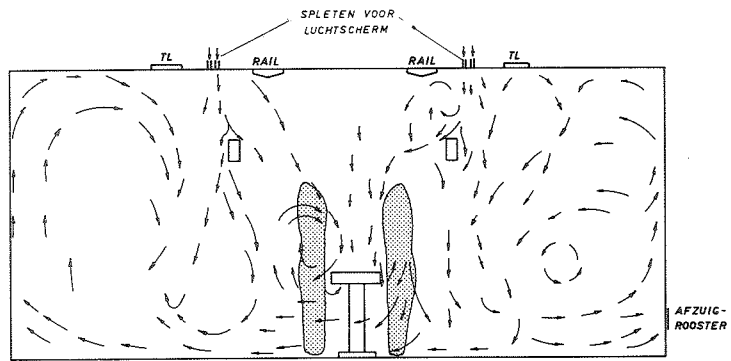
PERSONEN ELK 120 W  
GETALLEN IN RECHTHOEKEN  
GEVEN WARMTEBELASTING AAN



OPSTELLING VAN WARMTE PRODUCERENDE APPARATEN  
EN PERSONEN BIJ METINGEN IN O.K. IN ROTTERDAM

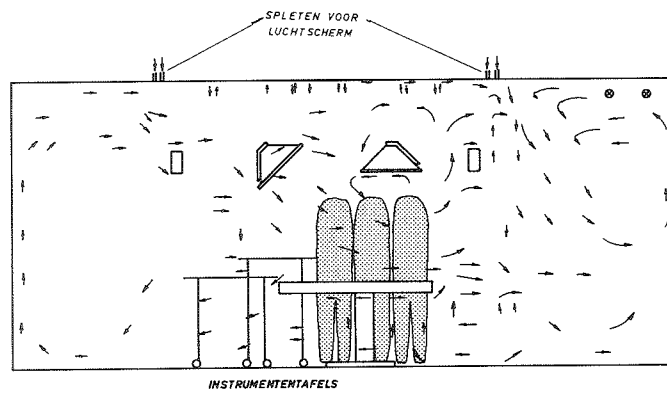
FIG. 5





GEMETEN LUCHTSTROMINGSPATROON IN O.K. IN ROTTERDAM (dwars op lengte-as operatietafel)

FIG. 6



GEMETEN LUCHTSTROMINGSPATROON IN EEN O.K. IN ROTTERDAM (evenwijdig aan lengte-as operatietafel)

FIG. 7

Terwille van de duidelijkheid zullen slechts drie ervan in beschouwing worden genomen namelijk één in de buitenzône op 0,80 m van de vloer, één op de rondgaande balk in de binnenzône op 2,30 m van de vloer en één op de operatietafel midden tussen het operatieteam. Het elektrisch signaal, dat door de katharometers wordt afgegeven en dat recht evenredig is met de waterstofconcentratie, werd registrerend gemeten. Het concentratieverloop is weergegeven in fig. 8. Ook hier is geen verschil te zien tussen het concentratieverloop in binnen- en buitenzône. De helling van de lijnen is een maat voor het ventilatievoud en dit blijkt dus voor de gehele ruimte gelijk te zijn. De helling behorend bij het gemiddeld ventilatievoud, zoals dit is berekend uit het verloop van de bacterieconcentratie, is ook in deze figuur opgenomen en heeft dezelfde waarde als de waterstoflijnen. De golvingen in het verloop zijn het gevolg van het steeds opnieuw bij de katharometers aankomen van een rondwervelende wolk waterstof. Het falen van het systeem moet o.i. hoofdzakelijk aan twee oorzaken worden geweten:

- a) de geringe snelheid in de binnenzône waardoor thermische krachten een te grote rol kunnen spelen,
- b) de grote inductie van de gaatjes in het plafondpaneel van de binnenzône.

Als de luchthoeveelheid die aan de binnenzône wordt toegevoerd verdeeld wordt gedacht over het gehele oppervlak van de binnenzône zou slechts een verticale snelheid van 0,05 m/s kunnen worden bereikt. Ook over het tweede punt kunnen we kort zijn; het mag algemeen bekend worden verondersteld dat gaatjespanelen een zeer hoge inductie hebben, d.w.z. er wordt veel lucht door de straaltjes meegesleurd.

