

klimaat installaties ziekenhuizen

SPEURWERK
ALS KRINGLOOP

KRUISINFECTIE

OPERATIEKAMERS

ISOLATIEKAMERS

ISOLATIEAFDELINGEN

OPEN DEUREN

RECIRCULATIE

LUCHTFILTERS

| | | | | | | | | |
|------|--------|------|------|------|------|------|------|------|
| TNO | TNO | TNO | TNO | TNO | TNO | TNO | TNO | TNO |
| 4583 | 7988 | 7989 | 7990 | 7991 | 7992 | 7993 | 7994 | 7995 |
| | 4583-B | | | | | | | |

oktober 1972

klimaat **installaties** **ziekenhuizen**

IG-TIO

INSTITUUT VOOR GEZONDHEIDSTECHNIEK AFDELING BINNENKLIMAAT

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van het Inst. voor Gezondheidstechniek TNO

V O O R W O O R D

De in dit boekje opgenomen teksten bevatten in uitvoeriger vorm de inhoud van de voordrachten gehouden op 26 oktober 1972 voor de organiserende vereniging: de T.V.V.L., de Nederlandse Technische Vereniging voor Verwarming en Luchtbehandeling.

Precies een jaar eerder is op een dergelijke dag gestreefd naar een vrij grondige behandeling van een beperkt aantal onderwerpen. Dit jaar is bij eenzelfde totale spreektijd gestreefd naar meer en dus ook kortere voordrachten. Daarbij heeft men zich meer beperkt tot de denklijnen en de resultaten. De lezer kan in de teksten in het boekje desgewenst uitvoeriger informatie vinden.

Een tweede verschil is dat vorig jaar de directe spuurwerkresultaten werden meegedeeld, dit jaar echter het accent valt op het geven van denklijnen, het bijeenbrengen van ten dele reeds bekende zaken en het geven van specificaties en methodieken.

Een derde verschil met de dag van een jaar geleden is dat wij ons deze keer gelukkig kunnen prijzen met de medewerking van enkele sprekers van buiten de Afdeling Binnenklimaat van het Instituut voor Gezondheidstechniek TNO.

Moge het boekje wederom een goed onthaal vinden!

Delft, oktober 1972

Ir. E. van Gunst
Hoofd van de Afdeling Binnenklimaat

I N H O U D

A SPEURWERK DIENT TE BEGINNEN EN TE EINDIGEN IN DE PRAKTIJK

Met welk doel is TNO indertijd opgericht? Met welke vragen kan men zich tot TNO wenden? Hoe pakt TNO deze vragen aan? Hoe kan TNO bijdragen bij het stellen van problemen en het oplossen ervan?

Ir. E. van Gunst, Afdeling Binnenklimaat van het Instituut voor Gezondheidstechniek TNO (IG-TNO, Publ. nr. 433)

B HET VERMIJDEN VAN KRUISINFECTIES IN ZIEKENHUIZEN VIA DE LUCHT

Verslag over het 4th International Symposium on Aerobiology, gehouden in september 1972 te Enschede. Samenvatting van de nieuwe gezichtspunten op dit terrein.

Dr. D. van der Waaij, Radiobiologisch Instituut TNO (Publ. RBI-TNO)

C DE BEOORDELING VAN REINHEID EN COMFORT IN OPERATIEKAMERS

Enkele methoden worden besproken en met elkaar vergeleken. Mede op grond van deze overwegingen komt men tot de conclusie dat de beoordelingsmethoden verder moeten worden onderzocht. Gestreefd moet worden naar het opstellen van een norm voor het testen van ventilatiesystemen voor operatiekamers.

P.A. Bossers, Afdeling Binnenklimaat, IG-TNO (Publ. nr. 434)

D DE PLATTEGROND VAN EEN ISOLATIEKAMER UIT LUCHTTECHNISCH OOGPUNT BESCHOUWD

Er wordt een analyse gegeven van het aantal denkbare combinaties. Vervolgens worden deze getoetst aan een aantal beoordelingscriteria. Hierna blijkt dat er slechts één combinatie als de beste oplossing overblijft. Deze wordt dan nader kritisch beschouwd.

W.F. de Gids, Afdeling Binnenklimaat, IG-TNO (Publ. nr. 435)

E DE OPZET VAN EEN ISOLATIE-AFDELING BEZIEN VANUIT LUCHTTECHNISCH OOGPUNT

Mede aan de hand van resultaten van een uitvoerig onderzoek voor een bepaald project wordt getoond hoe men op grond van windtunnelproeven en onderzoek in een ventilatie-analogon, een ontwerp kan beoordelen en verbeteren.

H.Ph.L. den Ouden, Afdeling Binnenklimaat, IG-TNO (Publ. nr. 436)

F MOGEN DEUREN IN ZIEKENHUIZEN OPEN BLIJVEN STAAN?

Nagegaan wordt welke de factoren zijn die de grootte van verschillende luchtstromen door een open deur bepalen, en welke conclusies hieruit te trekken zijn als men kruisinfecties via de lucht zoveel mogelijk wil vermijden.

Ir. H.B. Bouwman, Afdeling Binnenklimaat, IG-TNO (Publ. nr. 437)

G IS RECIRCULATIE IN EEN ZIEKENHUIS ONAANVAARDBAAR?

Op grond van een aantal uitgangspunten worden berekeningen gemaakt welke laten zien onder welke voorwaarden recirculatie van de lucht in bepaalde ziekenhuisafdelingen als mogelijkheid kan worden aanvaard. Daarbij worden in het bijzonder de bacteriologische overwegingen medegedeeld.

Ir. H.B. Bouwman, met medewerking van Prof. Dr. K.C. Winkler, hoogleraar in de Besmettingsleer aan de Rijksuniversiteit te Utrecht (Publ. nr. 438 IG-TNO)

H LUCHTFILTERS VOOR ZIEKENHUIZEN

De vele testmethoden die in verschillende landen worden toegepast maken het de (adspirant) gebruiker van filters niet gemakkelijk de testresultaten van op verschillende wijzen geteste filters te vergelijken. Getracht wordt hierin wat meer inzicht te geven.

Ir. J.F. van der Wal, Afdeling Binnenlucht, IG-TNO (Publ. nr. 439)

U.D.C. 62.001.5

SPEURWERK DIENT TE BEGINNEN EN TE EINDIGEN IN DE PRAKTIJK.

Ir. E. van Gunst

De Afdeling Binnenklimaat is in de loop der jaren min of meer regelmatig naar buiten getreden om de resultaten van haar werkzaamheden te tonen. Het is vandaag precies een jaar geleden dat zij voor het eerst in haar bestaan daarmee voor het forum van het vakgebied een volledige dag vulde. Twee reacties op dit optreden waren aanleiding om hier voor deze (tweede) lezingendag, wat nader in te gaan op enige algemene aspecten van het TNO-werk.

In zijn slotwoord op 26 oktober 1971 merkte de discussieleider, Ir. W.H. Knoll, onder meer op:

".....hieruit blijkt dat het Instituut voor Gezondheidstechniek TNO zich niet opsluit in een ivoren toren, maar bereid is en in staat is, in de praktijk te gaan staan en - ik zou haast zeggen temidden van ons - kennis te nemen van de problemen waarmee geworsteld wordt en hieraan te werken op een wijze dat je zegt: hier worden wegen gewezen waarlangs wij verder kunnen gaan,....."

In een ingezonden commentaar op deze dag merkte de heer B.J. Mutgeert onder meer op:

"Immers, het geven van gratis voorlichting heeft een sterk acquisitie-effect en op deze wijze wordt een scheve concurrentieverhouding geschapen tussen TNO en de zelfstandige bureaus,....."

Beide commentaren zijn duidelijk:

- men zou het (terecht) onjuist achten als TNO zich zou opsluiten in een ivoren toren; TNO dient zich bezig te houden met probleemstellingen ontleend aan de praktijk en de oplossing daarvan - voorts behoort TNO eraan mede te werken, dat deze oplossingen een zo groot mogelijke bekendheid krijgen;
- het publiek is gediend met een duidelijker omschrijving van hetgeen al of niet tot de werkzaamheden van de onder TNO vallende groepen,

afdelingen en instituten.

Doelstellingen en organisatie van TNO

Eén van de bedoelingen indertijd bij de instelling met name van de Nijverheidsorganisatie TNO, was dat men laboratoria in deze centraal gesubsidiëerde organisatie zou kunnen vinden waarvan voornamelijk de middelgrote- en kleine industriën in Nederland gebruik zouden kunnen maken. Deze toch zouden niet in staat zijn voldoende middelen af te zonderen tot het inrichten van eigen laboratoria en zouden derhalve het gevaar lopen te weinig kennis te ontwikkelen om te kunnen bijblijven. Een ander doel was de oprichting van laboratoria voor wetenschappelijk onderzoek op gebieden die doorgaans alleen van staatswege gefinancierd (kunnen) worden. Bij de vorming van de organisatie moest men reeds bestaande laboratoria en instituten inpassen en kon men nieuwe creëren. De vorm die door de organisatie werd gekozen kent als onderverdeling de zogenoemde Bijzondere Organisaties die elk een stuk menselijke activiteit, als uitgangspunt hebben, resp. liggend op het gebied van: de nijverheid, de voeding, de gezondheid en de rijksverdediging.

Zowel de doelstelling en de wijze van financiering kunnen voor deze organisaties aanzienlijk verschillen. De werkzaamheden vinden plaats in zelfstandige instituten of in geïntegreerde project- en werkgroepen die in eerste instantie zijn ondergebracht in de Bijzondere Organisaties. De naam van deze instituten en werkgroepen geeft een eerste aanwijzing omtrent hun werkterrein. De naam bevat dan of de probleemstelling waarmee men zich bezighoudt - bijv. het Radiobiologisch Instituut - of het soort product dat in het middelpunt van de werkzaamheden staat - bijv. het Houtinstituut. Het is echter meestal niet mogelijk uit een korte naam precies af te leiden wat nu wel en wat niet onder het werkterrein van een instituut valt. Het is moeilijk om geheel te vermijden dat er hier en daar overlappingsgebieden zijn.

Hoewel de Bijzondere Organisaties autonoom zijn en de daaronder ressorterende instituten binnen deze organisaties een grote mate van zelfstandigheid hebben, leiden de richtlijnen, de afspraken en een goede

dosis gezond verstand vele zaken in de organisatie naar een juiste plaats en naar de nodige samenwerking. Maar aangezien zelfs intern het vinden van de juiste weg soms enig nadenken vereist, is het geen wonder dat de buitenwereld met het vinden van de juiste poort wel eens moeite heeft. Door de vele mogelijkheden in dit grote geheel zal het vormen van de eigen taakstelling met overleg moeten plaatsvinden. Zo houdt het Instituut voor Gezondheidstechniek zich bezig met het uitvoeren van onderzoek en het geven van voorlichting op het gebied van gezondheidstechniek gericht op de relatie tussen milieufactoren en de gezondheid in de ruimste zin, en technische oplossingen voor het bevorderen van een gezond milieu.

De Afdeling Binnenklimaat van dit Instituut houdt zich uiteraard bezig met het klimaat binnenshuis. Daaronder valt het klimaat in woningen, fabrieken, scholen, kantoren, sportaccomodaties, ziekenhuizen, enz.

In schema 1 zijn de principe-contacten van de Afdeling Binnenklimaat weergegeven zoals die o.a. volgen uit de plaats en taakstelling van het Instituut voor Gezondheidstechniek waartoe zij behoort, met daarnaast enkele andere afdelingen. Wij zijn van mening dat bij de plaatsbepaling van afdelingen en hun taakstellingen duidelijke impulsen van buitenaf uit de verschillende vakgebieden, bijzonder zijn toe te juichen. Zonder deze impulsen zou een poging tot taakstelling zelfs hol kunnen zijn. Spuurwerk kan niet anders uit haar ivoren toren worden "bevrijd" - gelijk Doornroosje - dan door een zekere affectie van buitenaf.

Financiering van TNO

Publicaties van het Centraal Bureau voor de Statistiek vermelden de in Nederland aan spuurwerk uitgegeven bedragen; zie schema 2.

In 1967 was met zelf verricht spuurwerk in de B-wetenschappen een totaal bedrag van 1860 miljoen gulden gemoeid. Een groot gedeelte hiervan kwam op naam van ondernemingen in het bedrijfsleven: 1080 miljoen gulden voor de industrie, waarvan 700 miljoen gulden voor de grote

NEDERLAND SPEURWERK B-WETENSCHAPPEN

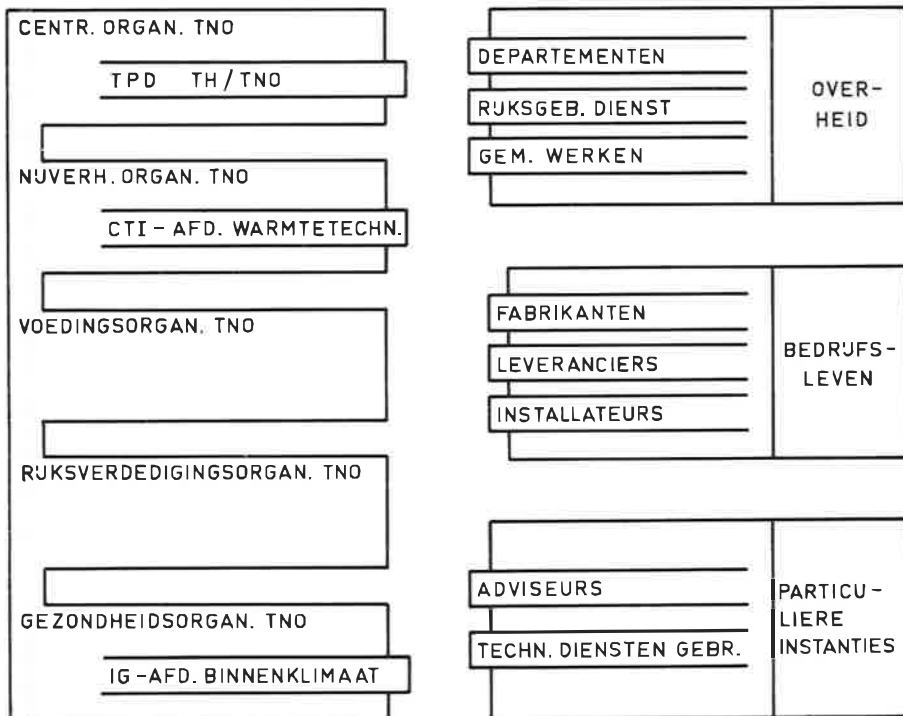
1967

| | | OVERHEID | DERDEN |
|-------------------|---------------------------------|-------------------------------|----------------------------|
| UNIV. HOGESCHOLEN | f 400 × 10 ⁶ | | |
| SPEURWERKINSTELL. | f 380 × 10 ⁶ | 96 × 10 ⁶ | 30 × 10 ⁶ ≡ 24% |
| | TNO f 126 × 10 ⁶ | | |
| ONDERNEMINGEN | f 1.080 × 10 ⁶ | | |
| | <u>f 1.860 × 10⁶</u> | <u>f 724 × 10⁶</u> | |

1969

| UNIV. HOGESCHOLEN | f 357 × 10 ⁶ | | |
|-------------------|--------------------------------|-------------------------|--------------------------------|
| SPEURWERKINSTELL. | f 453 × 10 ⁶ | 116,7 × 10 ⁶ | 32,2 × 10 ⁶ ≡ 21,5% |
| | TNO f 148,9 × 10 ⁶ | | |
| ONDERNEMINGEN | f 1310 × 10 ⁶ | | |
| | <u>f 2120 × 10⁶</u> | | |

SCHEMA 1



SCHEMA 2

zes en 375 miljoen gulden voor de overige industrie. Het overige deel, 780 miljoen gulden, was gelijkelijk verdeeld over universiteiten en hogescholen enerzijds en speurwerkinstellingen anderzijds. In deze laatste groep behoort de Organisatie TNO, waar een bedrag van 126 miljoen gulden werd uitgegeven. Dit betekende 6,8% van de totale uitgaven voor speurwerk in Nederland over dat jaar. TNO kon deze uitgaven doen omdat 96 miljoen gulden aan rijksmiddelen was ontvangen vermeerderd met een bijdrage van derden van 30 miljoen gulden, voor een groot deel voor werk in opdracht of "met inspraak".

De getallen over het jaar 1969 leren, dat de totaal uitgaven van TNO vermeerderd waren tot 149 miljoen waarvan 117 miljoen van rijkswege en 32 miljoen van derden. Deze uitgaven vormen 7% van het totaal aan uitgaven aan speurwerk in de B-wetenschappen in Nederland t.w. 2120 miljoen gulden.

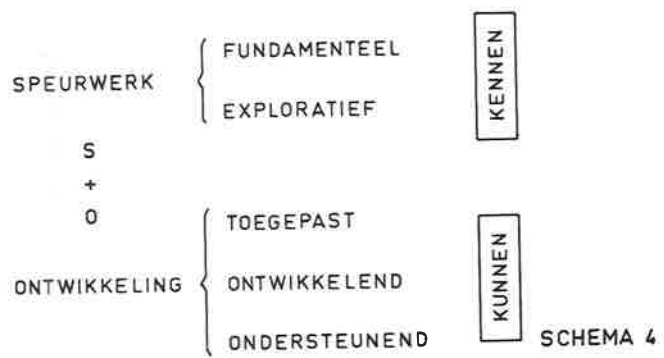
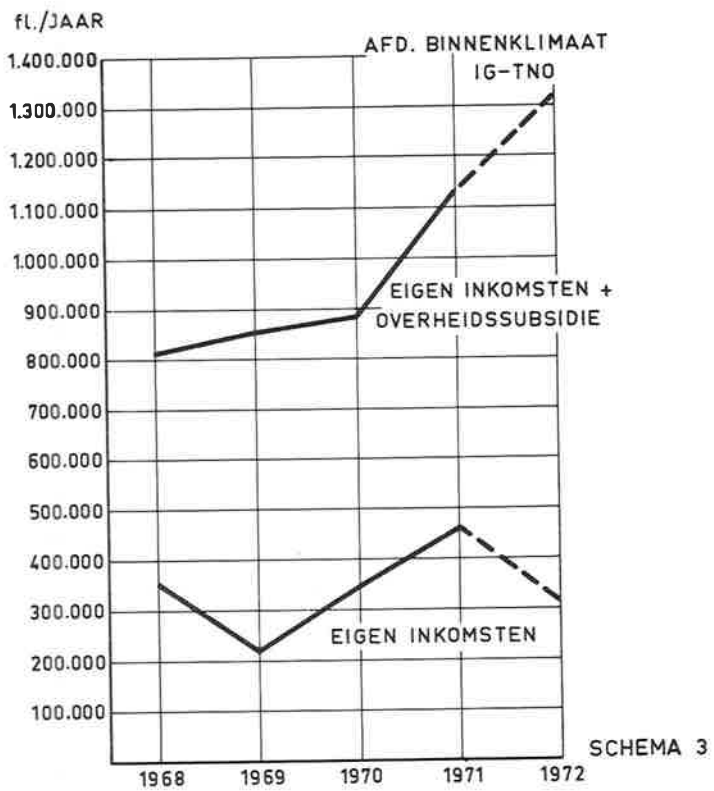
Het totaal aan uitgaven voor speurwerk door het bedrijfsleven bedroeg voor 1969 1310 miljoen gulden.

Volgens deze getallen kwam in 1967 bijna 24% van de TNO inkomsten van derden - in 1969 was dit 21,5%. Deze percentages gelden voor TNO als geheel; voor elk van de Bijzondere Organisaties zal de verhouding anders liggen gezien hun specifieke situatie tot het aantrekken van opdrachten, het verwerven van nationale en internationale fondsen voor research al of niet met inspraak, en het verkrijgen van inkomsten uit octrooien.