Als de inductiefactor op 4 wordt verondersteld, dan zal de toegevoerde lucht ( $1420 \text{ m}^3/\text{h}$ ) bijna  $6000 \text{ m}^3/\text{h}$  aanzuigen. Zelfs al zou er geen menging plaatsvinden tussen de lucht van het luchtscherm en de kamerlucht dan zou de schone lucht uit het scherm niet voldoende zijn om de behoefte aan inductielucht van de binnenzône te dekken. Daardoor ontstaat reeds dicht bij het plafond een stroming naar de binnenzône toe en treedt er eenzelfde mengproces met lucht uit de buitenzône op alsof met roosters of anemostaten zou worden ingeblazen.

CONCENTRIEVERLOOP VAN TRACER-GAS OP DRIE PLAATSEN IN EEN O.K. IN ROTTERDAM

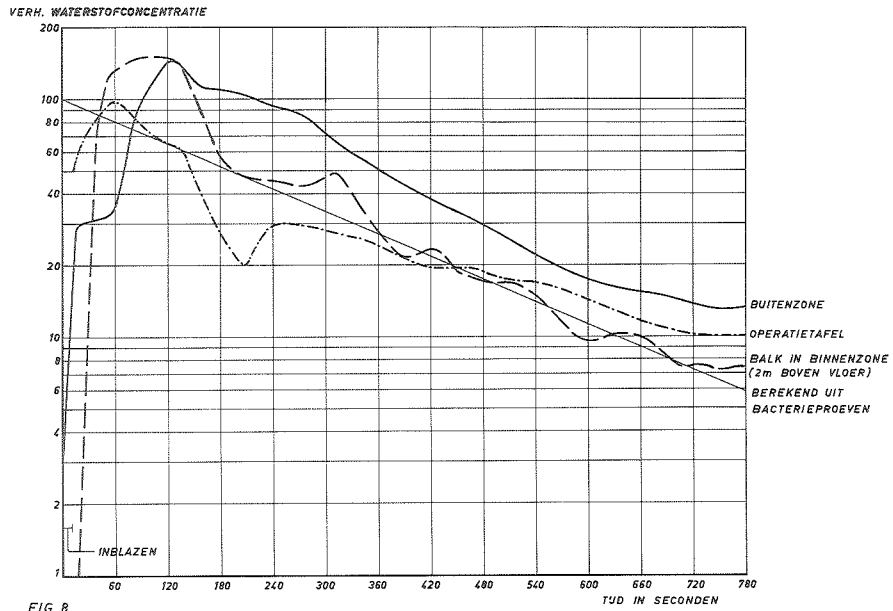


FIG. 8

Bij de benadering van het probleem hoe een schone zône gecreëerd kan worden is de Afdeling Binnenklimaat steeds van twee principes uitgegaan, die door onvoldoende capaciteit van de beschikbare, bestaande installaties niet konden worden geëffectueerd en waarop ook de installatie in Rotterdam niet was berekend, namelijk het maken van:

- a) een "down-flow" systeem met de daarbij behorende snelheid van 0,45 m/s echter zonder mechanische afscheiding tussen binnen- en buitenzône,
- b) een luchtstraal met zo min mogelijk inductie om menging zoveel mogelijk te vermijden.

Omdat, zoals reeds werd opgemerkt, geen van de bestaande installaties voldoende lucht kon leveren om op een voldoende grote doorsnede een snelheid van 0,45 m/s te verkrijgen, is een model van een operatiekamer op ware grootte gemaakt waarmee getracht is bovengenoemde principes te verwezenlijken.

Omdat, vooral bij een "down-flow" systeem, de grote operatielampen een storende factor vormen is, in samenwerking met dr. Timmermans van de Nederlands Hervormde Diaconesseninrichting te Meppel, ook dit probleem bij de modelproeven ter hand genomen.

#### 7. ONDERZOEK IN EEN OPERATIEKAMER NAAR TNO-MODEL

Als uitgegaan wordt van eerdergenoemde principes is de enige mogelijkheid om een zône met schone lucht te verkrijgen de kern van een luchtstraal. Zoals bekend bestaat een luchtstraal uit een kern waarin de snelheid gelijk is aan de uitblaassnelheid en een mantel waarin de snelheid lager is en waarin zich een mengsel bevindt van de uitgeblazen (in dit geval schone) lucht en geïnduceerde lucht uit de ruimte. Met toenemende afstand van de uitblaasopening neemt de doorsnede van de kern af en die van de mengzône toe. Afhankelijk van de turbulentiegraad van de uitgeblazen lucht zal het mengproces zich langzamer of sneller afspelen. Bovendien zal lucht met een snelheid loodrecht op de uitblaasrichting het mengproces versnellen.