Van de Afdeling Binnenklimaat zijn de getallen sinds 1968 weergegeven in schema 3.

De eigen inkomsten blijken een wezenlijk percentage van het totaal budget te bedragen: 25 - 40%. Deze eigen inkomsten hebben echter een zeer fluctuerend karakter. Meer continuïteit in dit aandeel zou mede met het oog op continuïteit in de personeelssituatie het werk zeer ten goede komen.

De door allen gewenste situatie - geen ivoren toren en geen scheve concurrentie - is o.i. slechts te bereiken door intensieve samenwerking tussen betrokkenen uit het vakgebied en de speurwerkorganisatie.



De keuze van het werk dat men entameert kan in belangrijke mate worden beïnvloed door de mogelijkheden tot het verwerven van inkomsten, d.w.z. de mogelijkheden tot het verkrijgen van opdrachten. Daarom kan men de taakstelling en de mogelijkheden tot financiering niet los van elkaar zien.

Speurwerkprogramma's en resultaten

Het is gebruikelijk speurwerk te onderscheiden in enkele soorten, zoals in schema 4 aangegeven. Het meest fundamentele werk als ene uiterste en het direct op toepassing gerichte werk als andere uiterste. Voor een organisatie als TNO willen wij er nog eens de nadruk op leggen dat het element "toegepast" te allen tijde aanwezig behoort te zijn: er moet een duidelijke relatie bestaan tussen het te ondernemen speurwerk en de toepassingsmogelijkheid daarvan. Zeker in de aanvangsperiode geschiedde de programmering van de werkzaamheden en hun financiering uit de subsidie op een min of meer ambtelijke wijze.

Thans zijn in de bestuursorganen meer dan voorheen naast vertegenwoordigers van diverse openbare lichamen ook vertegenwoordigers uit het bedrijfsleven, de directe praktijk, actief bij het opstellen van de programma's betrokken. Hoewel het bedrijfsleven daarbij meestal een zekere mate van - overigens begrijpelijke - haast heeft, dienen de speurwerkprogramma's op lang zicht zoveel mogelijk in overeenstemming te zijn met de ontwikkelingsplannen van de Overheid, het bedrijfsleven en de industrie - kortom de praktijk.

Dat het op elkaar afstemmen van speurwerk en toepassing binnen één concern (grote zes) meestal wat eenvoudiger is, zal duidelijk zijn. Wanneer speurwerk daar tot verkoopbare resultaten leidt zal het bovendien de mogelijkheid scheppen nieuw speurwerk te entameren. Een bepaalde hoeveelheid speurwerk zal echter ook moeten worden verricht om de kennis te leveren die in de nabije toekomst nodig zal zijn.

Naast de inkomsten uit de rijkssubsidie bestaat, wat men in TNO-krin-

gen noemt "speurwerk met inspraak". Hieronder wordt speurwerk verstaan waarvoor de kosten gedeeltelijk worden gedragen door derden, welke in ruil daarvoor inspraak hebben bij het opstellen van de programma's. Hier is de invloed van de praktijk op de TNO-programmering veel duidelijker. De initiatiefnemers weten immers doorgaans vrij exact voor welk probleem zij een oplossing zoeken, zodat bij het speurwerk met inspraak de vraagstellingen in belangrijke mate of geheel haar oorsprong hebben in de praktijk. De programma's worden in samenspraak met de betrokken TNO-instituten opgezet en in de meeste gevallen vindt een begeleiding van de uitwerking plaats in een werkgroep waarin leden zitting hebben die in hun dagelijkse functie in de praktijk met de betreffende problemen worden geconfronteerd.

Uit de opmerkingen van Ir. Knoll leidden wij af, dat de werkzaamheden waarover wij vorig jaar rapporteerden en die voornamelijk het gesubsidiëerde speurwerk en "speurwerk met inspraak" betroffen, door het vakgebied duidelijk werden herkend als essentiële vraagstellingen. Nu de bedragen die speurwerk vragen steeds groter worden en de tijd die wij ons er mee bezig hielden langer is geworden waardoor onze kennis is toegenomen, is het des te wenselijker dat zowel de speurwerkprogramma's zelf als de resultaten daarvan in zo breed mogelijke kring bekendheid hebben.

Het werken op basis van een centrale subsidiëring heeft verschillende voordelen.

Men kan er zeker van zijn dat de diverse probleemstellingen voor de uiteenlopende gebieden aan de beurt komen en dat niet zuiver praktische, wellicht opportunistische, argumenten van één dag de doorslag geven. Men kan op een wetenschappelijk verantwoorde en onpartijdige wijze werken. Daarbij moet echter worden opgemerkt dat het werk uiteindelijk alleen maar "leuk" blijft als de in het laboratorium verworven kennis daarna ook buiten het laboratorium gebruikt wordt. Van onze kant zal hieraan alle aandacht en zorg die maar mogelijk is besteed worden. Alle aandacht die vanuit de praktijk wordt gegeven om hiervan een gemeenschappelijk gespreksthema te maken, hetzij binnen TNO-adviescolleges, hetzij daarbuiten, zullen door ons naar waarde worden geschat.

Als gesprekpunten kunnen o.m. worden genoemd:

- 1) Aan welke kennis heeft de praktijk de komende 5 - 7 jaar behoefte;
- 2) Op welke wijze kunnen TNO-speurwerkprogramma's meer bekendheid krijgen en hoe sluiten zij aan op de behoefte als bedoeld in punt 1;
- 3) In welke vorm dienen speurwerkresultaten te worden aangeboden opdat ze toegankelijk worden voor een zo groot mogelijke kring gebruikers;
- 4) In welke mate en langs welke lijnen dienen deze publicaties te worden verspreid.

Opdrachten

Anderzijds leiden wij uit het commentaar van de heer Mutgeert af dat, waar wij ons op praktijkterrein begeven, in de buitenwereld wel eens twijfels bestaan of wij dit op de juiste manier doen. Uit de aard der zaak zal het duidelijk zijn dat wat wij zelf willen in deze aanzienlijk minder belangrijk is dan hetgeen de buitenwereld van ons verlangt. Net zomin als het altijd direct duidelijk is waar men in TNO moet aankloppen met diverse zaken, zomin is duidelijk omschreven met welke vragen men zich wel tot de organisatie kan wenden en met welke niet. Met deze opmerking doelen wij nu even niet op het speurwerk, maar op andere hulp die een organisatie als TNO kan bieden, zeker nu, na enkele decennia werkzaamheid en ervaring. Deze hulp kan meer, maar ook wat anders zijn dan het verrichten van nieuw onderzoek. De aard van de vragen waarmee men bij onze organisatie aanklopt is dan ook van zeer uiteenlopende aard. Hoe zeer uiteenlopend, kunnen wij illustreren met een tweetal extreme voorbeelden uit onze eigen ervaring in de loop der jaren.

Het eerste geval betrof een verzoek om in verband met een octrooizaak aan te tonen dat een bepaalde plastic strip een tochtstrip was. Deze vraag kon geheel op papier worden afgehandeld.

Het tweede geval betrof het verzoek een bepaald radiatortype te ontwikkelen met een begeleiding tot en met het stadium dat de eerste goedgekeurde exemplaren uit de fabriek zouden komen. Dit zou erop

neerkomen om een, liefst octrooieerbaar, prototype te ontwikkelen en mede de productie ervan te coachen.

Diverse redenen kunnen leiden tot het accepteren dan wel tot het weigeren van een opdracht. TNO staat hierbij voor de taak tussen diverse klippen door te zeilen.

- 1) Wij moeten voldoen aan onze wettelijke opdracht niet slechts spewerk te verrichten, maar ook de resultaten daarvan zoveel mogelijk ten nutte te laten komen aan de praktijk. Deze resultaten zijn niet altijd getallen en gegevens, maar soms ook methodieken die in de praktijk (nog) niet routinematig worden toegepast om allerlei meer of minder goede redenen.
 - 2) Wij mogen ons niet in concurrentie begeven met particuliere instellingen of bureaus.
 - 3) Wij moeten de consequenties van onze eventuele dienstverlening overzien, zowel voor de opdrachtgever als voor zijn vakgenoten.
- Bij dit alles moet in het oog worden gehouden dat wij een bepaald bedrag aan eigen inkomsten moeten verwerven.

Ten aanzien van de punten 1 t/m 3 zou de situatie aanzienlijk vereenvoudigd worden indien ontwikkelde kennis en methodieken snel tot specificaties of richtlijnen, dan wel tot algemeen routinematige technieken konden worden verheven. Uiteraard kan dit slechts plaatsvinden in organisaties waarin de vertegenwoordigers van de diverse praktijk-groeperingen een zeer belangrijke stem hebben. Ook ten aanzien van dit thema voelen wij de behoefte aan een gespreksplaats met de praktijk. Aan de orde zouden komen o.m. de vragen:

- 1) in welke vorm kan en moet TNO de door haar verzamelde kennis ten dienste laten komen bij actuele projecten,
- 2) op welke wijze dient TNO ontwikkelde technieken en methodieken ter beschikking te stellen van de praktijk,
- 3) aan welke specificaties is behoefte.

In het septembernummer van haar orgaan memoreerde TVVL nog eens taak

en doelstelling, waarin onder meer het volgende wordt gezegd:

"Haar algemene doelstelling is: Het bevorderen van de wetenschap en de techniek op het gebied van de verwarming en de luchtbehandeling, daarbij inbegrepen het toegankelijk maken van de resultaten van het wetenschappelijk "speurwerk voor de praktijk,....."

Wij zijn TVVL erkentelijk, dat zij met het organiseren van deze dag waarop wij als TNO wederom in de gelegenheid zijn om een serie voordrachten te houden, getrouw is aan deze doelstelling. Waren het verleden jaar voornamelijk resultaten van speurwerk die werden medege-deeld, dit jaar is de stof afkomstig van activiteiten die leiden tot meer algemeen aanvaarde richtlijnen, routinetechnieken en specificaties. Waren verleden jaar alle auteurs afkomstig uit de Afdeling Binnenklimaat van het Instituut voor Gezondheidstechniek TNO, het ligt in de lijn van deze activiteiten dat een en ander geschiedde in samenspel met specialisten uit andere disciplines.

U.D.C. 614.4 : 725.51

HET VERMIJDEN VAN KRUISINFECTIES IN ZIEKENHUIZEN VIA DE LUCHT

Het verslag van het IVth International Symposium on Aerobiology

Dr. D. van der Waaij

1 INLEIDING

Het programma van het Symposium bestond in feite uit twee delen:

een biologisch gedeelte, waarin de verschillende aspecten van besmetting en afweer der luchtwegen van mens en dier werden besproken, alsmede diverse methoden van monsterneming, en een technisch deel

Van het biologisch deel is hier alleen het vrijkomen van bacteriën en virussen vanuit het menselijk lichaam van belang. Aansluitend worden de meer technische aspecten van de ventilatie besproken. De biologische en de technische aspecten hangen overigens nauw samen.

Allereerst kan de opmerking worden gemaakt dat er weliswaar veel bijdragen op het Symposium zijn geweest, maar dat slechts een beperkt aantal duidelijke conclusies naar voren gekomen zijn. Helaas is de indruk dat het werk nog te weinig langs gezamenlijk door verschillende disciplines besproken en tevoren goed doordachte lijnen werd verricht (Parker). Deze samenspraak wordt bemoeilijkt doordat deze zo uiteenlopende disciplines nog niet altijd gewend zijn nauw met elkaar samen te werken. Het werk maakte wel eens de indruk dat men te veel naar bepaalde aspecten heeft gekeken, en te weinig naar de samenhang van bepaalde zaken. Daardoor is het zeer moeilijk zo niet onmogelijk uit de diverse bijdragen een grootte van de kans op kruisinfecties onder verschillende omstandigheden af te leiden, en op grond daarvan richtlijnen vast te stellen voor de te nemen maatregelen die rekening houden met vele aspecten tegelijk.

Om te kunnen begrijpen hoe kruisinfecties via de lucht tot stand kunnen komen is het nuttig drie fasen te onderscheiden:

- a) het vrijkomen van kiemen van een mens en van apparatuur,
- b) de weg die de kiemen volgen door de lucht,
- c) de plaats van het lichaam waar ze terechtkomen en tot een besmetting aanleiding geven.

Als vierde fase zou kunnen worden genoemd dat de besmetting, d.w.z. het neerkomen op een gebied waar de kiemen zich kunnen vermenigvuldigen, ook tot een infectie d.w.z. een ziekte, of een ontsteking aanleiding geven. Dit laatste hoeft n.l. lang niet altijd het geval te zijn. Deze vierde fase valt buiten het kader van dit verslag.

2 HET VRIJKOMEN VAN KIEMEN IN DE LUCHT

Tijdens de dagelijkse bedrijvigheid van de mens, maar ook 's nachts, blijkt de mens voortdurend micro-organismen te verspreiden. Deze zijn afkomstig van de huid en uit de ademhalingswegen. Het gebied waar de meeste bacteriën vandaan komen, is het gebied dat door een zwembroek wordt bedekt. (Zie ook Winkler [1]). Gezonde jonge mannen blijken doorgaans veel meer, tot een factor 5 meer, bacteriën te verspreiden dan vrouwen uit een overeenkomstige groep. Bij oudere zieke mensen is er op dit punt vrijwel geen verschil tussen mannen en vrouwen gevonden.

Na de plaatsen te hebben aangegeven van waaruit bij de mens de meeste bacteriën in de lucht komen, komen wij tot de vraag, wat doen wij eraan?

Een zwembroek van zeer fijn dicht weefsel bleek een zeer duidelijke reductie te geven van het aantal in de lucht vrijkomende kiemen. Afsluitende kleding werd van groot belang geacht. Het probleem is daarbij een luchtdoorlatende stof te vinden, die niettemin de kiemen het passeren belet. Een goed functionerend masker ter afscherming van mond en neus bleek nog moeilijk te vinden.

Dit en andere oplossingen die het vrijkomen van kiemen in de lucht moeten beletten staan dan ook tezamen met andere maatregelen centraal bij de preventie van infectie bij operatiepatiënten, isolatiepatiënten en personeel. Als andere maatregelen worden bedoeld discipline maatregelen, bijv. ten aanzien van de bewegingen van leden van het operatieteam, zoals de verpleegsters, en ten aanzien van de sterilisatie en de desinfectie.

3 DE BEWEGING VAN DE KIEMEN MET DE LUCHT

Hierbij kan sprake zijn van de verplaatsing met de lucht binnen een vertrek, het transport van vertrek tot vertrek en het transport van gebouw tot gebouw.

3.1 Verplaatsing van de kiemen met de lucht binnen een vertrek

Vooraf in operatiekamers en isolatiekamers staat deze verplaatsing in de belangstelling.

Duidelijk is naar voren gekomen dat vermindering van het aantal post-operatieve infecties in de eerste plaats gezocht moet worden in een verbetering van de kleding en verbetering van de bewegingsdiscipline van het operatieteam.

Voorts is duidelijk gesteld dat daarnaast voor een noodzakelijke verdunding van het aantal kiemen een behoorlijk aantal luchtwisselingen, d.w.z. in de orde van 10 tot 25 luchtwisselingen/per uur, als noodzakelijk wordt beschouwd. Voor een gangbare operatiekamer komt dit neer op 1500 à 4000 m³/h. Het Symposium liet geen twijfel bestaan over het feit dat een dergelijke ventilatie noodzakelijk is.

Steeds blijft echter gelden dat met een goede discipline in slecht geventileerde operatiekamers betere resultaten worden bereikt dan met een slechte discipline in goed geventileerde operatiekamers.

Men betwijfelt duidelijk wel of het nodig is iedere operatiekamer van een "laminar flow" te voorzien. De Amerikaanse Vereniging van Chirurgen blijkt gekant tegen het klakkeloos installeren van laminar flow-installaties wanneer reeds een goed conventioneel ventilatiesysteem aanwezig is. Onder "goed conventioneel" moet hier worden verstaan hetgeen volgens Amerikaanse specificaties als zodanig geldt.

Het bleek echter nu nog niet mogelijk om aan te geven hoe een operatiekamer optimaal op conventionele wijze moet worden geventileerd. Nog steeds niet kunnen de klinische resultaten, die met een bepaald ventilatiesysteem worden behaald, als maatstaf voor het ventilatiesysteem worden gebruikt. Zo lang voor een aanbevolen ventilatievoud geen betere reden kan worden opgegeven dan dat een collega chirurg er zulke goede resultaten mee heeft, heeft het uitvoeren van de meest

doordachte ventilatievoldmetingen met behulp van bijv. tracergas geen zin. De tijdens het Symposium aangeprezen testmethoden voor het ventilatiesysteem van O.K.'s zullen hier daarom niet worden besproken. Op het Symposium misten wij opmerkingen dat het toch van groot belang geacht moet worden, dat tevens inzicht ontstaat in het luchtbewegingspatroon in de O.K.

Het "air bath" systeem werd van Canadese zijde geïntroduceerd. Dit systeem berust op het formeren van een soort luchtgordijn rond de wond. Dit systeem ontstaat door vanuit een geperforeerde pijp in de zoom van het operatielaken rond de wond steriele lucht omhoog te blazen. Het grote bezwaar dat aan dit systeem kleeft, waardoor het waarschijnlijk zelfs onbruikbaar zal blijken is, dat de sterke opwaartse luchtstroom- meestal ernstig-besmette lucht aanzuigt van onder de tafel. De operatiewond zelf blijft met deze locale ventilatie inderdaad vrij van besmetting vanuit de lucht, maar het omgevende laken, dat voortdurend door de chirurgen wordt aangeraakt, wordt vrijwel zeker meer besmet dan zonder dit systeem zou gebeuren. De handschoenen van de chirurg kunnen dan door het laken worden besmet. Als daarna de wond met de handschoenen wordt aangeraakt zal de wond besmet raken.

Bij de bespreking van laminar flow-systemen kwamen de "down flow" ⁺⁾ en de "cross flow" ⁺⁾ ter sprake, al of niet aangevuld met plaatselijk aanvullende voorzieningen.

Het nadeel van "down flow" is dat als lichaamsdelen van leden van het operatieteam boven de patiënt in de luchtstroom komen, de van deze lichaamsdelen vrijkomende kiemen een vrij grote kans hebben om op de tafel te belanden. Een goed functionerende afscherming van de bovenste lichaamshelft is hier belangrijk gebleken. Charnley blijkt hiertoe voor heupoperaties, waarbij het infectiegevaar groot is, als aanvullende maatregel hoofdkappen te gebruiken die worden afgezogen.

⁺⁾ De naam laminar flow is eigenlijk niet geheel juist; men zou beter kunnen spreken van "unidirectional flow".

Men zou "down flow" met "valstroom" kunnen aanduiden en "cross flow" met "dwarstroom". Red.

Bij "cross flow" is het nadeel aanwezig dat lucht met kiemen van onder de tafel kan opstijgen langs de lijzijde van de personen die om de tafel staan (figuur 1).

Hier is derhalve een goed afsluitende kleding voor de onderste lichaams helft noodzakelijk. Het aantal bij dwarsstroom opstijgende micro-organismen is overigens doorgaans veel kleiner dan wat er zonder ventilatie opstijgt.

Als aanvullende voorziening is voorgesteld om een horizontale U-vormige buis aan de onderzijde om de operatietafel te leggen, die aan de onderzijde voorzien is van gaatjes. Steriele lucht toegevoerd aan deze buis blaast met kracht uit de gaatjes naar beneden en zuigt steriele lucht aan van boven de tafel uit het cross flow gebied. Deze om de tafel naar onder afbuigende luchtstroom voorkomt de bovengenoemde opstijgende stromen aan de lijzijde der zich om de tafel bevindende personen. Over dit ontwerp werd vanuit het Radiobiologisch Instituut TNO gerapporteerd.

Een maximale bescherming tegen kruisinfecties via de lucht is noodzakelijk gebleken om patiënten met sterk verminderde weerstand tegen infecties ook tijdens operaties te kunnen beschermen tegen potentieel gevaarlijke besmettingen. Wanneer orgaantransplantaties in de toekomst uit het experimentele stadium komen zullen wij te maken krijgen met patiënten, die extreem gevoelig zijn voor infecties.

Om te voorkomen dat men in alle operatiekamers extreme voorzieningen zou moeten aanbrengen is een transportabele laminar flow unit gemaakt van zodanige afmeting dat deze in een lift past. Voor gebruik in oude, niet of nauwelijks geventileerde operatiekamers kunnen deze transportabele units wellicht uitkomst bieden.

Deze transportabele units vergen geen ingrijpende bouwkundige voorzieningen en zijn daardoor relatief goedkoop. Alleen de geluidhinder welke ze veroorzaken is nog niet op bevredigende wijze opgelost. Het geluid dat deze installaties nog veroorzaken werd vrijwel overal als zeer hinderlijk ondervonden. De techniek is dus nog niet zover dat deze apparatuur zonder voorbehoud kan worden aanbevolen voor die situaties waar de mechanische ventilatie niet voldoet of ontbreekt.

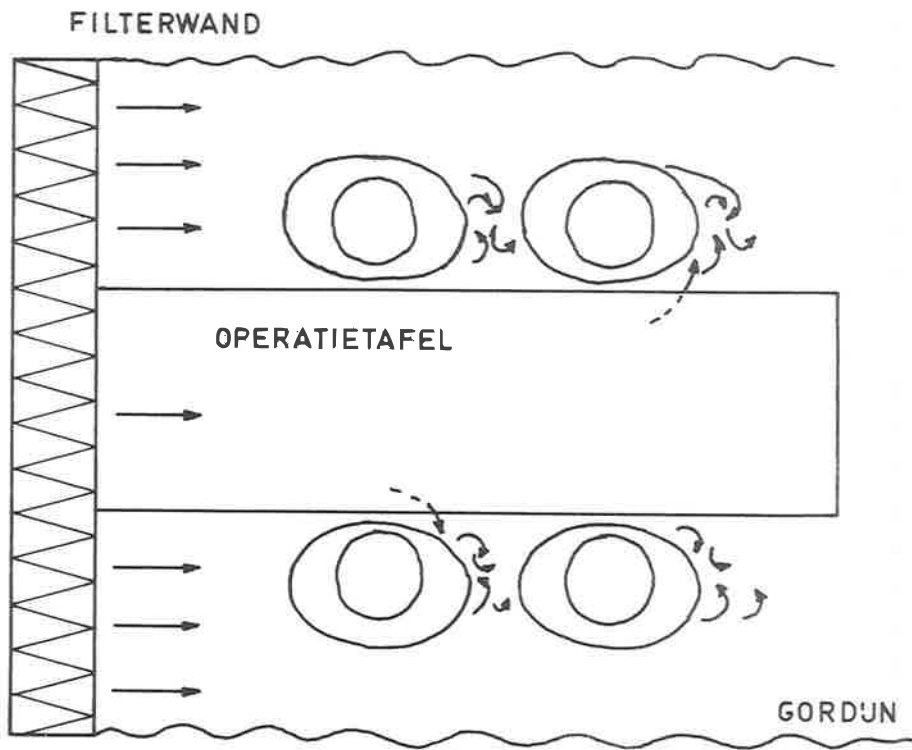


FIG. 1

3.2 Het transport van kiemen met de lucht van vertrek tot vertrek Sluizen bij isolatiekamers en operatiekamers

Voor het isoleren van patiënten met licht verminderde weerstand tegen infecties kwam het nut van een sluis tussen de isolatiekamer en de gang ter sprake. Reeds met een zeer matig geventileerde sluis werd een opmerkelijke reductie verkregen van het aantal kiemen dat via de gang vanuit een nabij gelegen ziekenkamer de isolatiekamer tenslotte toch nog bereikte.

Over het belang van drukverschillen en de vereiste grootte daarvan werd slechts zeer beperkte informatie gegeven. Sterk werd voornamelijk door Whyte benadrukt, dat reeds bij kleine temperatuurverschillen tussen de vertrekken een zeer sterke luchtstroom door een deuropening nodig is om te voorkomen dat micro-organismen via de lucht door een deuropening een vertrek binnenkomen. Vooral het bewegen van personen door een deuropening maakt het haast onmogelijk om alleen door middel van een sterke luchtstroom door de deur het beoogde doel te bereiken. Toepassing van een goed geventileerde sluis bij operatiekamers in de vorm van een goed geventileerde "voorbereiding" en andere met de operatiekamer in verbinding staande vertrekken zou ook hier uitkomst kunnen bieden.

Over het transport van kiemen met de lucht van vertrek naar vertrek via de gangen werd summier gerapporteerd. Dat bacteriën van ziekenkamer naar ziekenkamer zullen gaan in een ziekenhuis is door middel van ventilatie alleen niet te voorkomen. Wil men deze overdracht nagenoeg geheel voorkomen dan zijn bouwkundige, luchttechnische en disciplinaire maatregelen nodig.

Deze vergaande maatregelen zijn voor het grootste deel van de verpleging niet noodzakelijk; ze zouden ten opzichte van het nut dat ze opleveren de verpleging onnodig arbeidsintensiever en duurder maken. Alleen indien een patiënt in hoge mate gevrijwaard moet worden van besmettingen - dit is slechts bij een klein percentage van het totale aantal patiënten het geval - dan dient hij verpleegd te worden in een isolatiekamer, die bovenbedoelde bouwkundige en luchttechnische voorzieningen heeft en waar extra disciplinaire maatregelen moeten worden gehandhaafd door speciaal opgeleide verpleegsters.

Niettemin moet het verlagen van de concentratie van kiemen door voldoende ventilatie, het streven naar handhaving van de gewenste luchttransportrichtingen, en het handhaven van een zekere mate van comfort van belang worden geacht voor het verwezenlijken van een goed verpleegklimaat.

3.3 Het transport van kiemen met de lucht van gebouw naar gebouw

Over het transport van gebouw naar gebouw is slechts één geval gerapporteerd, maar dit vond plaats in een zo uitzonderlijke situatie, dat dit daarom onbesproken zal worden gelaten.

4 DE BESMETTING

Tenslotte een enkele opmerking over de plaats waar de micro-organismen uit de lucht neerkomen en de relatie daarvan tot het ontstaan van infecties. Een ziekmakend micro-organisme dient of direct neer te komen op de plaats waar het een infectie kan veroorzaken, bijv. een wond, het neusslijmvlies, de luchtpijp of de longen, of indirect de mond of de neus te bereiken, bijv. via een kopje soep of andere plaats waar vermenigvuldiging van kiemen mogelijk is, welke kiemen dan tenslotte de patiënt bereiken, zodat deze ermee besmet wordt.

5 LITERATUUR

[1] Winkler, K.C.

Luchtinfecties in het ziekenhuis; TVVL 1 (1972) nr.9 pag.396/401

[2] Proceedings van het IVth International Symposium on Aerobiology. Uitg. Oosthoek, vermoedelijk 1973.

U.D.C. 697.957 : 725.51

DE BEOORDELING VAN REINHEID EN COMFORT IN OPERATIEKAMERS

P.A. Bossers

I N H O U D

- 1 INLEIDING

- 2 HET THERMISCH COMFORT

- 3 VERMINDERING VAN HET AANTAL MICRO-ORGANISMEN IN DE LUCHT
 - 3.1 Luchtkwaliteit in operatiekamers

 - 3.2 De luchtstroming en bacterieconcentratie
 - 3.2.1 Luchttoevoersystemen

 - 3.3 Meetplaatsen en -methoden
 - 3.3.1 Metingen met tracergas

 - 3.3.2 Metingen met bacteriën

 - 3.3.3 Metingen met stofdeeltjes

- 4 CONCLUSIES

- 5 APPENDIX

- 6 LITERATUUR

1 INLEIDING

Zowel bij de nieuwbouw als verbouwing van ziekenhuizen wordt veel aandacht besteed aan de inrichting van de operatiekamers. Bij de inrichting hoort ook het mechanische ventilatiesysteem of de luchtbehandelingsinstallatie, zonder welke praktisch geen operatiekamer meer wordt afgeleverd. Het doel van deze installaties is voor operatiekamers eigenlijk tweeledig:

- a) verbetering van de werkomstandigheden
- b) vermindering van het aantal micro-organismen in de lucht

De aard van het object (met name de kans op besmetting van de patiënt) en de hoge installatiekosten maken het, nog meer dan in andere gevallen, noodzakelijk eisen te stellen waaraan in de gebruikstoestand moet worden voldaan. Even noodzakelijk is het een controle op de verwezenlijking van de gestelde eisen uit te voeren. In het volgende zal worden getracht een overzicht te geven van de criteria die zouden moeten worden getoetst en welke mogelijkheden daartoe openstaan.

2 HET THERMISCH COMFORT

De problemen die zich ten aanzien van de werkomstandigheden in operatiekamers voordoen liggen niet zo zeer in het ontwerp van de installatie, doch veel meer in het programma van eisen, en wel voornamelijk t.o.v. de te kiezen luchttemperatuur. Het metabolisme, d.w.z. de menselijke warmte-ontwikkeling, vooral van de chirurgen tijdens hun werk, is vrij hoog. Wanneer dit leidt tot zweetafscheiding in grote druppels is dit bijzonder hinderlijk. Door Vincent [1] worden gemiddelde waarden gegeven van de warmte-ontwikkeling van chirurgen e.a. bij temperaturen van 22°C tot 24°C. Zo vermeldt hij b.v. voor een chirurg bij 22°C een hoeveelheid voelbare warmte van 100 W en een zweetproductie van 160 g/h.

Door Wyon, Lidwell en Williams [2] werd een onderzoek uitgevoerd naar de gewenste temperaturen door verschillende groepen mensen, die tegelijkertijd in een operatiekamer werkzaam zijn. In fig. 1 wordt een ge-

deelte van hun onderzoek weergegeven in een grafiek, waarin is opgenomen het percentage van de verschillende groepen werkzaam in een operatiekamer, die temperaturen tussen 16°C en 20°C als comfortabel ervoeren. Duidelijk blijkt dat de meest gewaardeerde temperatuur voor chirurgen, anaesthetisten en verpleegsters per groep aanzienlijk verschilt. In de nederlandse omstandigheden zou een enquête met behulp van de technische diensten van ziekenhuizen waarschijnlijk een waardevolle aanvulling betekenen van dit cijfermateriaal.

Daar een ventilatie- of luchtbehandelingsinstallatie voor een operatiekamer in hoofdopzet niet afwijkt van voor andere objecten gebruikte systemen, biedt de controle of aan de gestelde eisen voldaan is in beginsel ook niet meer problemen dan in overeenkomstige installaties in kantoren e.d. Het bepalen van de capaciteit van de installatie of onderdelen daarvan en daarnaast het meten van luchttemperaturen en -snelheden benevens de relatieve vochtigheid zijn dan ook niet moeilijker.

3 VERMINDERING VAN HET AANTAL MICRO-ORGANISMEN IN DE LUCHT

Het toepassen van een ventilatiesysteem in operatiekamers is in de eerste plaats gericht op het beperken van besmetting door micro-organismen in de lucht. Voorlopig moet men wel aannemen dat hoe groter de concentratie daarvan is, des te groter de kans is op een besmetting die tot infectie kan leiden. De installatie moet dus in staat zijn een lagere concentratie van de micro-organismen te bewerkstelligen dan zonder de toepassing van een mechanisch ventilatiesysteem. De aan de ruimte toegevoerde gezuiverde ventilatielucht moet, ondanks een in de ruimte voortdurend vrijkomende stroom micro-organismen, het niveau van verontreiniging laag houden en voor een zo snel mogelijke afvoer van de verontreinigingen zorgdragen. Het zuiveren van de toe te voeren lucht, die in het algemeen rechtstreeks van buiten zal worden betrokken, wordt meestal gedaan door middel van filtratie. Of hier gebruik moet worden gemaakt van absoluutfilters met een rendement van 99,997% voor deeltjes groter dan 0,3 µm, of dat volstaan kan worden met minder

PERCENTAGE COMFORTABEL

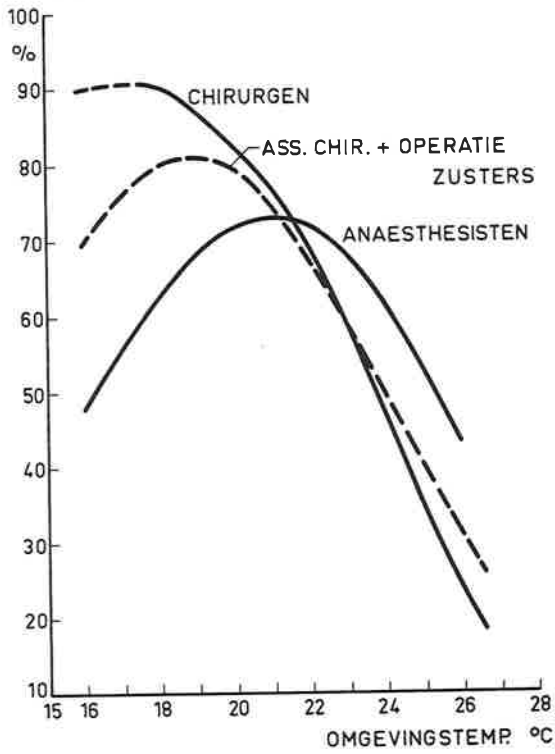


FIG. 1

VOLGENS WYON, LIDWELL, WILLIAMS

kostbare filters die een rendement hebben van 99,9% voor deeltjes groter dan 5 μm , is nog in discussie. Bij sommigen gaat om praktische en financiële redenen de voorkeur uit naar de laatste soort [3] [4]. Blowers e.a. [] zijn echter van mening dat filters met een rendement van 99,9% bij 5 mikron afdoende geacht moet worden.

3.1 Luchtkwaliteit in operatiekamers

Bij het beoordelen van de installatie aan de hand van de luchtkwaliteit in de operatiekamer, wordt de kans op toetreden van lucht uit andere ruimten uitgesloten. Daarbij wordt er van uitgegaan dat de installatie zo is uitgevoerd, dat deze o.a. voldoet aan de eisen die in enkele van de heden gehouden voordrachten zijn gesteld. Onder luchtkwaliteit wordt hier verstaan, het aantal micro-organismen dat zich in 1 m³ lucht bevindt. Daar er tevens (zie inleiding van paragraaf 3) van is uitgegaan dat het ventilatiesysteem zelf geen verontreinigingen toevoert, wordt het niveau van verontreinigingen in de kamerlucht bepaald door het aantal micro-organismen dat afgegeven wordt door de personen in de kamer. De absolute hoeveelheid hiervan is verschillend per individu en voorts sterk afhankelijk van de mate van activiteit en volgens May en Pomeroy [5] van de sexe en de aard van de kleding. May en Pomeroy vonden bij een onderzoek van 17 mannelijke, geklede proefpersonen gemiddeld 1008 kolonievormende deeltjes per minuut en bij 11 overeenkomstig geklede vrouwelijke proefpersonen 753 deeltjes per minuut. De deeltjes met een zodanige valsnelheid dat ze kunnen worden geacht langere tijd te blijven zweven maakten resp. 55% en 72,5% uit van het totaal.

De volgende vraag die zich voordoet en die grote invloed kan hebben op het ontwerp van een ventilatiesysteem is waar de deeltjes vrijkomen. Blowers, Hill en Howell [6] voerden een onderzoek uit waarbij van een mannelijke proefpersoon steeds andere lichaamsdelen door een ondoorlaatbare stof werden afgedekt. Als maatstaf namen zij het aantal staphylococcus aureus per 100 ft³ (36 m³) lucht uit de testkamer. Uit deze proeven bleek praktisch 100% van deze deeltjes afkomstig te zijn van het lichaam onder het middel.

Deze gegevens zijn van belang bij het ontwerpen van het stromingspatroon, zij geven echter geen indicatie over de benodigde hoeveelheid ventilatielucht omdat over het aantal kiemen per m^3 lucht dat toelaatbaar is, geen overeenstemming heerst. Het gewenste niveau varieert van 0 kiemen/ m^3 tot dat, wat de betreffende onderzoeker van een bepaald systeem praktisch of uit het oogpunt van economie nog bereikbaar acht. De vraag doet zich voor waar de grens moet worden gelegd. Uiteraard zal bij het nul-niveau een aerogene besmetting niet kunnen optreden, doch dit wil niet zeggen dat daarmee geen post-operatieve infecties zullen voorkomen. Naast de besmetting via de lucht, die volgens Siebbeles [7] ongeveer 1/3 deel uitmaakt van de post-operatieve infecties bestaan immers nog andere wegen, zoals de contact- en de autogene besmetting. Voorts zal een besmetting nog niet altijd tot een infectie leiden. Of het streven naar het nul-niveau gerechtvaardigd is moet dan ook nog worden betwijfeld. Het antwoord hierop zal niet alleen berusten op medische, maar ook op economische en ethische overwegingen.

3.2 De luchtstroming en bacterieconcentratie

In een operatiekamer doet zich ten aanzien van het bacteriegehalte van de lucht de moeilijkheid voor dat bij de plaats, die moet worden beschermd, de wond, de meeste bronnen van verontreinigingen zijn opgesteld, nl. het operatieteam.

Het stromingspatroon, dat in de kamer ontstaat door het ventilatiesysteem en de convectie, opgewekt door de aanwezige personen en apparatuur, zou er voor moeten zorgen dat de concentratie van verontreinigingen bij de wond zo laag mogelijk blijft en bij voorkeur onder dat van het gemiddelde van de kamer blijft. Ter illustratie van de opgewekte snelheden rond personen t.g.v. de verwarming van de lucht door henzelf kan dienen het werk van Lewis e.a. [8]. Zij vonden in een vertrek zonder sterke ventilatie bij een temperatuurverschil van $18^{\circ}C$ tussen de huid en de omgeving een snelheid op hoofdhoogte van $0,50$ m/s. De lucht in deze stroming bevatte bovendien 30-400% meer micro-organismen dan de omgevende lucht.

3.2.1 Luchttoevoersystemen

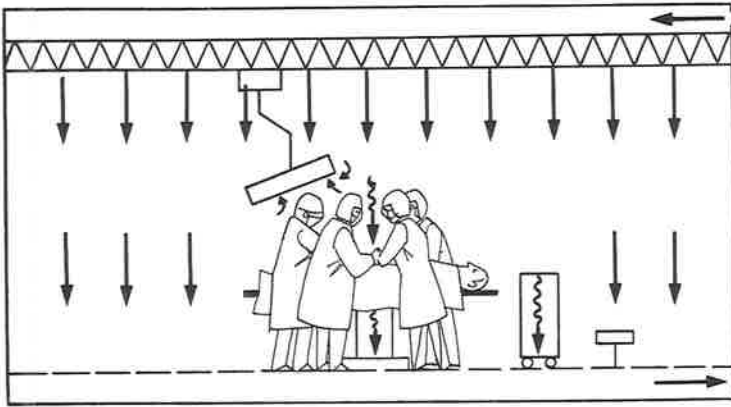
In feite kunnen twee manieren van toevoer van ventilatielucht worden onderscheiden, nl. de "unidirectional flow" en de overige toevoersystemen. De eerstgenoemde kan nog worden verdeeld in "down flow" (luchtbeweging van boven naar beneden) en "cross flow" (horizontale luchtbeweging). Mits de snelheid niet beneden een zeker minimum ligt en er wordt gezorgd voor een gelijkmatige verdeling van de lucht over het plafond resp. een wand, kan inderdaad van "éénrichtingsverkeer" worden gesproken (zie fig. 2). De minimum luchtsnelheid is nodig om te voorkomen dat convectie een kans krijgt het stromingspatroon ongunstig te beïnvloeden. Als luchtsnelheid wordt meestal gekozen 0,45 m/s, waarin een reserve is begrepen voor eventuele ongelijkmatigheden in de luchtverdeling. Bij deze snelheid blijkt de eerder genoemde convectiestroom van 0,50 m/s reeds in het geheel niet meer tot ontwikkeling te komen.