Wordt in een door wanden omsloten ruimte uit een van de omsluitende vlakken een luchtstraal uitgeblazen, dan zal zich een stroming instellen zoals schematisch in fig. 9 is weergegeven. Automatisch vormt zich aan het begin van de straal een stroming dwars op de uitblaasrichting, die, zoals hierboven is vermeld, een niet gewenste versnelling van het mengproces veroorzaakt. Het is echter mogelijk om door het aanbrengen van een keerschot de dwarsstroming om te buigen in de uitblaasrichting, waardoor zelfs winst wordt geboekt t.a.v. het mengproces omdat het snelheidsverschil tussen luchtstraal en omgeving wordt verminderd en dus minder energie uit de luchtstraal wordt gebruikt om lucht uit de omgeving te versnellen.

Daar de lengte van de kern 4 - 6 maal de breedte van de uitblaasopening bedraagt is het mogelijk om uitgaande van de gewenste grootte van de schone zône de maten van de uitblaasopening te berekenen.

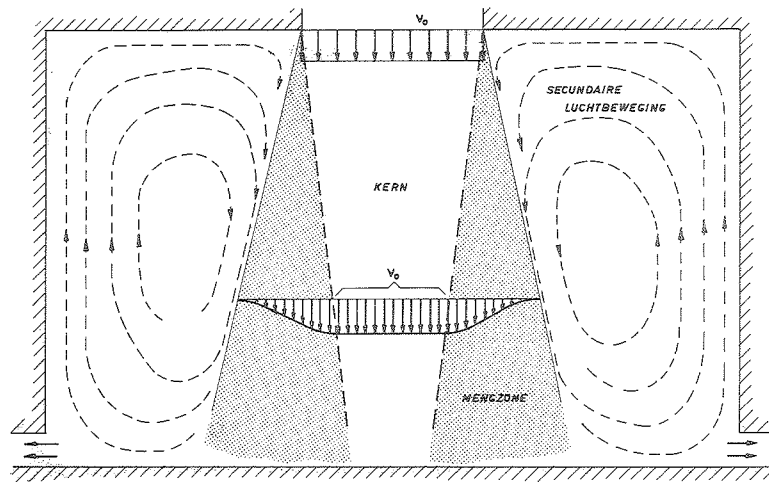
Uitgegaan is van het volgende:

- a) op de hoogte van de bovenkant van de operatietafel moet het kernoppervlak circa  $1,5 \times 2,5 \text{ m}^2$  zijn,
- b) de onderrand van het keerschot moet zich minimaal 2 m boven de vloer bevinden.

Bij een hoogte van de operatiekamer van 3 m is de afstand tussen onderrand keerschot en bovenkant operatietafel ongeveer 1 m.

Bij een tophoek van de kern van  $20^\circ$  (pessimistische schatting) moeten de maten van de uitblaasopening zijn  $1,85 \times 2,85 \text{ m}^2$ . In verband met de verlichting, waarop nog nader wordt teruggekomen, is de keuze gemaakt om de uitblaasopening uit te voeren in de maten  $1,80 \times 3,08 \text{ m}^2$ . In het operatiekamermodel, dat een grondvlak van  $7 \times 7 \text{ m}^2$  heeft, kan het stromingspatroon zoals geschetst in fig. 10 worden verwacht. Naast de kernzône is gearceerd aangegeven het gebied waarin zich een mengsel van schone en kamerlucht zal bevinden.

Omdat de verlichting zo'n belangrijke rol speelt bij operaties en de huidige grote operatielampen bij een "down-flow" systeem een ernstig storende factor vormen is in deze proefopstelling, met behulp van de N.V. Rotterdamse Electriciteits Maatschappij v/h H. Croon en Co.,



LUCHTSTROMINGSPATROON OPGEWEXT DOOR EEN LUCHTSTRAAL IN EEN BESLOTEN RUIMTE  
FIG. 9

VERWACHT STROMINGSPATROON IN MODEL (TNO)

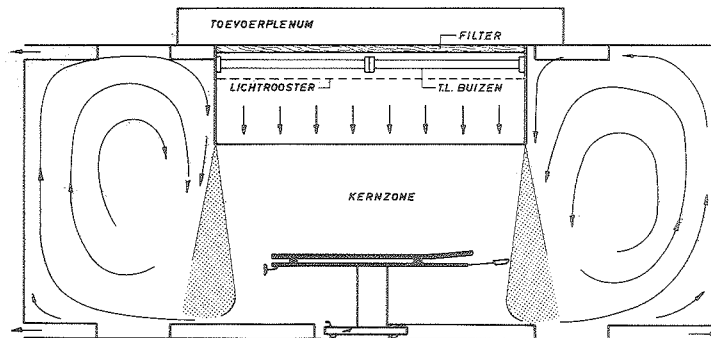


FIG. 10

een idee van dr. Timmermans verwezenlijkt, namelijk het in de straal aanbrengen van een groot aantal (40) T.L.-buizen van elk 65 W. Onder de batterij buizen is de gelijkmatige verdeling van de lucht verstoord. Om deze verstoring weer op te heffen is gebruik gemaakt van een rooster met goede lichttechnische eigenschappen.

Door Groon en Co. waren daarvoor drie typen uitgezocht die in voorbereidende proeven werden onderzocht op hun eigenschappen om de verstoorde stroming weer te herstellen. De beste resultaten bij deze proeven werden met het Paraflex-rooster bereikt. Het bleek op deze wijze echter niet mogelijk de vereiste lichtsterkte te verkrijgen die van een operatielamp wordt gevraagd namelijk minimaal 10.000 lux. Het zal dus toch noodzakelijk zijn een operatielamp met een kleiner oppervlak te ontwikkelen. Wel wordt met de bereikte verlichtingssterkte een goede verhouding verkregen tussen de verschillende verlichtingssterkten in de operatiekamer. Onderzoek door Hopkinson bij de British Building Research Station [12] geeft aan, dat de ogen minimaal worden belast bij een verhouding van de verlichtingssterkten tussen operatieveld, onmiddellijke omgeving en overig deel van de kamer van 100:30:3. Bij 10.000 lux op het operatieveld wordt dit in de onmiddellijke omgeving 3000 lux hetgeen fraai overeenkomt met de gemeten 3500 - 4000 lux in het model. Om de koellast te beperken is de voorschakelapparatuur buiten de operatiekamer ondergebracht. Tengevolge van de hoge kosten van absoluutfilters is in de modelopstelling van het gebruik hiervan afgezien. In plaats daarvan is, hoofdzakelijk voor de verdeling van de lucht, een laag van 5 cm Viledon aangebracht boven de T.L.-buizen.

In fig. 11 is een dwarsdoorsnede gegeven van het pakket waar doorheen de lucht wordt ingeblazen. Met deze opstelling kon onder de, door de keerschotten gevormde bak, een gelijkmatigheid van de stroming bereikt worden die voldeed aan de eisen genoemd in hoofdstuk 4.

De grootte van de warmtebelasting door apparatuur en personen en de opstelling ervan werd gelijk gehouden aan die bij de metingen in de Medische Faculteit te Rotterdam. De hoeveelheid lucht die werd toegevoerd was  $10.000 \text{ m}^3/\text{h}$  waardoor slechts een geringe temperatuurverhoging van de lucht optrad door de verlichting, namelijk minder dan  $1^\circ\text{C}$ .