Bij alle andere luchttoevoersystemen moet rekening worden gehouden met de invloed van de inductie van de luchtstralen op het stromingspatroon en de convectie van het operatieteam en de opgestelde apparatuur (zie fig.3) De toegevoerde lucht zal zich daardoor in meerdere of mindere mate mengen met de aanwezige lucht. Daar het tot nu toe onmogelijk is op theoretische wijze de luchtstromingen en daarmee het stoftransport te voorspellen moet een en ander worden vastgesteld door middel van metingen.

3.3 Meetplaatsen en -methoden

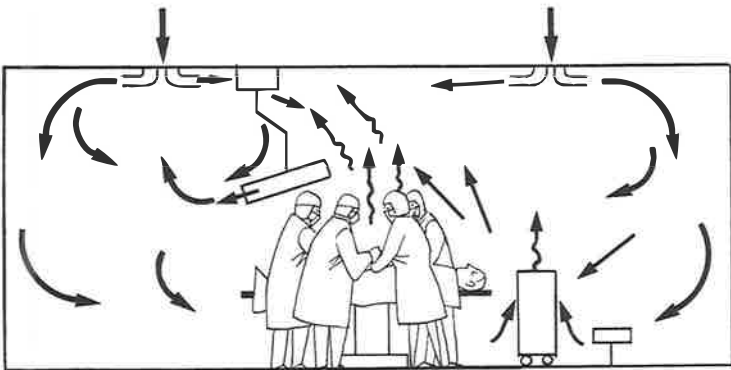
Het ligt voor de hand, dat de contrôle op de effectiviteit van een ventilatiesysteem zich zal concentreren op de meest bedreigde plaats, dus de wond. Onder effectiviteit van een ventilatiesysteem wordt verstaan de mogelijkheid om op een gekozen plaats de concentratie van verontreinigingen lager te doen blijven dan overeenkomt met volledige menging van de toegevoerde lucht en de aanwezige lucht. Hoe groter dus het quotiënt van de concentratie bij volledige menging en die op het beschouwde punt, des te effectiever is het systeem.

Zolang geen absolute waarde voor het toelaatbare kiemgehalte van de lucht kan worden opgegeven, geeft het meten op deze ene plaats niet



STROMINGSPATROON
 BIJ „DOWN-FLOW“ (SCHEMATISCH)

FIG. 2



STROMINGSPATROON
 BIJ EEN MENGEND SYSTEEM (SCHEMATISCH)

FIG. 3

voldoende informatie over de effectieve werking, in boven bedoelde zin, van het ventilatiesysteem. Er zal ook een vergelijking moeten worden gemaakt met het kiemgehalte op een aantal andere plaatsen in de kamer. Vaak wordt bij dit soort metingen gebruik gemaakt van een bacteriesoort, die op een of andere manier kunstmatig in de ruimte wordt gebracht. Naast deze methode kan het onderzoek naar de verspreiding van verontreinigingen nog op twee andere manieren plaatsvinden.

Hieronder zullen de drie meetmethoden worden besproken met hun specifieke voor- en nadelen. Het onderscheid tussen de methoden bestaat uit het verschil in de aard van de toegepaste kunstmatige verontreiniging. Deze verontreinigingen zijn, in volgorde van afnemende mate waarin ze worden gebruikt:

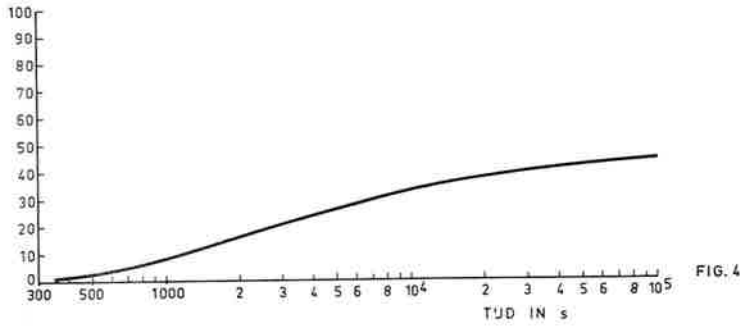
- a) een tracergas,
- b) bacteriën,
- c) stofdeeltjes met een bepaalde grootte-verdeling.

3.3.1 Metingen met tracergas

Het inbrengen van een tracergas is eenvoudig en daarmee kan zeer snel een indicatie worden verkregen van de verspreiding van het gas, omdat de concentratie van het gas kan worden omgezet in een elektrisch signaal dat zich leent voor aflezing en registratie. Met opzet is hier het woord indicatie gebruikt omdat mogelijk de moleculaire diffusie van de gebruikte gassen een rol speelt en de verspreiding van gas niet precies dezelfde wetten volgt als bij bacteriën of andere vaste deeltjes het geval is. Deze restrictie geldt alleen in die gevallen waarbij de luchtsnelheden extreem laag zijn en de diffusiesnelheid van het gas ten opzichte daarvan niet verwaarloosbaar is. De diffusiesnelheid leent zich voor berekening en deze is uitgevoerd voor het geval zich aan één zijde van een wand het tracergas (in dit geval is gekozen waterstof) bevindt en aan de andere zijde lucht. Op een bepaald moment wordt de wand verwijderd en nu is berekend hoe het concentratieverloop in een punt op een afstand van 0,5 m van de oorspronkelijke scheiding is. Dit verloop is weergegeven in fig. 4. Eerst na 365 s is de concentratie in het beschouwde punt tot 1% gestegen van de oorspronkelijke waarde aan de andere zijde van de denkbeeldige wand. In fig. 5 is nog

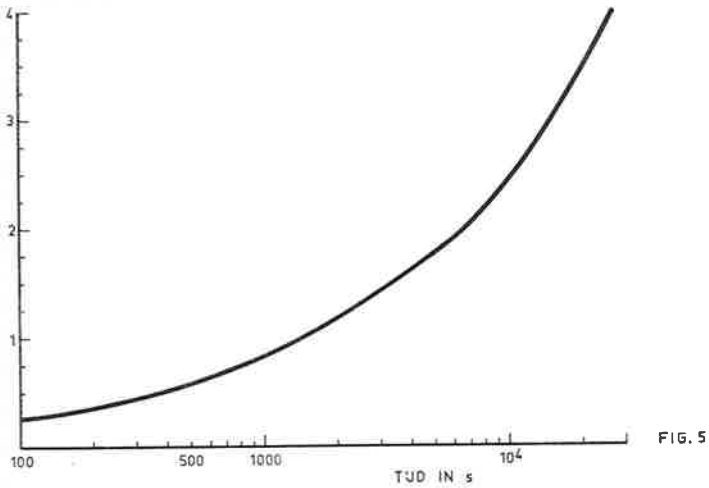
DIFFUSIE VAN WATERSTOF IN LUCHT

PERCENTAGE VAN C_0
OP 0,5 m VAN DOSEERVLAKE



TJD VOOR HET BEREIKEN VAN 1% WAARDE OP
VERSCHILLENDE AFSTANDEN VAN HET DOSEERVLAKE

AFSTAND VAN
DOSEERVLAKE IN m



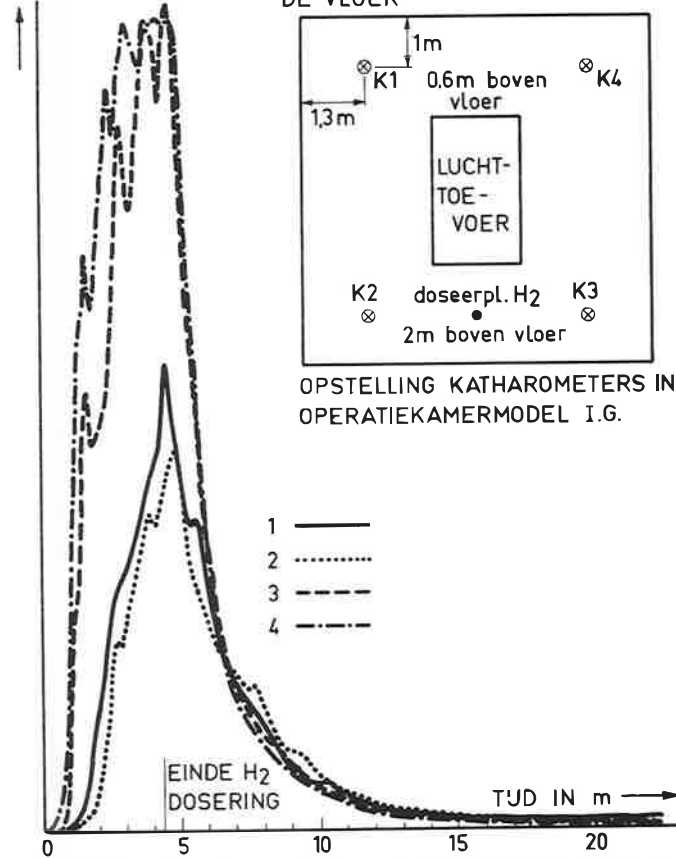
aangegeven op welk tijdstip de 1% grens bereikt wordt op verschillende afstanden van de wand. De wijze van berekening is opgenomen in een appendix.

De toepassing van tracergas vereist enig inzicht omdat het mogelijk is dat de toevoer van het tracergas op een zodanige plaats geschiedt, dat het gas niet, of in een naar verhouding geringe mate, in het luchtstromingspatroon kan worden opgenomen. Daardoor kunnen dan conclusies over bescherming door het ventilatiesysteem worden getrokken, die geen relatie hebben met de werkelijkheid. Het meest extreme voorbeeld is dat het tracergas wordt gedoseerd vlakbij de afvoeropening van de lucht en dat daar ook de gasconcentratie wordt gemeten, terwijl ter vergelijking de gasconcentratie wordt bepaald op de operatietafel. De effectiviteit zou dan oneindig groot zijn! Zo extreem zal echter wel niemand zijn proeven uitvoeren.

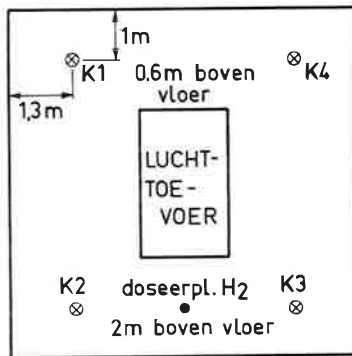
Een onderzoek in het model van de operatiekamer van het Instituut voor Gezondheidstechniek [9] leerde ons, dat vergelijking van concentraties op verschillende, overigens met overleg gekozen punten, niet zonder meer geoorloofd is. In de plattegrond van fig. 6 is aangegeven waar vier katharometers (opnemers voor de concentratiemeting van het tracergas) waren opgesteld op 0,60 m boven de vloer. In het midden van de korte zijde, tussen de wand en de bak werd op 2 m boven de vloer waterstof toegevoerd. Het ventilatievoud over de gehele kamer, berekend uit gemeten luchthoeveelheden was ca 60 h^{-1} . Uit het verloop van de concentraties (zie fig. 6) zou kunnen worden afgeleid, dat de zijde van de kamer waar de katharometers 1 en 2 zijn opgesteld beter beschermd is dan de andere zijde. Wordt uit het afnemen van de concentratie, direct na het einde van de waterstoftoevoer de ventilatievouden op de vier punten berekend, dan blijken deze vrij ver uiteen te liggen n.l. in punt 1: 31/h, in punt 2: 23/h, in punt 3: 45/h en in punt 4: 68/h.

Enige tijd na het beëindigen van de waterstoftoevoer, d.w.z. in het laatste deel van de kromme, blijken zowel het niveau als het verloop van de concentratie op de verschillende punten nauwelijks meer te verschillen. Wordt het ventilatievoud op basis van dit laatste gedeelte van de krommen berekend, dan blijkt dit voor de beschouwde punten ca

UITSLAG METER



LUCHTAFVOER RONDOM LANGS DE VLOER



OPSTELLING KATHAROMETERS IN OPERATIEKAMERMODEL I.G.

- 1 ———
- 2 ·····
- 3 - - - -
- 4 - · - ·

EINDE H₂
DOSERING

TJD IN m →

FIG. 6

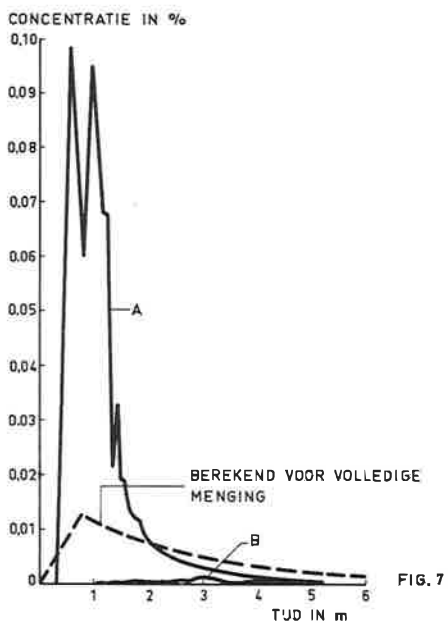
CONCENTRATIEVERLOOP WATERSTOF OP ENKELE PLAATSEN IN OPERATIEKAMERMODEL I.G.

25 te zijn met zeer geringe onderlinge verschillen. Hieruit kan worden geconcludeerd, dat niet verschillen in ventilatievoud worden gemeten, maar dat de systematiek van de proef de oorzaak is van de verschillen. Met een stootsgewijze toevoer van het tracergas worden de gemeten verschillen in concentratie op de verschillende punten hoofdzakelijk veroorzaakt door het nog niet voltooide mengproces.

Toch vindt men in de literatuur soortgelijke proeven waaraan onjuiste conclusies worden verbonden t.a.v. bescherming. In fig. 7 wordt zo'n grafiek getoond waaruit een bescherming wordt berekend als quotiënt van de oppervlakken omschreven door de lijnen A en B. De lijnen geven het concentratieverloop van een tracergas op twee punten in een kamer aan t.g.v. een puntvormige dosering aan een zijde van de kamer. Wordt het concentratieverloop berekend voor het geval onmiddellijke, volledige menging zou optreden, dan zou de curve C ontstaan, die dan in het laatste deel weinig blijkt af te wijken van B.

Hoewel het nog niet op bruikbaarheid onderzocht is, lijkt een "omgekeerde bewijsvoering" d.w.z. het inbrengen in de luchtstraal van het tracergas en de bepaling van de concentratie op de meest bedreigde plaats mogelijkheden te bieden. Op deze plaats zou dan de maximum concentratie moeten optreden als de bescherming maximaal is.

Welke methode ook gevolgd moge worden, duidelijk is het dat niet een vergelijking van de concentratie op twee punten gebruikt mag worden om conclusies te trekken. Op zijn minst zou bij discontinue toevoer van tracergas over een langere tijd moeten worden gemeten totdat zeker is dat een stationaire toestand is verkregen. Daarna kan de concentratie op de plaats van de operatietafel met b.v. de concentratie in de afgevoerde lucht worden vergeleken. De plaats van het doseerpunt heeft een belangrijke invloed op de verkregen resultaten. Beter zou zijn een continue toevoer van tracergas toe te passen waardoor in de stationaire toestand nog meetbare hoeveelheden gas aanwezig zijn. Bij de stootsgewijze toevoer kan de concentratie in de stationaire toestand al zo laag geworden zijn dat de metingen tot onjuiste, hetzij te gunstige, hetzij te ongunstige conclusies zouden kunnen leiden.



CONCENTRATIEVERLOOP OP 2 PUNTEN
IN EEN KAMER

3.3.2 Metingen met bacteriën

Het inbrengen van bacteriën lijkt het meest overeen te komen met de werkelijke situatie. Door de keuze van de soort bacteriën en een voedingsbodem, waarop alleen of hoofdzakelijk deze bacterie kolonies vormt, kan een bepaling worden uitgevoerd die nagenoeg onafhankelijk is van de "achtergrond-vervuiling". De voedingsbodem wordt aangebracht op Petrischalen met een diameter van 9 cm die op een aantal plaatsen worden neergezet. Bacteriën die op de schaaltes terecht komen (sedimenteren) vormen na een kweekperiode van b.v. 24 uur kolonies, die eenvoudig en met het blote oog kunnen worden geteld.

Om het kiem-gehalte per m^3 lucht te bepalen worden z.g. slitsamplers gebruikt. Een nauwkeurig bekende hoeveelheid lucht wordt door een nauwe spleet gezogen, die zich dicht boven een Petrischaal bevindt waarin een voedingsbodem is aangebracht. Door de hoge luchtsnelheid in de spleet, waardoor een straal gevormd wordt loodrecht op de voedingsbodem, worden de bacteriën uitgeslingerd en komen op de voedingsbodem terecht en vormen daar na een kweekperiode de gebruikelijke kolonies. Het Petrischaaltje wordt door een elektromotortje in het rond gedraaid, b.v. 1 omwenteling per 6 min., waardoor steeds een nieuw gedeelte van de voedingsbodem onder de spleet komt. Zo kan het verloop van de concentratie in de tijd worden gemeten.

Bij eerste beschouwing lijkt dit een ideale methode te zijn, afgezien van het feit, dat de resultaten van de metingen niet direct beschikbaar zijn i.v.m. de kweekperiode. Er blijken echter een aantal onduidelijkheden bij deze methode te bestaan, zoals de sterfte van de toegepaste bacteriën, de afhankelijkheid van de uitkomsten van de metingen van de concentratie aan bacteriën, de monstername en de deeltjesgrootte van de verstoven bacterienevel.

Om te voorkomen dat na iedere proef de proefopstelling of het te controleren object gesteriliseerd moet worden, gebruikt men bacteriën met een korte levensduur. Dit houdt echter in, dat de concentratiemetingen over enig tijdsverloop, bedoeld om een indruk te krijgen van de z.g. verdwijningstijd (de tijd nodig om door ventilatie de concen-

tratie tot nul te reduceren), versluierd worden door de bacteriesterfte. Ter illustratie kan dienen het resultaat van een aantal bacterieproeven die door Dr. v.d. Waaij en zijn medewerkers van het Radiobiologisch Instituut TNO in ons operatiekamermodel zijn uitgevoerd. Bij een aantal verschillende ventilatievouden werd steeds 9 ml van een suspensie met 10^5 E. coli 5165/ml boven de tafel verstoven in 12-15 s. Als voedingsbodem werd gebruikt Endo-agar (DIFCO). Op de operatietafel waren twee slitsamplers geplaatst en in de buitenzône één. De resultaten zijn weergegeven in onderstaande tabel.

| ventilatie- voud h^{-1} | kolonies in slitsampler | | in de buiten- zône |
|------------------------------|----------------------------|----|-----------------------|
| | op de opera- tietafel | | |
| | 1 | 2 | |
| 62 | 46 | 62 | 6 |
| 42 | 44 | 46 | 10 |
| 28 | 35 | 42 | 1 |
| 15 | 34 | 12 | 0 |
| vent. af | 13 | 0 | 0 |

Een andere proef, met constant ventilatievoud en een oplopende concentratie van bacteriën in de nevel die boven de tafel werd geproduceerd bood ook weinig houvast. Er werd steeds 9 ml suspensie verstoven; er werd een monster genomen door een slitsampler in de buitenzône. Ondanks de verschillen in bacterieconcentratie werd een praktisch gelijk aantal kolonies gevonden bij de verschillende proeven.

Deze metingen geven een duidelijke indicatie, dat ook deze methode met de nodige voorzichtigheid moet worden toegepast! Bij de metingen in de tabel vermeld, veranderde met het ventilatievoud o.a. het stromingspatroon door de toenemende invloed van de convectie van de aanwezige dummies, waardoor de bacteriën een andere, langere weg moesten volgen om bij de monsternamen-apparaten te komen. Voorts is evenals bij de metingen met tracergas de toevoer van bacteriën stootsgewijs, zodat ook hier het mengproces invloed heeft op de waarnemingen. Dit zou

mede de oorzaak kunnen zijn van deze resultaten.

Volgens een onderzoek van Schiff en Fonrobert [10] kan ook het gebruik van verschillende monstername-apparaten tot verschillende uitkomsten leiden. Zelfs bij het toepassen van één type monstername-apparaat kunnen aanzienlijke verschillen in uitkomsten optreden, waarbij de oorzaak van de verschillen niet direct is aan te wijzen. Daar het "aanslaan" van bacteriën op de voedingsbodem ook een kwestie van kansen is, kunnen bij eenzelfde bacterieconcentratie wisselende aantallen kolonies worden verwacht.

Bij het vernevelen van de suspensie komt voorts als onbekende factor de grootte van de druppels en de daarmee samenhangende snelheid van de verdamping naar voren, waardoor de druppelgrootte snel verandert. De rondzwevende deeltjes komen daardoor in de grootte-orde van maximaal enkele duizendsten mm (μm), terwijl in de praktijk blijkt dat de deeltjes waaraan of waarop zich bacteriën bevinden 2-15 μm zijn.

Omdat het inbrengen van de bacteriën meestal geschiedt door het met lucht verstuiven van een vloeistof waarin bacteriën zijn gesuspenseerd, kan de luchtstraal van het verstuivingstoestel een niet te verwaarlozen invloed uitoefenen op het luchtstromingspatroon, afhankelijk van de kracht van de verstuivingsstraal.

3.3.3 Metingen met stofdeeltjes

Bij gebruik van stof, d.w.z. deeltjes van een vaste of vloeibare materie, ontbreekt het nadeel van de diffusie. Door de keuze van de deeltjesgrootte kan vermoedelijk een goede overeenkomst met de werkelijkheid worden verkregen. In de literatuur wordt voor de deeltjesgrootte van bacteriën, eventueel gehecht aan stof e.d., opgegeven 2-15 μm .

Tot voor kort stuitte deze methode echter af op de moeilijke detectie. Vooral de telling van het aantal deeltjes was een zeer inspannend en tijdrovend werk. Op het ogenblik echter bestaat een methode om via foto's van de genomen monsters de telling te automatiseren. Ook met de Royco Particle Counter kan zo'n concentratiemeting worden uitgevoerd. Bij beide methoden bestaat echter het probleem dat zij voor deeltjes groter dan 7 μm nagenoeg ongevoelig zijn.

De conclusie lijkt gerechtvaardigd dat een nader onderzoek naar de bo-

vengenoemde methoden zal moeten worden uitgevoerd, waarbij de methode met stofdeeltjes en om meettechnische redenen en omdat hij geen bacteriologische vervuiling veroorzaakt wel eens de beste methode zou kunnen blijken.

4 CONCLUSIES

Samenvattend komt men tot vier punten waaraan het onderzoek van een uitgevoerd ventilatiesysteem voor operatiekamers moet voldoen. De gewenste mate van effectiviteit moet in het programma van eisen duidelijk worden omschreven, zoals de vereiste hoeveelheid lucht, het temperatuurniveau en de relatieve vochtigheid in de kamer, en tenslotte bij verspreiding van een bepaalde hoeveelheid micro-organismen per tijdseenheid op bepaalde plaatsen het niveau van deze verontreiniging op de daartoe aangewezen andere plaatsen.

Achtereenvolgens zouden moeten worden gemeten:

- a) De hoeveelheid lucht die wordt toegevoerd en afgevoerd, eventueel gecombineerd met drukverschillen tussen de operatiekamer en aangrenzende ruimten.
- b) Het temperatuurniveau en de relatieve vochtigheid bij deze temperatuur, uiteraard bij de maximaal te verwachten bezetting waarop de installatie is berekend.
Dit onderzoek kan worden uitgevoerd door gebruik te maken van verwarmde dummies van personen en de te gebruiken apparatuur.
- c) Het bepalen van het stromingspatroon van de lucht in de kamer bij de volle warmtebelasting waarmee een kwalitatieve indruk kan worden verkregen over het transport van micro-organismen en een kwantitatieve meting van de temperatuurverdeling.
- d) Kwantitatieve bepaling van de hoeveelheid van verontreiniging op arbitraire plaatsen in de kamer bij een bekende en continue dosering van verontreiniging op andere arbitraire plaatsen in de kamer. Bij deze bepaling zal nauwlettend moeten worden toegezien op de juiste uitvoering ervan.

De onder a) en b) genoemde metingen behoeven geen nadere uiteenzetting; zij kunnen worden geacht min of meer tot de routine van de oplevering te behoren. Dit in tegenstelling tot c) en d) waarvoor het o.i. nodig is dat vastgesteld, d.w.z. gestandaardiseerd of genormaliseerd, worden, de plaats en het aantal doorsneden van de kamer waarin metingen aan luchtsnelheid en -richting zullen worden gedaan en de methode inclusief de wijze van uitvoering van de meting van de verontreinigingen.

Eerst dan zal duidelijk kunnen worden vastgesteld of een bepaalde wijze van luchttoevoer aan operatiekamers voldoet aan de eisen die uit het oogpunt van comfort en reinheid zijn gesteld. Ook het vergelijken van de effectiviteit van verschillende systemen kan pas dan op enigszins betrouwbare wijze worden vergeleken.

Een samenspraak tussen technici en medici om de genoemde resp. geëistte grenzen aan te geven en samenwerking bij het onderzoek van de mogelijkheden van ventilatie zal noodzakelijk zijn.

5 APPENDIX

Door Ir. R.D. Crommelin

Uitgegaan wordt van een scheidingsvlak bij $x = 0$. In het gebied, waarvoor geldt $x > 0$, bevindt zich zuivere lucht; in het gebied, waarvoor geldt $x < 0$, bevindt zich lucht met waterstof. De concentratie van waterstof in dit laatste gebied is C_0 . Figuur 8 geeft de situatie schematisch weer.

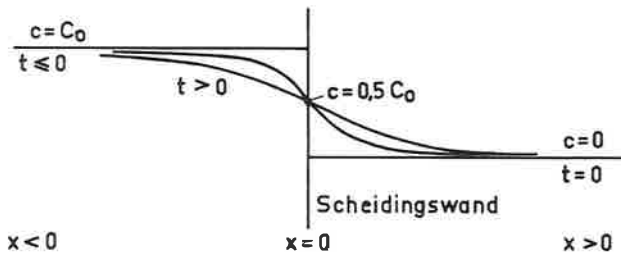


Fig. 8. Concentraties aan weerszijde van de scheidingswand.

Op het tijdstip $t = 0$ wordt de scheidingswand verwijderd waarna de waterstof in de lucht in het gebied $x < 0$ door diffusie in het gebied $x > 0$ zal dringen. De vergelijking voor de waterstof, welke dit diffusieproces beschrijft, en de randvoorwaarden voor dit probleem luiden:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2}$$

$$t \leq 0, x < 0 : c = C_0$$

$$t \leq 0, x > 0 : c = 0$$

$$t > 0, x \rightarrow -\infty : c \rightarrow C_0$$

$$t > 0, x \rightarrow +\infty : c \rightarrow 0$$

De oplossing van de vergelijking, welke aan de gegeven randvoorwaarden

voldoet, luidt:

$$c = \frac{1}{2} C_0 \left\{ 1 - \operatorname{erf} \frac{x}{\sqrt{4Dt}} \right\}$$

Hierin is: c = concentratie

D = diffusie-coëfficiënt (m^2/s)

x = afstand tot de plaats van het scheidingsvlak

t = tijd

Verder is erf een afkorting van error function en gedefiniëerd als volgt:

$$\operatorname{erf} p \equiv \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^p e^{-n^2} dn$$

Deze functie is dus een geïntegreerde Gauss-verdelingscurve gevormd op 1 voor $p \rightarrow \infty$ door de factor $\frac{2}{\sqrt{\pi}}$. Enkele eigenschappen van de erf-functie:

$$\operatorname{erf} 0 = 0$$

$$\operatorname{erf} \infty = 1$$

$$\operatorname{erf} (-p) = -\operatorname{erf} p$$

Numerieke waarden van de erf kunnen worden gevonden in tabellen, bijv. in Jahnke-Ende, Tafeln höherer Funktionen.

In tabel 2 is de tijd berekend, waarin de concentratie in een punt, waarvoor geldt $x = 0,5$ m, toeneemt van 0 tot verschillende percentages van C_0 .

De diffusiecoëfficiënt van waterstof in lucht is $6,34 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$. Uit de formule voor c blijkt dat bij $x = 0$ voor $t > 0$ de concentratie c de helft is van C_0 , bij $t = 0$ is echter in $x = 0$ de concentratie niet eenduidig bepaald. In ieder punt, zowel $x > 0$ als $x < 0$, nadert c naar $\frac{1}{2}C_0$ als $t \rightarrow \infty$. Dit alles is ook fysisch gemakkelijk in te zien. In andere punten is de concentratie m.b.v. tabel 2 wel te berekenen. In een punt $x = x_1$ wordt de tijd, nodig om een bepaalde waarde $\frac{C}{C_0}$ te bereiken, een factor $\left(\frac{x_1}{0,5}\right)^2$ groter (x_1 in m). Verder is deze tijd in een bepaald

punt omgekeerd evenredig met de diffusie-coëfficiënt indien een ander gas dan waterstof wordt gebruikt.

| $\frac{C}{C_0}$ in % | t in s |
|----------------------|--------|
| 1 | 365 |
| 2 | 466 |
| 5 | 723 |
| 10 | 1188 |
| 20 | 2770 |
| 30 | 7200 |
| 40 | 30800 |
| 45 | 124000 |

Tabel 2. Concentratieverloop van waterstof in een punt waarvoor geldt: $x = 0,5$ m.

6 LITERATUUR

- [1] Vincent, M.
Le Conditionnement d'air dans les blocs operatoires (1968)
Chauff. Vent. et Cond. 44e jaarg. no. 7, p. 19-26, 40-46
- [2] Wyon, D.P., Lidwell, O.M., Williams, R.E.O.
Thermal Comfort during surgical operations (1969)
J.I.H.V.E. Vol. 37, p. 150-158, 168
- [3] Cole, W.R., Bernard, H.R., Gravens, D.L.
Control of airborne bacteria in operating rooms (1965)
Hospitals J.A.H.A. Vol. 39, p. 79-84
- [4] Van der Waaij, D.
Bacteriologische aspecten van ventilatiesystemen van

- operatiekamers (1972)
Het Ziekenhuis Vol. 6, p. 82-87
- [5] May, K.R., Pomeroy, N.P.
Bacterial dispersion from the body surface
IVth Int. Symp. on Aerobiology (1972)
- [6] Blowers, R., Hill, J., Howell, A.
Shedding of Staphylococcus aureus by human carriers
IVth Int. Symp. on Aerobiology (1972)
- [7] Siebbeles, H.W.R.
Sources of post-operative wound infections with
staphylococcus aureus (1971)
Arch. Chir. Neerlandicum Vol. XXIII, p. 35-53
- [8] Lewis, H.E., Foster, A.R., Mullan, B.J.,
Cox, R.N., Clark, R.P.
Aerodynamics of the human micro-environment
The Lancet, 28 June 1969, p. 1273-1277
- [9] Bossers, P.A.
Luchtverdeling in operatiekamers (1971)
Publ. no. 398 Instituut voor Gezondheidstechniek TNO
- [10] Schiff, W., Fonrobert, R.
Zur Problematik quantitativer Luftkeimhaushalts-
bestimmungen
- [11] Blowers, R., Crew, B.
Ventilating of operating theatres
J. Hyg., Camb. (1960), 58, p. 427-447

U.D.C. 697.957 : 725.51 : 614.45

DE PLATTEGROND VAN EEN ISOLATIEKAMER
UIT LUCHTTECHNISCH OOGPUNT BESCHOUWD

W.F. de Gids

I N H O U D

1 INLEIDING

2 ALGEMENE UITGANGSPUNTEN

3 HET ONDERZOEK

3.1 De ziekenkamer zonder sluis

3.2 Een kamer met sluis

3.3 Kamer met sluis die voorzien is van kleedruimten
met wasgelegenheid

3.4 Kamer met sluis die voorzien is van een doorloopruimte
tussen de kleedruimten

4 STRIKTE ISOLATIE

5 CONCLUSIES

6 SLOTOPMERKINGEN

7 LITERATUUR

1 INLEIDING

Isolatie van patiënten in ziekenhuizen betekent afzondering van deze patiënten ten opzichte van de rest van het ziekenhuis. Deze afzondering is noodzakelijk in gevallen dat het ontvangen of verspreiden van micro-organismen besmetting met te grote risico's kan veroorzaken. Besmetting betekent kans op ziekteverschijnselen, die ernstige gevolgen kunnen hebben. In een ziekenhuis wordt er naar gestreefd besmetting zoveel mogelijk te vermijden. Isolatie van patiënten kan nodig zijn in de volgende gevallen (fig. 1):

- Bij patiënten die besmettelijke micro-organismen verspreiden zodat zij deze door contact of via de lucht op anderen kunnen overbrengen. Maatregelen tot het voorkomen van deze overdracht noemt men conventionele of normale isolatie.
- Bij patiënten die verminderde weerstand hebben tegen de normaal in de omgeving voorkomende micro-organismen.

Isolatie omdat bescherming van de patiënt tegen de omgeving noodzakelijk is, wordt omgekeerde isolatie genoemd.

- Soms is het gewenst zowel de patiënt tegen de omgeving als de omgeving tegen de patiënt te beschermen. Dit is bijv. het geval als een patiënt micro-organismen verspreidt en tegelijkertijd een verminderde weerstand heeft.

Isolatie voor patiënt en omgeving zou men universele isolatie kunnen noemen.

Moet ernaar worden gestreefd dat geen enkele kiem kan worden overgedragen, dan spreekt men van strikte isolatie.

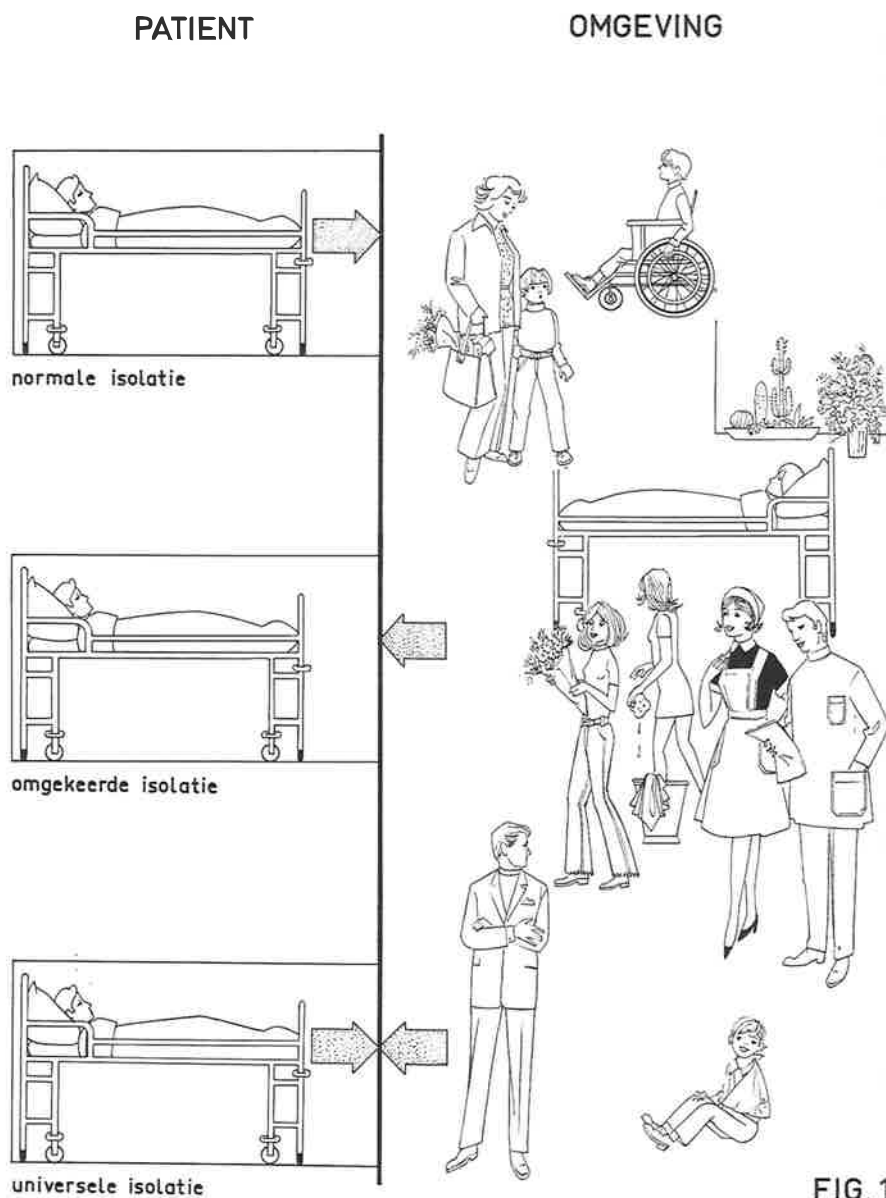
Zo kan er sprake zijn van:

- a) strikte normale isolatie
- b) strikte omgekeerde isolatie
- c) strikte universele isolatie

Isolatie kan men in principe bereiken door:

- een juiste discipline van het behandelend personeel;
- een bepaalde bouwkundige indeling van de isolatiekamer;
- alsmede door de beheersing van de luchttransporten tussen ruimten,

BESMETTING



waarbij ook het openen of open staan van deuren in de beschouwing moet worden betrokken.

De vraag is nu welke bouwkundige indeling tezamen met het ventilatiesysteem voldoet aan bovenstaande eisen.

Het is noodzakelijk de mogelijkheden systematisch te analyseren. Hoewel er incidenteel op dit gebied wel werk wordt verricht, is over systematisch onderzoek vrijwel niets bekend. Een uitzondering hierop is het werk van G. Baird, c.s. [1] [2].

Het doel van dit onderzoek is de mogelijkheden en de beperkingen aan te geven tot het realiseren van de verschillende soorten isolatie, na een analyse van de luchtstromingsmogelijkheden.

2 ALGEMENE UITGANGSPUNTEN

Luchtstromingen worden veroorzaakt door drukverschillen. Om drukverschillen onder alle omstandigheden te handhaven zijn luchtstromen nodig die door middel van ventilatoren in stand moeten worden gehouden. Zonder mechanische ventilatie is het voortdurend handhaven van luchttransporten in één bepaalde richting niet te verwezenlijken. Er wordt van uitgegaan dat de te onderzoeken ruimten, op de deurkieren en luchtroosters na, geen andere mogelijkheden van luchtlekkage mogen hebben. Dit betekent dat aan de luchtdoorlatendheid van de kieren en naden van binnenwanden en zeker ook de gevels hoge eisen moeten worden gesteld. Elke beschouwing is zinloos als de winddruk de gewenste drukverschillen op oncontroleerbare wijze kan verstoren. Een ander uitgangspunt bij dit onderzoek is, dat in twee aan elkaar grenzende ruimten nooit exact gelijke drukken kunnen heersen, zodat altijd een luchttransport hoe gering ook van de ene naar de andere ruimte plaatsvindt.

Bij de beschouwingen over drukken zijn 5 drukniveaus gekozen, opklimmend als volgt gerangschikt: --, -, 0, +, ++.