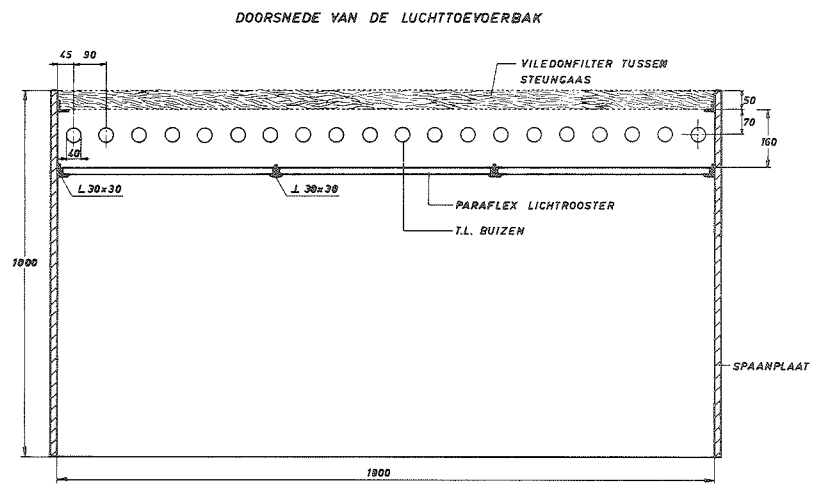


FIG. 11



Zoals uit fig. 12 en 13 is te zien in een dwarsdoorsnede en langsdoorsnede over de bak voldeed de stroming volledig aan de verwachtingen. Doordat de afvoeropeningen voor de lucht aan de onderkant van de buitenwanden waren gesitueerd en de inductie van de straal zelf laag was, was zelfs de doorspoeling in de buitenzône te gering zodat een gedeelte van de afvoeropeningen is verlegd naar de plafondzijde van de wanden. Aan de rookfoto van fig. 14 valt op dat de mengzône nog kleiner is dan bij de berekening is aangenomen. Evenals bij de metingen in de Medische Faculteit zijn met waterstof als tracergas metingen gedaan naar de verspreiding door de kamer van verontreinigingen. Indien waterstof in de buitenzône werd uitgeblazen kwam dit onder geen enkele omstandigheid in de binnenzône terecht. Bij toevoeren van waterstof tussen het operatieteam was een zeer duidelijk verschil te zien in ventilatievoud op de tafel en in de buitenzône. Ook onder de tafel werd een groot ventilatievoud gemeten hetgeen een waarborg is voor snelle afvoer van de verontreinigingen die daar vrijkomen (zie fig. 15). Eén van de problemen die zich zouden kunnen voordoen bij de toegepaste snelheid in de schone zône is een versneld uitdrogen van de wond. Snelheidsmetingen in de laag met een dikte van 10 cm boven de pop op de operatietafel geven echter een sterke verlaging van de snelheid in de onderste 5 cm te zien namelijk variërend van 0,11 m/s tot 0,16 m/s. Naast het voordeel van deze lagere snelheid in de buurt van de wand met betrekking tot de uitdroging ervan heft dit ook het mogelijk uitslingeren van stofdeeltjes grotendeels op. Het toepassen van een zo grote hoeveelheid lucht brengt uiteraard financiële consequenties met zich mee. Proeven met een kleinere hoeveelheid lucht ( $3200 \text{ m}^3/\text{h}$ ) toonden aan dat het systeem zijn werking dan volledig verliest en dat lucht uit de buitenzône zelfs gaat deelnemen aan een interne circulatie in de bak.

Het lijkt ons echter niet noodzakelijk de volledige hoeveelheid als verse lucht toe te voeren; een recirculatie van 60 à 70% kan zeker worden toegepast. In dat geval wordt nog altijd een ventilatievoud van ongeveer 20 (betrokken op de gehele kamer) met verse lucht gerealiseerd, hetgeen zeker voor de noodzakelijke verdunning van narcosegassen e.d. voldoende zal zijn.

STROMINGSPATROON IN MODEL VAN OPERATIEKAMER (TNO)  
DWARSDOORSNEDE

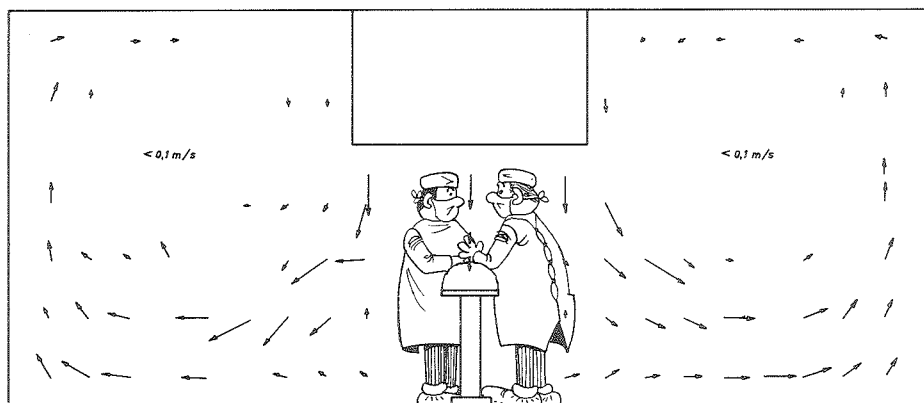


FIG. 12

SCHAAL -> 0,5 m/s

STROMINGSPATROON IN MODEL VAN OPERATIEKAMER (TNO)  
LANGSDOORSNEDE

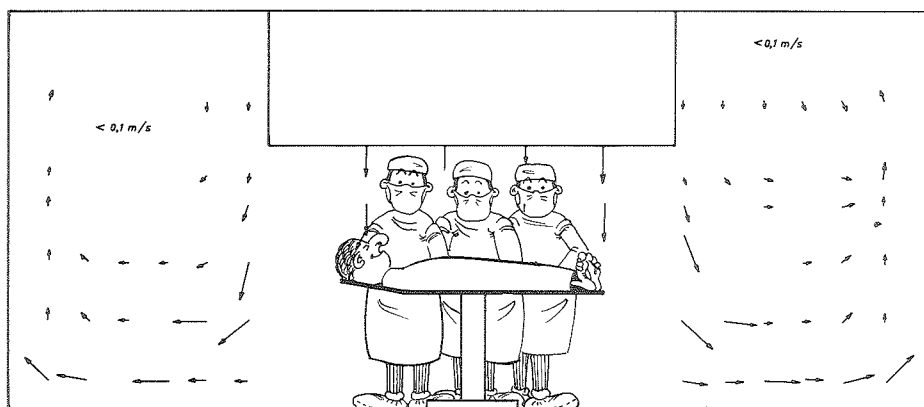


FIG. 13

SCHAAL -> 0,5 m/s

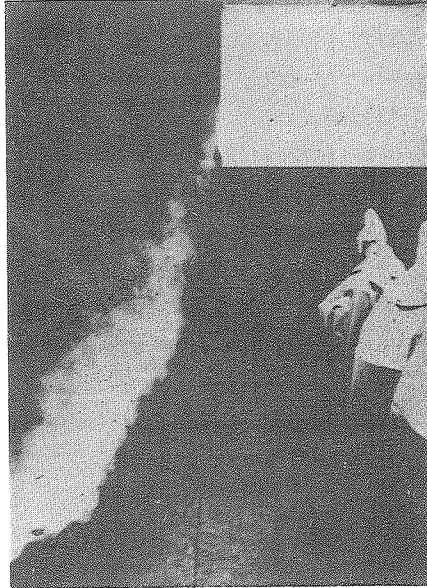
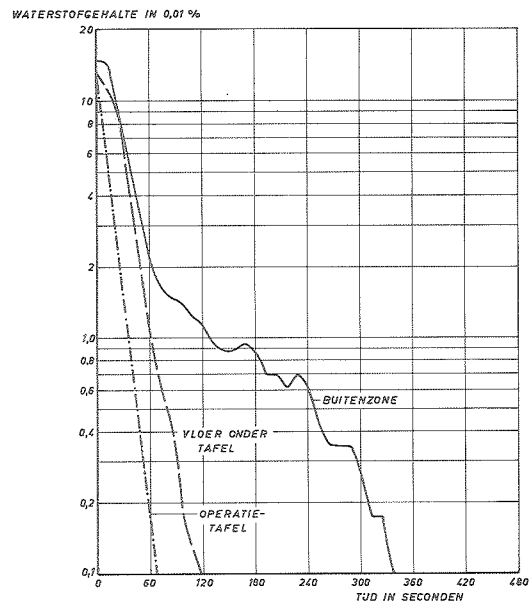


FIG. 14

DE LUCHTSTROMING OP DE GRENS TUSSEN BINNEN-  
EN BUITENZÔNE ZICHTBAAR GEMAAKT MET ROOK



CONCENTRATIEVERLOOP TRACERGAS OP DRIE PLAATSEN  
IN MODEL VAN OPERATIEKAMER

FIG. 15

Vanuit bacteriologisch standpunt is recirculatie, mits via absoluut-filters, niet verwerpelijk. Men zal echter bij het vervangen van de filters op deskundige wijze en met voorzichtigheid te werk moeten gaan en ook een regelmatige controle op de werking van de filters moeten instellen. Onderzoekingen van Whyte en Robertson [13] geven vertrouwen in de mogelijkheden van recirculatie.

Gezien de luchtsnelheden die in de binnenzône worden toegepast moet, om een behaaglijke toestand voor het operatieteam te creëren, de luchttemperatuur worden aangepast. In de "laminar flow" ruimten wordt volgens Federal Standard 209a [8] aanbevolen een temperatuur van 22°C. Dit geldt echter voor mensen die rustig zittend werk verrichten. In operatiekamers zal de temperatuur iets lager moeten zijn zoals bijv. ook is toegepast bij de onderzoekingen van Mc Dade e.a. [10].