De drukverschillen worden beschouwd ten opzichte van de druk in de gang die bij afspraak een referentiedruk 0 heeft. De gang is steeds als niet kiemvrij aangenomen. Bij aanwezigheid van een toilet, mag dit toilet slechts vanuit de kamer te betreden zijn, terwijl het toilet onder alle omstandigheden moet worden afgezogen. Tenslotte is steeds uitgegaan van één persoon per kamer, omdat bij meer dan één persoon altijd besmetting mogelijk is.

3 HET ONDERZOEK

3.1 De ziekenkamer zonder sluis

Het meest eenvoudige in bouwkundig opzicht is een kamer die via een deur met een gang in verbinding staat (fig. 2). Er zijn twee luchtstromingsrichtingen mogelijk, nl. van de gang naar de kamer (fig. 3A) en andersom (fig. 3B). Normale isolatie is mogelijk bij onderdruk in de kamer ten opzichte van de gang (3A), en omgekeerde isolatie bij overdruk in de kamer ten opzichte van de gang (3B).

De verstoring van de luchtstromingsrichting in de deuropening door:

- het openen van deuren,
- het door de deuropening lopen van personen,

moet dan evenals de overdracht van micro-organismen via de kleding toelaatbaar zijn.

Bij geopende deuren kan de luchtstromingsrichting in de deuropening worden verstoord door:

- verschillende temperatuurgradiënten in verticale richting,
- een temperatuurverschil tussen de kamer en de gang.

Deze temperatuurinvloeden kunnen worden vermeden, als aan bepaalde eisen wordt voldaan. [3].

Universele isolatie, waarbij tegelijkertijd de patiënt tegen zijn omgeving en de omgeving tegen de patiënt wordt beschermd, is met een ziekenkamer zonder sluis niet te bereiken. Voor universele isolatie is tenminste één ruimte tussen kamer en gang noodzakelijk.

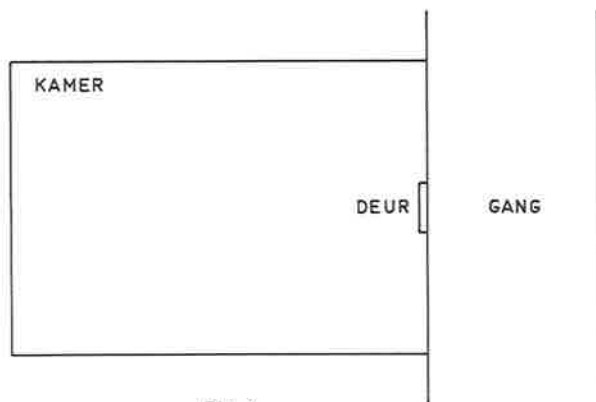
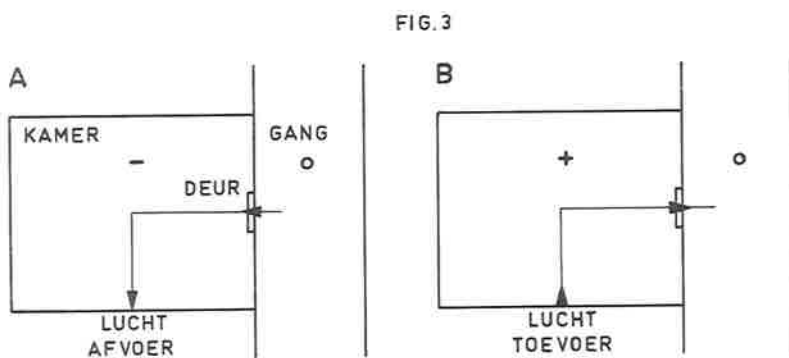


FIG. 2



BESCHERMING VAN DE
OMGEVING,
NORMALE ISOLATIE

BESCHERMING VAN DE
PATIENT,
OMGEKEERDE ISOLATIE

3.2 Een kamer met sluis

Een kamer kan van de gang worden gescheiden door een sluis (fig. 4). Er zijn in dit geval vier luchtstromingsmogelijkheden aanwezig (fig. 5A t/m 5D). De stromingsmogelijkheden kunnen met verschillende drukniveaus worden bereikt. Bij een gangdruk 0, zijn met de drukniveaus ++, +, -, -- twaalf drukcombinaties mogelijk, doch slechts vier luchtstromingsmogelijkheden (fig. 6).

Bij de beoordeling van de stromingsmogelijkheden moet het volgende in beschouwing worden genomen:

- bij normale isolatie mag de gang niet worden besmet met van de patiënt afkomstige micro-organismen;
- bij omgekeerde isolatie mag de kamer niet worden besmet met micro-organismen uit de gang;
- bij universele isolatie mag de kamer niet worden besmet met micro-organismen uit de gang en de gang niet worden besmet met van de patiënt afkomstige micro-organismen.

We gaan nu na welke isolatiemogelijkheden een kamer met sluis biedt, als eveneens in aanmerking wordt genomen:

- de verstoring van de luchtstroming in de deuropening door het openen van deuren;
- het door de deuropening lopen van personen;
- de overdracht van micro-organismen via de kleding.

Voor het beoordelen van de luchtstromingsmogelijkheden beschouwen we figuur 7.

A) Stroming vanuit de gang via de sluis naar de kamer.

Normale isolatie, dit is bescherming van de omgeving, is mogelijk.

B) Stroming vanuit de kamer via de sluis naar de gang.

Omgekeerde isolatie is met deze stromingsmogelijkheid te bereiken.

C) Stroming zowel vanuit de kamer als vanuit de gang naar de sluis.

Met deze stromingsmogelijkheid is universele isolatie, dus zowel bescherming van patiënt als van omgeving, mogelijk.

De onder A, B en C genoemde isolatiemogelijkheden zijn afhankelijk van de verstoring van de luchtstromingsrichting in de deuropening en

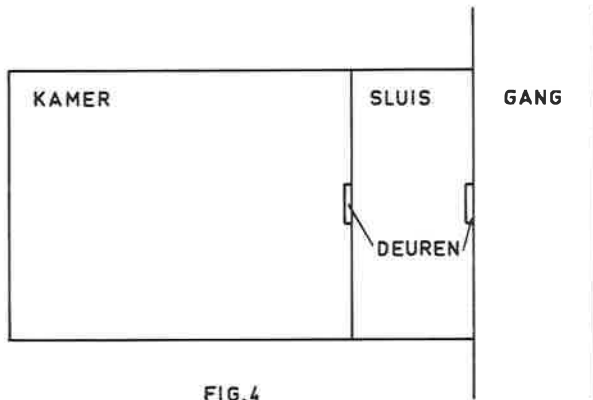


FIG. 4

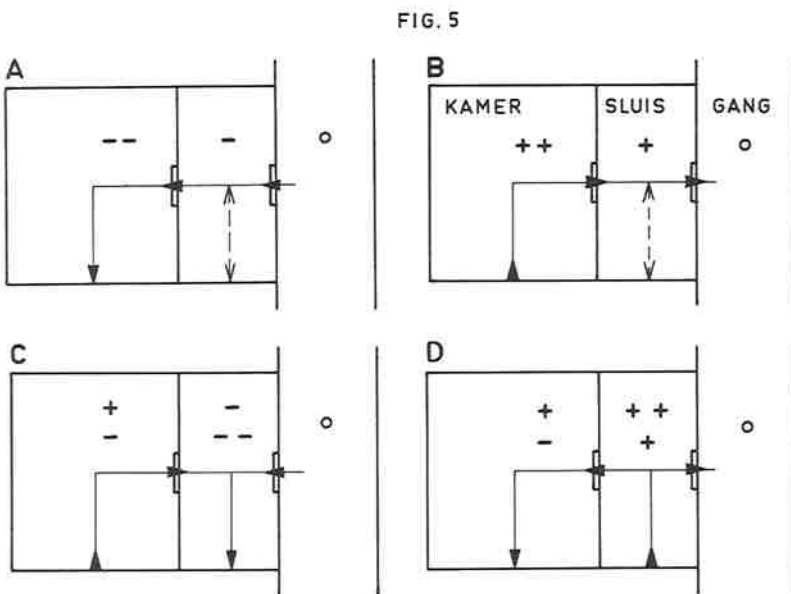


FIG. 6

| № | DRUKSYMBOOL | | | IS GELUK AAN |
|---|-------------|-------|------|-----------------|
| | KAMER | SLUIS | GANG | |
| 1 | ++ | + | o | |
| 2 | ++ | - | o | ← |
| → | ++ | -- | o | → |
| → | + | - | o | → |
| → | + | -- | o | → |
| → | - | -- | o | → |
| 3 | + | ++ | o | ← |
| → | - | ++ | o | → |
| → | -- | ++ | o | → |
| → | -- | + | o | → |
| → | - | + | o | → |
| 4 | -- | - | o | |

FIG. 7

| SITUATIE | | | | BEOORDELING | | | | |
|----------|-------|------|--------------------------------------|---------------------|--|--|--|--|
| KAMER | SLUIS | GANG | DRUK/LUCHTSTROMINGS- MOGELIJKHEID | UNIVERSELE ISOLATIE | | | | |
| | | | | OMGEKEERDE ISOLATIE | | NORMALE ISOLATIE | | |
| | | | | KAMER | SLUIS | SLUIS | GANG | |
| A | --- | → | → | o | FOUT, BESMET DOOR KIEMEN UIT DE GANG | FOUT, BE- SMET DOOR KIEMEN VAN VERPLEEG- KLEDING | GOED | |
| B | ++ | → | + | → | o | GOED | FOUT, BE- SMET DOOR KIEMEN VAN WANDEL- KLEDING | FOUT, BESMET DOOR KIEMEN VAN PATIËNT |
| C | + | → | - | → | o | GOED | FOUT, BE- SMET DOOR KIEMEN UIT DE GANG | FOUT, BE- SMET DOOR KIEMEN VAN PATIËNT |
| D | + | ← | ++ | → | o | FOUT BESMET DOOR KIEMEN VAN KLEDING | | |

van de overdracht van micro-organismen via de kleding.

D) Stroming vanuit de sluis naar de gang en de kamer.

Universele isolatie is in principe mogelijk, doch als door welke oorzaak dan ook de sluis wordt besmet, hetgeen via de kleding altijd het geval is, worden automatisch zowel de kamer als de gang besmet. Deze mogelijkheid is dus af te raden.

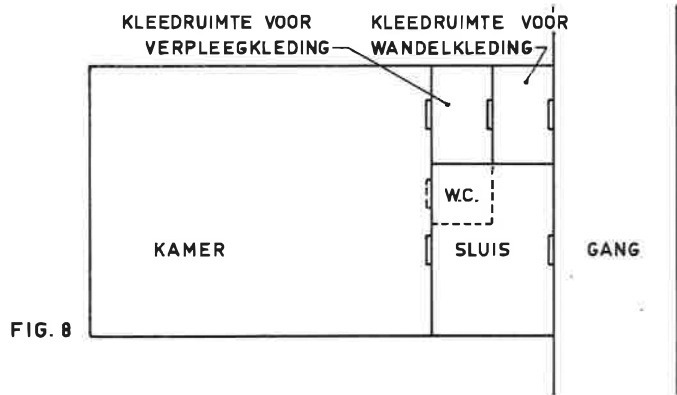
Is de overdracht van micro-organismen via de kleding en de verstoring van de luchtstromingsrichting in de deuren niet aanvaardbaar dan moeten in de sluis kleedruimten, eventueel voorzien van wasgelegenheid, worden aangebracht.

3.3 Kamer met sluis die voorzien is van kleedruimten met wasgelegenheid

Wil men het besmetten van de sluis voorkomen en tevens de invloed van de verstoring van de luchtstromingsrichting in de deuropening uitschakelen, dan dienen de personen die de kamer willen betreden een aantal ruimten te doorlopen, waarin van kleding kan worden gewisseld en waarin bovendien, als dat noodzakelijk is, wasgelegenheid aanwezig is.

Om besmetting van de sluis te vermijden mag de toegang tot de kleedruimten niet vanuit de sluis kunnen geschieden. Ergo zal de toegang van de kleedruimte waar de wandelkleding wordt uitgetrokken aan de gang moeten grenzen. De uitgang van de ruimte waar de verpleegkleding wordt uitgetrokken zal aan de kamerzijde moeten zijn (fig. 8). Als de sluis niet besmet mag worden door wandel- en/of verpleegkleding, zijn er twee stromingsmogelijkheden die tot universele isolatie leiden, nl. die waarbij uit de sluis wordt afgezogen en die waarbij in de sluis wordt ingeblazen (fig. 5A en 5B). Er zijn in deze situatie acht stromingsmogelijkheden die zijn samengevat in figuur 9. Bij de beoordeling van de isolatiemogelijkheden is met de volgende aspecten rekening gehouden:

- bij normale isolatie mogen de kleedruimten voor wandelkleding en de gang niet worden besmet met van de patiënt afkomstige micro-organismen.



| | SITUATIE | | | BEOORDELING | |
|-------|---------------------------------------|-------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| | KLEEDRUIMTE VOOR VERPL. KLEDING | SLUIS | KLEEDR. VOOR WANDEL- KLEDING | UNIVERSELE ISOLATIE | |
| | | | | OMGEKEERDE ISOLATIE | NORMALE ISOLATIE |
| KAMER | | GANG | KAMER | GANG | |
| A | | | | FOUT, PATIËNT x GANG | GOED |
| B | | | | GOED | FOUT, OMGEVING x PATIËNT |
| C | | | | FOUT, PATIËNT x WANDELKL. | GOED |
| D | | | | GOED | FOUT, OMGEVING x VERPL. KL. |
| E | | | | GOED | FOUT, WANDELKL. x PATIËNT |
| F | | | | FOUT, VERPL. KL. x GANG | GOED |
| G | | | | GOED | FOUT, VERPL. KL. x WANDELKL. |
| H | | | | FOUT, WANDELKL. x VERPL. KL. | GOED |

FIG.9

x = „KAN WORDEN BESMET DOOR KIEMEN AFKOMSTIG VAN DE”

- bij omgekeerde isolatie mogen de kleedruimte voor verpleegkleding en de kamer niet worden besmet met niet kiemvrije lucht uit de gang
- bij universele isolatie mag geen van beide bovengenoemde besmettingen plaatsvinden.

Uit figuur 9 blijkt dat:

- normale isolatie mogelijk is met de stromingsmogelijkheden A, C, F en H
- omgekeerde isolatie mogelijk is met de stromingsmogelijkheden B, D, E en G.

Via de kleding is in de situatie van figuur 9 geen overdracht van micro-organismen mogelijk. Maar door een verstoring van de luchtstromingsrichting in een deuropening blijft nog altijd overdracht van micro-organismen mogelijk. Verder blijkt uit figuur 9 dat universele isolatie waarbij de mogelijkheid van overdracht van micro-organismen via de kleding is uitgesloten niet mogelijk is. Als bij universele isolatie ook de eis wordt gesteld dat de kleding geen overdracht mag veroorzaken of als bij normale of omgekeerde isolatie een verstoring van de luchtstromingsrichting geen invloed mag hebben op de overdracht van micro-organismen, zal tussen de kleedruimten een doorloopruimte aanwezig moeten zijn, die eventueel ook als wasgelegenheid dienst kan doen.

3.4 Kamer met sluis, die voorzien is van een doorloopruimte tussen de kleedruimten

Deze situatie is weergegeven in figuur 10. De doorloopruimte kan tevens als wasgelegenheid worden gebruikt. Er zijn in deze situatie zestien stromingsmogelijkheden (zie fig. 11). Bij de beoordeling van de stromingsmogelijkheden is uitgegaan van het volgende:

- bij normale isolatie mogen de doorloopruimte, de kleedruimte voor wandelkleding en de gang niet worden besmet met van de patiënt afkomstige micro-organismen;
- bij omgekeerde isolatie mogen de doorloopruimte, de kleedruimte voor verpleegkleding en de kamer niet worden besmet met niet kiem-

vrije lucht uit de gang.

- bij universele isolatie mag geen van beide bovengenoemde mogelijkheden tot overdracht van micro-organismen leiden.

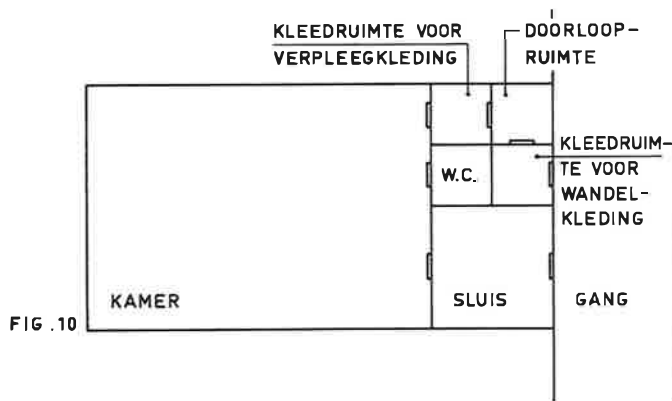
Beschouwen we figuur 11 dan blijkt dat de stromingsmogelijkheden A, E, F, L, M en N, normale isolatie kunnen bewerkstelligen, terwijl anderzijds de stromingsmogelijkheden B, C, H, J, K en M, de mogelijkheid voor omgekeerde isolatie bieden.

De stromingsmogelijkheden D, G, I, O en P, bieden geen mogelijkheid tot isolatie uitgaande van de eisen dat de overdracht via de kleding niet mogelijk is en verstoring van de stromingsrichting in de deuropening geen invloed mag hebben. De doorloopruimte wordt in deze gevallen besmet en kan zodoende overdracht van micro-organismen teweeg brengen.

Alleen stromingsmogelijkheid M maakt universele isolatie mogelijk, zonder dat overdracht van micro-organismen via de kleding en de overdracht door verstoring van de stromingsrichting in de deuropening een rol spelen. Daarbij moet de mogelijkheid worden aanvaard dat de doorloopruimte besmet kan worden door huidschilfers die micro-organismen met zich dragen.

De stromingsmogelijkheden door de kleed- en doorloopruimten zijn onafhankelijk van de beschouwingen betreffende kamer en sluis. In de eenvoudige situatie van de kamer met sluis kunnen twee stromingsmogelijkheden tot universele isolatie leiden, n.l. stroming vanuit de gang en de kamer naar de sluis en stroming vanuit de sluis naar de kamer en de gang (zie fig. 5C en fig. 5D). De laatste wordt afgeraden, omdat als de sluis om welke reden dan ook besmet raakt, automatisch zowel de kamer als de gang besmet worden. In analogie hiermede komt men voor de kamer met kleed- en doorloopruimte tot de in figuur 12 getekende oplossing. Hoewel deze situatie bouwkundig en luchttechnisch vrij ingewikkeld is, kan strikte universele isolatie nog niet worden bereikt.