In de daar beschreven operatiekamer werd gewerkt bij een temperatuur van 20°C. Om tegemoet te komen aan de persoonlijke behoefte aan een bepaald niveau zou de temperatuur van de ingeblazen lucht binnen enkele graden instelbaar moeten zijn. Door de aard van de kleding (tamelijk dicht) en het inspannende werk zal een effectieve temperatuur van 18 - 19 °C gewenst zijn. Bij een relatieve vochtigheid van 60% en een luchtsnelheid van 0,45 m/s is dan de luchttemperatuur 21 - 22 °C. Een instelbaarheid van de luchttemperatuur van 19 - 22 °C lijkt op grond van deze benadering voldoende te zijn. Een lagere instelling van de inblaastemperatuur, die waarschijnlijk toch niet gebruikt zal worden, verhoogt onnodig de kosten van de installatie.

Omdat het temperatuurniveau ter plaatse van het operatieteam bepalend is voor het welbevinden van het team ligt het voor de hand, dat de regeling geschiedt op grond van de daar gewenste temperatuur. Dit houdt in dat de thermostaat niet zoals meestal geschiedt in het afvoerkanaal wordt geplaatst, maar in het toevoerkanaal of het toevoerplenum.

Tenslotte een opmerking over een bouwkundige uitvoering van de toegang naar operatiekamers. Meestal worden mechanisch bediende klapdeuren toegepast die met vrij grote snelheid opengaan. De hierdoor onstane "windvlaag" zou een ogenblik de stromingstoestand bij de operatietafel ongunstig kunnen beïnvloeden.

Beter zou zijn het toepassen van schuifdeuren, die deze onhebbelijkheid niet bezitten, maar de tot nu toe bekende constructies zijn vrij moeilijk schoon te maken. Wellicht kan in de komende tijd een betere uitvoering worden ontwikkeld.

#### 8. SLOTOPMERKINGEN

In de Nederlands Hervormde Diaconesseninrichting te Meppel wordt een operatiekamer uitgevoerd op grond van de resultaten die in het model zijn verkregen. Zodra deze kamer gereed is zullen vergelijkbare metingen kunnen worden gedaan als in de Medische Faculteit te Rotterdam. De grote interesse van de chef-chirurg van het ziekenhuis, dr. Timmermans, voor dit projekt staat er borg voor, dat ook in het dagelijks gebruik opgedane ervaringen zullen worden genoteerd en te zijner tijd worden gepubliceerd.

Wij danken dr. D. van der Waaij (Radiobiologisch Instituut TNO), dr. C.J. Timmermans (Nederlands Hervormde Diaconesseninrichting), dr. J.L.R. Terpstra (Academisch Ziekenhuis Leiden), dr. P.A. Fredriksz (Medische Faculteit Rotterdam) en drs. J. Dankert (Academisch Ziekenhuis Groningen) voor de waardevolle gesprekken over de praktijk en bacteriologische zijde van de chirurgie waarbij is gebleken dat ondanks het veelbesproken verschil in vaktaal tot goede resultaten kan worden gekomen.

9. LITERATUUR

- [1] Barber, Mary  
Hospital infection yesterday  
and today  
1961 Journal of Clinical  
Pathology
- [2] May James, Chulmers J.P.,  
Louventhal John, Rountree  
Phyllis M.  
Factors in the patient  
contributing to surgical sepsis  
1966 Surgery, Gynaecology and  
Obstetrics
- [3] Merkle, Dipl.Ing. E.  
Lüftung von Krankenzimmern und  
Klimatisierung von Operations  
Räumen  
1963 Gesundheits-Ingenieur no.9
- [4] Stanley, E.E., Shorter, D.N.  
Cousins, P.J.  
A laboratory study of the down-  
ward displacement system of  
ventilation in operating theatres  
Laboratory Report no. 19 maart 1964  
Heating and Ventilating Res. Ass.
- [5] Bossers, P.A.  
De beheersing van luchtbevinging  
en klimaat in ziekenhuizen  
1969 TNO-nieuws no. 11
- [6] Linke, W.  
Lüftung von oben nach unten  
oder umgekehrt?  
1962 Gesundheits-Ingenieur no.5