De toegang tot de patiënt vereist het passeren van een groot aantal deuren en het telkens verwisselen van kleding, hetgeen de werkbaarheid van de situatie niet ten goede komt. Als een hoge mate van iso-



| | SITUATIE | | | BEOORDELING | |
|---|-------------|-------------------------------------|--------------------------------------|---------------------|------------------|
| | KLEEDRUIMTE | DOORL. RUIMTE | KLEEDR. | UNIVERSELE ISOLATIE | |
| | | | | OMGEKEERDE ISOLATIE | NORMALE ISOLATIE |
| | KAMER | SLUIS | GANG | KAMER | GANG |
| A | | FOUT, PATIËNT X GANG | GOED | | |
| B | | GOED | FOUT, OMGEVING X PATIËNT | | |
| C | | GOED | FOUT, OMGEVING X VERPLEEGKL. | | |
| D | | FOUT, PATIËNT X WANDELKL. | FOUT, OMGEVING X VERPLEEGKL. | | |
| E | | FOUT, PATIËNT X WANDELKL. | GOED | | |
| F | | FOUT, VERPLEEGKL. X GANG | GOED | | |
| G | | FOUT, DOORLOOPR. X GANG | FOUT, DOORLOOPR. X PATIËNT | | |
| H | | GOED | FOUT, WANDELKL. X PATIËNT | | |
| I | | FOUT, DOORLOOPR. X GANG | FOUT, DOORLOOPR. X VERPLEEGKL. | | |
| J | | GOED | FOUT, WANDELKL. X VERPLEEGKL. | | |
| K | | GOED | FOUT, OMGEVING X VERPLEEGKL. | | |
| L | | FOUT, PATIËNT X WANDELKL. | GOED | | |
| M | | GOED | GOED | | |
| N | | FOUT, VERPLEEGKL. X WANDELKL. | GOED | | |
| O | | FOUT, DOORLOOPR. X WANDELKL. | FOUT, DOORLOOPR. X PATIËNT | | |
| P | | FOUT, DOORLOOPR. X WANDELKL. | FOUT, DOORLOOPR. X VERPLEEGKL. | | |

FIG.11

X = „KAN WORDEN BESMET DOOR KIEMEN AFKOMSTIG VAN DE“

latie nodig is zonder dat strikte isolatie een vereiste is, verdient het dan ook aanbeveling te overwegen of een inrichting waarmee strikte isolatie bereikt kan worden niet de voorkeur verdient. Dit vanwege de grotere betrouwbaarheid, de betere toegankelijkheid en mogelijk zelfs zonder aanzienlijk hogere kosten.

4 STRIKTE ISOLATIE

Als we ervan uitgaan dat strikte isolatie betekent het voorkomen van overdracht van een enkele kiem dan is dit slechts te bereiken door de patiënt in een afgesloten ruimte te leggen, zodanig dat verpleging van buitenaf mogelijk is.

Is strikte isolatie gewenst dan kan men gebruik maken van zgn. patiënt-isolatoren met "unidirectional flow".

Strikte omgekeerde isolatie kan worden bereikt met een isolator waarin de patiënt als het ware in een tent ligt, die continu doorstroomd wordt met kiemvrije lucht, zodat het toetreden van kiemen van buitenaf tot de patiënt onmogelijk wordt. Indien men de lucht die uit de tent komt via een sluisje geheel afzuigt, filtreert en grotendeels weer aan de patiënt terugvoert kan ten aanzien van de omgeving ook van strikte normale isolatie worden gesproken, zodat in feite strikte universele isolatie is bereikt.

5 CONCLUSIES

5.1 Isolatie van patiënten is mogelijk met verschillende bouwkundige plattegronden van isolatiekamers en verschillende luchtdistributiemogelijkheden.

5.2 Naarmate de bacteriologische en medische eisen zwaarder zijn, moet ook de plattegrond en het ventilatiesysteem ingewikkelder worden.

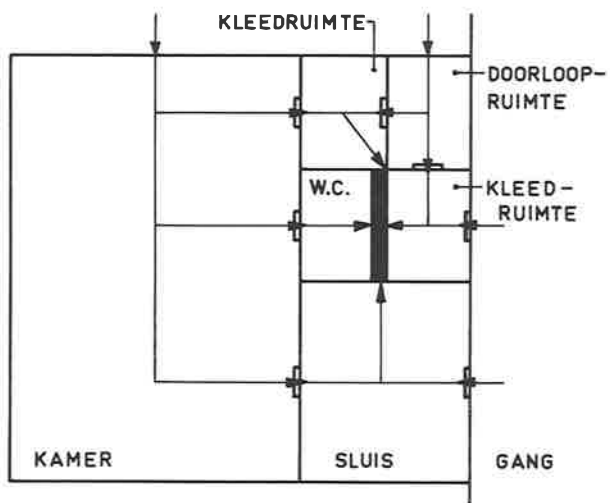


FIG. 12

5.3 Als de overdracht van micro-organismen door de kleding en door de verstoring van de luchtstromingsrichting in deuropeningen toelaatbaar is, dan kan:

normale isolatie worden bereikt met de situaties 3A, 7A, 7C

omgekeerde isolatie met de situaties 3B, 7B, 7C en

universele isolatie met de situatie 7C.

5.4 Als de overdracht van micro-organismen door de verstoring van de luchtstromingsrichting wel en door de kleding niet toelaatbaar is, kan:

normale isolatie met de situaties 9A, 9C, 9F en 9H worden bereikt

omgekeerde isolatie met de situaties 9B, 9D, 9E, 9G, terwijl

universele isolatie met de situatie 9 niet mogelijk is.

5.5 Is ook de overdracht van micro-organismen door de verstoring van de luchtstromingsrichting in deuropeningen niet toelaatbaar, dan kan:

normale isolatie worden bereikt met de situaties 11A, 11E, 11F, 11L, 11M, 11N

omgekeerde isolatie met de situaties 11B, 11C, 11H, 11J, 11K, 11M, en

universele isolatie met de situatie 11M.

De mogelijkheid dat de doorloopruimte besmet wordt door huidschilfers die micro-organismen met zich dragen moet dan aanvaardbaar zijn.

5.6 De universele isolatie van 7C en 11M hebben het voordeel dat zowel normale als omgekeerde isolatie tegelijkertijd bereikt wordt, zodat geen veranderingen in het luchtsysteem nodig zijn. Dit voorkomt vergissingen.

5.7 Ondanks de betrekkelijke gecompliceerdheid van de plattegronden en ventilatiesystemen, alsmede van de te nemen voorzorgen, kan door keuze van een plattegrond met een bepaald ventilatiesysteem geen strikte isolatie worden bereikt.

5.8 Indien een hoge mate van isolatie nodig is, zonder dat strikte isolatie wordt geëist, verdient het aanbeveling te overwegen of niet beter de keuze kan vallen op een inrichting voor strikte isolatie.

6 SLOTOPMERKINGEN

Het voorkómen van overdracht van micro-organismen is niet alleen een luchttechnisch probleem. Buiten de medische en bacteriologische aspecten spelen discipline van het behandelend personeel, bouwkundige indeling, alsmede de mogelijkheid van de verstoring van de richting van het luchttransport een belangrijke rol. De luchttechnicus kan zeker een bijdrage leveren in de strijd tegen de ongewenste overdracht van micro-organismen in ziekenhuizen. Als de medici en de bacteriologen hun eisen hebben gesteld, is het aan de technici, in dit geval de architect en de luchttechnicus, een plattegrond en een ventilatiesysteem te ontwerpen welke aan die eisen voldoen.

7 LITERATUUR

- [1] Baird, G.
Air movement control studies at the Hairmyres Experimental Ward Unit
J.I.H.V.E., April 1969

- [2] Baird, G.
Air change and room air transfer at the Hairmyres Experimental Ward Unit (Paris, May 1967, 4th congres etc.)

- [3] Bouwman, H.B.
Mogen deuren in ziekenhuizen open blijven staan?
Publ. nr. 437 IG-TNO

- [4] Ham, Ph.J., Den Ouden, H.Ph.L.

Onderzoek naar de ventilatievoorzieningen in het isolatiepaviljoen van het Academisch Ziekenhuis te Leiden
IG-TNO Werkrapport C 260, september 1969

- [5] Meidersma, T.E.
Verpleging in "omgekeerde isolatie"
Medica (Utrecht 1970)
- [6] Van der Waaij, D.
Down flow isolator
Aan te vragen bij het Radiobiologisch Instituut TNO, Lange Kleiweg 151, Rijswijk
- [7] IVth International Symposium on Aerobiology, Sept.1972, Enschede
- 1) Williams, R.E.O.
Experience with a simple ventilating system in a multiroom isolation unit
 - 2) Macdonald, A., Smylie, H.G.
Ward design in relation to post-operative wound infection
 - 3) Laurell, G., Hambraeus, A.
Measurement of airborne exposure to infection in a burns unit
 - 4) Hambraeus, A.
A completely plenum ventilated unit with airlocks
 - 5) Foord, N.
Ventilation rates and air pressure differences in isolation rooms

U.D.C. 697.957 : 725.51 : 614.45

DE OPZET VAN EEN ISOLATIE-AFDELING, BEZIEN
VANUIT LUCHTTECHNISCH OOGPUNT

H.Ph.L. den Ouden

I N H O U D

- 1 INLEIDING
- 2 VOORBEELD VAN EEN DERGELIJK ONDERZOEK
- 3 HOOFDKENMERKEN VAN DE BESTAANDE INSTALLATIE
- 4 VOORGESTELDE MAATREGELEN TOT VERBETERING
- 5 BESPREKING VAN ENKELE MEETRESULTATEN
- 6 SLOTBESCHOUWING

1 INLEIDING

Naast de term "isolatie" heeft het begrip "omgekeerde isolatie" ingang gevonden, waarbij het doel is de patiënt tegen gevaren van zijn omgeving te beschermen. Wat nader gepreciseerd betreft het de isolatie van patiënten met een geringe of verminderde weerstand tegen infectie door ziekteverwekkende micro-organismen. Om deze omgekeerde isolatie te verwezenlijken moeten verschillende problemen worden opgelost, zoals ten aanzien van de door de bijzondere eisen bemoeilijkte verpleging, voeding, enz. Eén van deze problemen betreft de voorzieningen voor de luchttoevoer, niet alleen voor wat de patiëntenkamer zelf betreft, maar voor de gehele afdeling waar een aantal van deze patiënten verpleegd wordt. Een dergelijk luchtsysteem moet onder te verwachten normaal wel eens voorkomende omstandigheden nog zo kunnen functioneren, dat aan de te stellen eisen wordt voldaan. Tot deze omstandigheden kunnen worden gerekend:

- de optredende vervuiling van de toegepaste z.g. absoluutfilters
- het op een lager toerental laten functioneren van één of meer toevoerventilatoren
- ramen of deuren die geopend worden
- het optreden van hoge windsnelheden

De invloeden van al deze factoren op de drukniveaus en de drukverschillen in een dergelijk isolatiepaviljoen kunnen feitelijk alleen worden onderzocht door gebruik te maken van een analoog modelonderzoek. Het gehele net van luchtkanalen, raam- en deurkieren, ventilatoren, evenals de optredende winddrukken wordt daarbij vertaald in een elektrisch netwerk, waardoor het mogelijk is een inzicht te verkrijgen in de gevolgen van de diverse effecten op de drukverhoudingen en luchtverplaatsingen. Exacte gegevens over de optredende drukniveaus en luchttransporten mogen niet van zo'n onderzoek worden verwacht.

2 VOORBEELD VAN EEN DERGELIJK ONDERZOEK

Enkele jaren geleden kreeg de Afdeling Binnenklimaat het verzoek met gebruik van het genoemde analogon medewerking te verlenen aan het oplossen van de problemen bij de ventilatie van een dergelijk paviljoen. Het betrof daarbij de afdeling "Intensive Care" van het Academisch Ziekenhuis te Leiden. Hieruit is duidelijk geworden hoe moeilijk het zou zijn de optredende problemen op te lossen zonder hulp van dit elektrisch analogon. Zo kon worden vastgesteld, dat onder de aangenomen omstandigheden zonder bezwaar gemeenschappelijke afzuigventilatoren konden worden gebruikt voor de in totaal 6 aanwezige isolatiekamers. Een categorisch antwoord op deze vraag zou op een andere wijze moeilijk zijn te geven. Verder kon worden geconcludeerd dat wanneer één der inblaasventilatoren van de patiëntenkamers uitvalt, nog geen gevaar ontstaat voor transporten tussen de patiëntenkamers onderling. Het uitvallen van de inblaasventilator voor de steriele gang levert wél moeilijkheden op. Een beveiligingssysteem is hier op zijn plaats, bijv. door het aanbrengen van een reserve ventilator, die bij het uitvallen van de hoofdventilator automatisch wordt ingeschakeld. Ook bleek o.a. dat het gelijktijdig openen van de beide deuren van de luchtsluis tussen de patiëntenkamer en de gang moet worden voorkomen door een of andere aan te brengen vergrendeling. Deze, en ook nog andere conclusies konden worden getrokken uit een onderzoek voor het reeds bestaande paviljoen, waarvan een uitbreiding de aanleiding was om, op basis van de aanwezige installatie, deze zodanig uit te breiden en/of te wijzigen, dat aan de voor dergelijke ruimten geldende bijzondere eisen beter kon worden voldaan dan tot dusver.

3 HOOFDKENMERKEN VAN DE BESTAANDE INSTALLATIE

Fig. 1 geeft de plattegrond van het paviljoen waarin de geplande uitbreiding c.q. verbouwing gearceerd is aangegeven. Fig.2 geeft in dezelfde plattegrond aan in welke ruimten de lucht als kiemarm moet

FIG. 1 ACADEMISCH ZIEKENHUIS
ISOLATIEPAVILJOEN

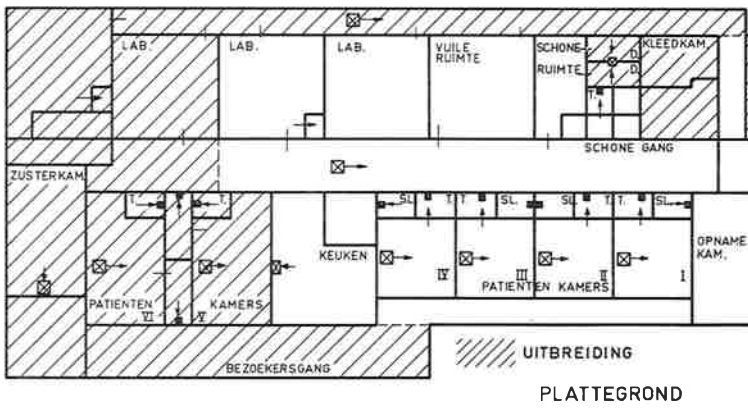
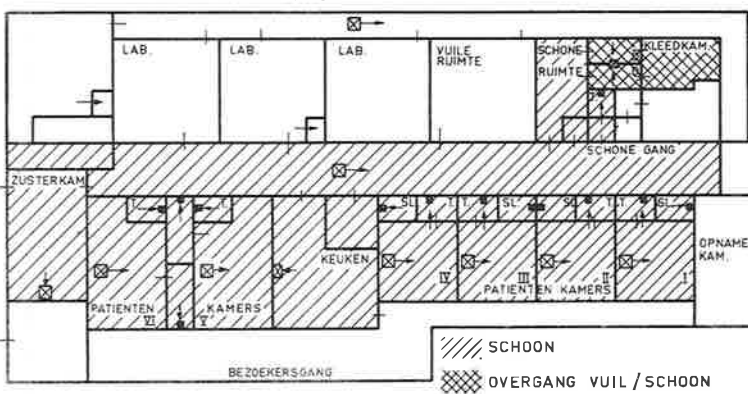


FIG. 2 ACADEMISCH ZIEKENHUIS
ISOLATIEPAVILJOEN

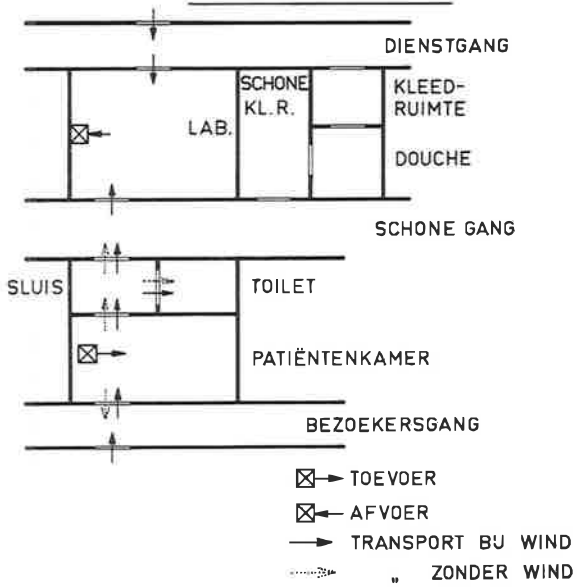


worden beschouwd en waar de overgang naar kiemarme lucht plaatsvindt bij het betreden van de afdeling. Fig. 3 toont vereenvoudigd een sectie van het gebouw met de oorspronkelijke indeling. Het inblazen vindt uitsluitend plaats in de patiëntenkamers. De lucht wordt afgezogen via een zuurkast in de tegenover de kamer in de gang liggende laboratoriumruimten. De overdruk in de kamer zal gedurende de meeste tijd tevens een afvloeiing van een gedeelte van de lucht naar de bezoekersgang veroorzaken. Voldaan wordt, althans bij windstil weer, aan de eis dat geen andere lucht dan de kiemvrije lucht uit het toevoersysteem in de patiëntenkamer kan komen; door raankieren, deuren, enz., lekt dus geen lucht binnen. Bij deze vereenvoudigde opzet is het afstromen van de uit de kamer komende lucht naar de gang onvermijdelijk met het systeem verbonden. Deze omstandigheid is echter niet aan te bevelen, omdat het zich via de gang verplaatsende personeel de patiënten dan alleen kan bereiken door lucht, die voor een belangrijk deel uit de patiëntenkamers afkomstig is. De gang is daardoor niet meer als kiemarm te beschouwen. Een tweede nadeel blijkt op te treden als gevolg van de ter plaatse tamelijk ongehinderd toestromende en dus slechts weinig in snelheid afgeremde wind. Het feit dat de open ligging naar het zuiden juist een open ligging voor de relatief meest voorkomende windrichting en de relatief hoogste windsnelheden inhoudt, maakt de invloed van harde wind tot een belangrijk punt van onderzoek. Via de bezoekersgang, waarvoor zich buiten een drukverhoging opbouwt als de wind erop staat, kan de lucht in de patiëntenkamers doordringen. Dat beweegbare ramen en/of deuren in de buitenwand van de bezoekersgang open blijven staan is bovendien niet onwaarschijnlijk, omdat de zoninstraling aan deze zijde de temperatuur vooral 's middags sterk kan doen oplopen.

4 VOORGESTELDE MAATREGELEN TOT VERBETERING

De uitbreiding gaf de gelegenheid om te pogen aan de genoemde bezwaren te ontkomen. Daartoe werden de volgende maatregelen voorgesteld:
- niet alleen zal lucht worden ingeblazen in de patiëntenkamers

FIG.3 OORSPRONKELIJKE OPZET



- ($500 \text{ m}^3/\text{h}$ per kamer), ook aan de gang zal kiemvrije lucht moeten worden toegevoerd;
- er zal niet alleen via de zuurkast in de laboratoriumruimte lucht worden afgezogen, maar ook uit de sluis en het toilet van elke patiëntenkamer;
 - de toegang naar het toilet vanuit de patiëntenkamer zal rechtstreeks plaatsvinden en niet meer via de sluis;
 - de ramen in de bezoekersgang worden gesloten uitgevoerd met het oog op de te verwachten windinvloed;
 - in de beide deuren van de sluis zullen roosters worden aangebracht.

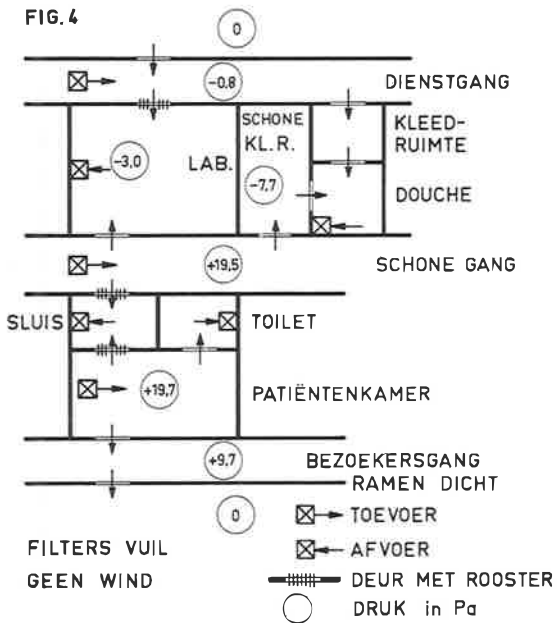
5 BESPREKING VAN ENKELE MEETRESULTATEN

5.1 Invloed van vervuiling van de filters

Voor de situatie dat er geen of nagenoeg geen wind is en de filters gedeeltelijk vervuild zijn wordt in fig. 4 aangegeven hoe de drukniveaus komen te liggen. Opgemerkt dient daarbij te worden, dat de in deze figuur af te lezen drukverschillen volgens de sedert het onderzoek opgedane inzichten en ervaringen aan de hoge kant zijn en het aanbeveling verdient met kleinere drukverschillen het gestelde doel trachten te bereiken. Op de opzet en het verloop van een dergelijk onderzoek heeft dit overigens geen invloed. De afstelling van drukniveaus en luchthoeveelheden heeft zodanig plaatsgevonden, dat aan de eisen dan nog juist wordt voldaan. De aanwezigheid van roosters in de deuren voorkomt dat er moeilijkheden ontstaan tijdens het openen van deuren. De drukverschillen over de deuren blijven daardoor relatief klein.

Zijn de filters alle schoon, dan nemen de hoeveelheden aan- en afgevoerde lucht uiteraard toe t.o.v. de vervuilde toestand, en tevens neemt het gemiddelde drukniveau toe in de gehele afdeling. Onder de aangenomen omstandigheden, o.m. wat betreft de karakteristieken van de ventilatoren, is het grootst mogelijke verschil in drukniveau in de kiemarme sectie bij resp. volledig schone en volledig vervuilde filters ongeveer 40 Pa (ca 4 mmWK). Werd op deze wijze geconstateerd

FIG. 4



afvoeropeningen voor de lucht zijn tenslotte weer op het dak teruggeplaatst omdat dit om technische redenen de voorkeur bleek te hebben. Bij windstil weer ontstaat de toestand van fig. 7. Het geheel van deze maatregelen is voldoende effectief om aan de gestelde eisen ook bij hoge windsnelheden te blijven voldoen, zoals fig. 8 aantoont. In de nominale situatie zullen echter om het gewenste drukverschil tussen kamer en gang te kunnen blijven handhaven de drukniveaus moeten worden gewijzigd. De bezoekersgang, die zoals reeds werd vermeld, door zoninstraling sterk in temperatuur kan oplopen, zal nu tevens de gunstige invloed kunnen ondergaan van de ventilatie met geconditioneerde, uit de patiëntenkamers afkomstige, lucht.

6 SLOTBESCHOUWING

Als, zoals in dit geval, strenge eisen worden gesteld aan de stromingsrichting van lucht op bepaalde plaatsen, is het handhaven van bepaalde relatieve drukniveaus een eerste vereiste. Naar ik hoop te hebben aangetoond is juist voor dit soort problemen zelfs in het ontwerpstadium reeds een goed inzicht te verkrijgen over de in de ruimste zin van het woord te nemen maatregelen door gebruik te maken van een elektrisch model. Vrijwel elke denkbare omstandigheid is hierin met redelijke benadering na te bootsen, zodat men later niet voor onaangename en kostbare verrassingen komt te staan.

FIG. 7

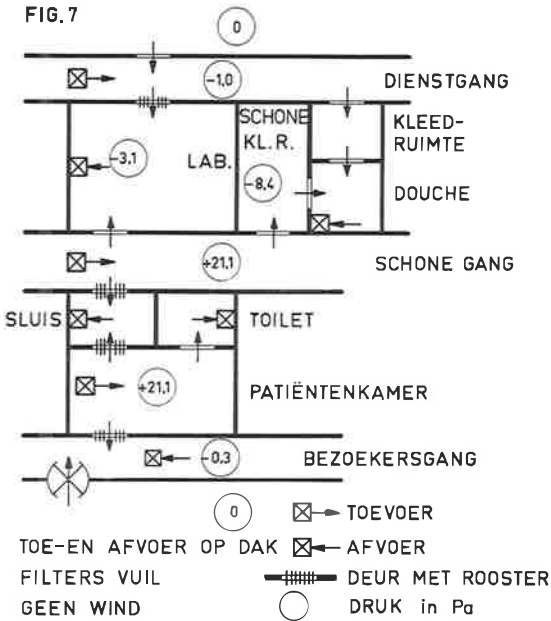
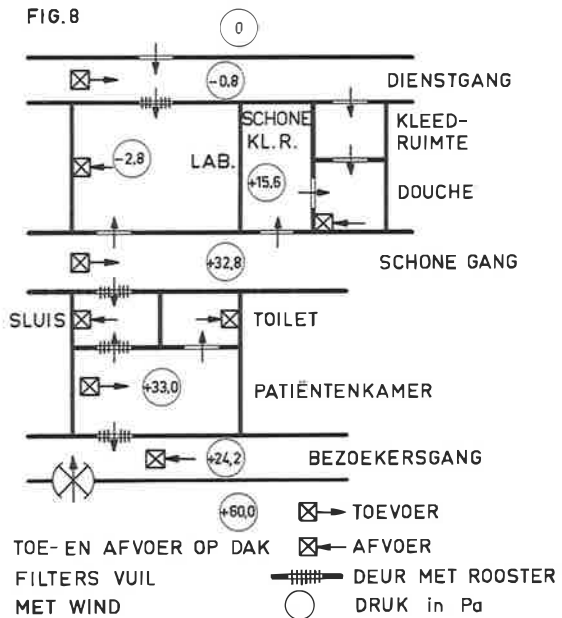


FIG. 8



U.D.C. 697.957 : 725.51

MOGEN DEUREN IN EEN ZIEKENHUIS OPEN BLIJVEN STAAN?

Ir. H.B. Bouwman

I N H O U D

- 1 INLEIDING
- 2 NADERE BESCHOUWING VAN EEN AANTAL THEORETISCH EN PRACTISCH
MOGELIJKE SITUATIES
- 3 GETALLENVOORBEELDEN
- 4 GETALWAARDEN VOOR ANDERE SITUATIES
- 5 CONSEQUENTIES VAN DE GEVONDEN RESULTATEN
- 6 CONCLUSIES
- 7 LITERATUUR

1 INLEIDING

In ziekenhuizen zonder airconditioning of mechanische ventilatie kunnen er twee redenen zijn om de deuren gesloten te houden:

- a) men wil tocht voorkomen en aldus trachten patiënten en personeel te behoeden voor kouvatzen;
- b) men wil transport van met kiemen verontreinigde lucht van het ene naar het andere vertrek voorkomen.

In ziekenhuizen met airconditioning of slechts mechanische ventilatie kan de situatie in zoverre anders liggen dat het gevaar voor tocht belangrijk geringer is; bovendien zou men kunnen menen dat de mechanische ventilatie wel zal zorgen dat ongewenste luchttransportrichtingen, ook bij geopende deuren, niet zullen voorkomen.

Onderzoekingen op dit gebied tonen aan dat het in het algemeen een illusie moet worden geacht om te menen dat men, zelfs bij gesloten gevels, ook bij geopende binnendeuren met mechanische ventilatie de luchttransportrichting in het gebouw overal in de hand zou kunnen houden. Wij willen een en ander aan een nadere beschouwing onderwerpen.

De luchtbewegingen van vertrek tot vertrek worden beheerst door drukverschillen. De drukverschillen zullen in het algemeen ontstaan als gevolg van luchttoe- en afvoer naar en van de vertrekken.

De grootte van het drukverschil tussen vertrekken zal bovendien afhankelijk zijn van het gemiddelde temperatuurverschil tussen de vertrekken, van de vorm van het temperatuurverloop over de hoogte (temperatuurgradiënt) in de vertrekken en van de hoogte in het vertrek, waarop het drukverschil wordt beschouwd.

2 NADERE BESCHOUWING VAN EEN AANTAL THEORETISCH EN PRACTISCH MOGELIJKE SITUATIES

Geval 1: Als twee vertrekken aan elkaar grenzen en er wordt geen

lucht aan de vertrekken toe- of afgevoerd en er is op elke hoogte geen temperatuurverschil tussen de vertrekken, (er mogen dus wel twee identieke temperatuurverlopen over de hoogte aanwezig zijn in beide vertrekken) dan zal er bij geopende deuren nergens een stroming door de deuropening plaatsvinden.

Geval 2: Zijn de verticale temperatuurverlopen in beide vertrekken identiek en wordt in één vertrek A lucht toegevoerd die via de deuropening en het andere vertrek B wordt afgevoerd, dan ontstaat in de gehele deuropening een tamelijk gelijkmatige snelheidsverdeling (fig. 1). Deze gelijkmatigheid kan vanuit vertrek A gemakkelijk worden verstoord door restsnelheden afkomstig van de ingeblazen lucht in vertrek A. Onder ongunstige omstandigheden kan reeds daardoor in de deuropening plaatselijk terugstroming optreden.

Geval 3: Zijn de verticale temperatuurverlopen zodanig dat op elke hoogte het ene vertrek (B) 1°C warmer is dan het andere (A), zoals in figuur 2 is aangeduid, en er wordt geen lucht aan de beide vertrekken toe- of afgevoerd, dan zullen na het openen van de tussengelegen deur thermische stromingen ontstaan door de deuropening. Daarbij zal koudere lucht over de vloer naar het warme vertrek stromen, terwijl door het bovengedeelte van de deuropening warme lucht naar het koudere vertrek stroomt. De hoeveelheid lucht die aan de vloerzijde van vertrek A naar vertrek B stroomt moet uiteraard gelijk zijn aan de hoeveelheid lucht die in het bovendeel van de deur van B naar A stroomt.

Op grond van symmetrie-overwegingen zal op ongeveer halve hoogte van de deuropening een punt te vinden zijn waar geen luchtuitswisseling tussen A en B plaatsvindt. Deze hoogte noemen wij de neutrale hoogte h_n . Op deze hoogte zal er dus drukevenwicht zijn tussen vertrek A en vertrek B. Uit deze situatie is duidelijk dat men niet zonder meer kan spreken van het "drukverschil tussen vertrek A en vertrek B", maar dat het voor een beter begrip noodzakelijk is te spreken over "het drukverschil tussen vertrek A en vertrek B op een hoogte van h meter (h nader te preciseren) boven de vloer".

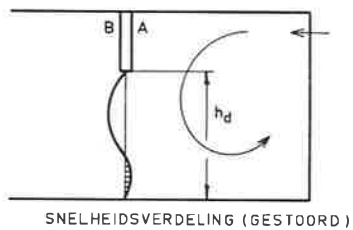
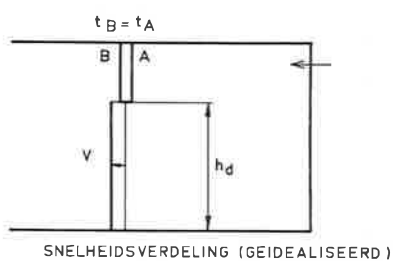
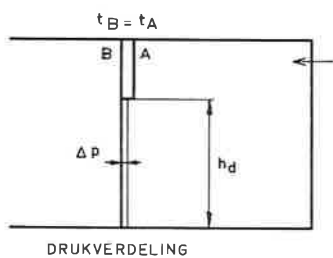


FIG. 1

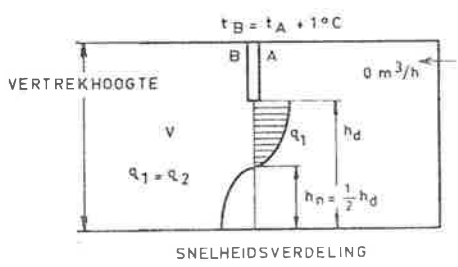
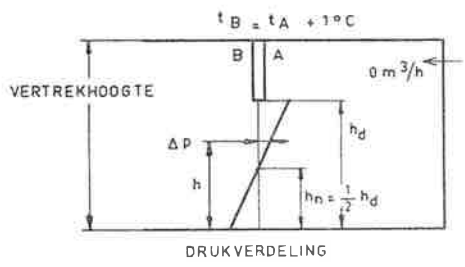
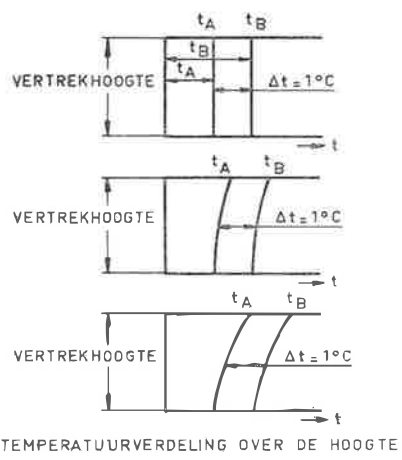


FIG. 2

Door de stroming verandert overigens het temperatuurverloop over de hoogte, zodat na enige tijd de symmetrie in de drukverdeling en de stroming door de deuropening verloren zal gaan.

Is het temperatuurverschil tussen de vertrekken niet op alle hoogten gelijk (fig. 3) dan wordt de drukverdeling asymmetrisch. Voor de verdere beschouwing levert de niet-lineaire drukverdeling over de hoogte veel complicaties bij de theoretische beschouwingen, zonder dat daarmee het inzicht principiëel aanmerkelijk wordt vergroot. Daarom beperken wij ons verder tot gevallen met lineair verloop van de druk over de hoogte.

Geval 4: Is er op elke hoogte eenzelfde temperatuurverschil tussen de twee vertrekken en is er zowel toevoer aan het koudere vertrek A als afvoer in het andere warmere vertrek B, dan zal zich de volgende situatie voordoen overeenkomstig figuur 4a of 4b.

In figuur 4a stroomt de koudere lucht aan de vloerzijde door de deuropening van vertrek A naar vertrek B. Warmere lucht stroomt in de bovenzijde van de deuropening van vertrek B naar vertrek A. De luchtstroom van vertrek A naar vertrek B, verminderd met de luchtstroom van vertrek B naar vertrek A zal gelijk moeten zijn aan de luchthoeveelheid die per tijdseenheid aan vertrek A wordt toegevoerd. Dit betekent dat de snelheidsverdeling over de deuropening niet meer symmetrisch is. Het punt waar geen luchtstroom tussen A en B optreedt ligt nu duidelijk boven de halve hoogte van de deuropening.

Is de temperatuur in vertrek A hoger dan in vertrek B (fig. 4b) dan komt de neutrale hoogte h_n lager te liggen en stroomt de warmere lucht van vertrek A naar vertrek B door de bovenzijde van de deuropening, terwijl de koudere lucht uit vertrek B over de vloer naar vertrek A stroomt.

Geval 5: Men kan de vraag stellen hoe groot de luchttoevoer q_x aan een vertrek moet zijn om te bereiken dat nergens in de deuropening terugstroming optreedt als tussen de vertrekken op alle hoogten een bepaald temperatuurverschil aanwezig is. De drukverdeling bij geopende deur moet blijkbaar geheel liggen aan één zijde, want de lucht

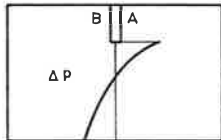
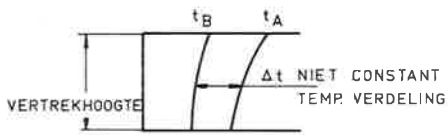
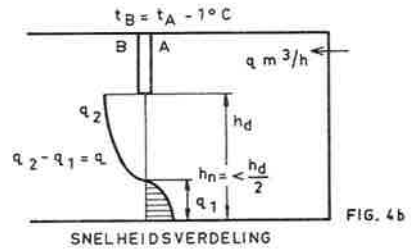
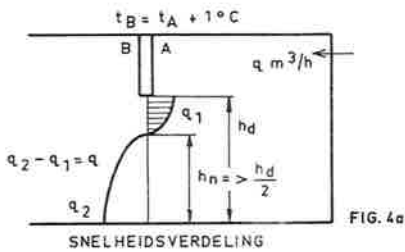
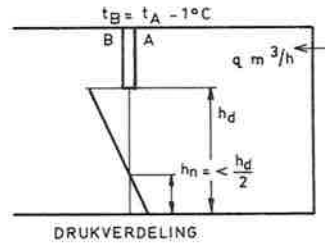
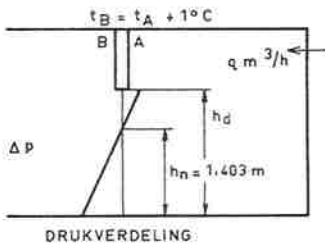


FIG. 3



moet op alle hoogten van A naar B stromen, zoals in figuur 5 is aangegeven.

Geval 6: Brengt men nog meer lucht binnen dan in het grensgeval (geval 5) nodig is, dan ontstaat de situatie van figuur 6.

3 GETALLENVOORBEELDEN

De situatie in de genoemde gevallen 2 t/m 5 is nader in getallen gepreciseerd voor een vertrek van 7 m lang, 5 m breed en 3 m hoog, waarbij al of niet een temperatuurverschil van 1°C tussen de vertrekken aanwezig is en al of niet een luchthoeveelheid aan vertrek A wordt toegevoerd van $420 \text{ m}^3/\text{h}$ of meer.

De deuropening is in deze voorbeelden gesteld op 2 m hoogte bij een breedte van 0,8 m. Voor vertrek A betekent een luchttoevoer van $420 \text{ m}^3/\text{h}$ een viervoudige luchtwisseling. Hoe de gegeven getallen veranderen bij andere deurafmetingen, een ander temperatuurverschil en bij andere luchthoeveelheden, zal in paragraaf 4 worden besproken.

Geval 1 uit paragraaf 2 kan buiten beschouwing blijven.

In geval 2 krijgt men de situatie als in figuur 7. De overdruk welke daarbij over de deuropening ontstaat is bijzonder klein, n.l. in de orde van $0,0064 \text{ N/m}^2$ (ca $0,00064 \text{ mmWK}$). De snelheid in de deuropening is slechts $7,3 \text{ cm/s}$. Het is duidelijk dat deze snelheidsverdeling gemakkelijk zal kunnen worden verstoord.

In geval 3, waarin geen lucht wordt toegevoerd maar wel een temperatuurverschil van 1°C ($t_B > t_A$) aanwezig is, ontstaat de situatie aangegeven in figuur 8. De grootste drukverschillen over de deuropening treden op langs de vloer en aan de bovenzijde van de deuropening; deze grootste drukverschillen bedragen toch nog slechts $0,04 \text{ N/m}^2$ (ca $0,004 \text{ mmWK}$). Ook bij gesloten, maar over de hoogte gelijkmatig lekkende deur, zou door het inblazen van lucht de overdruk in

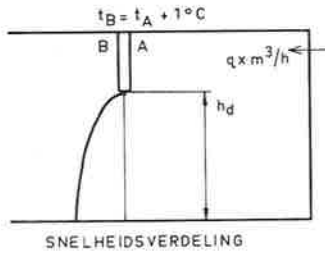
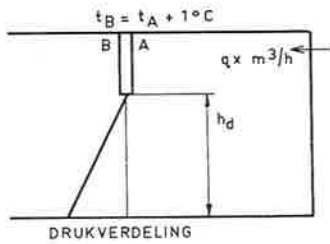


FIG. 5

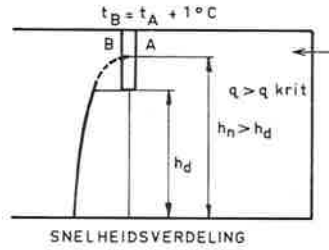
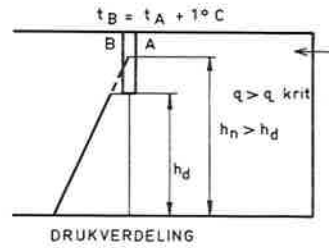
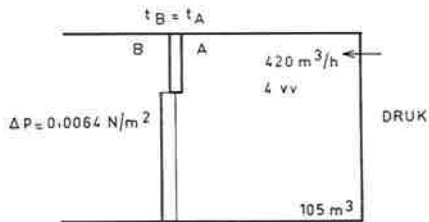


FIG. 6



(GEVAL 2)

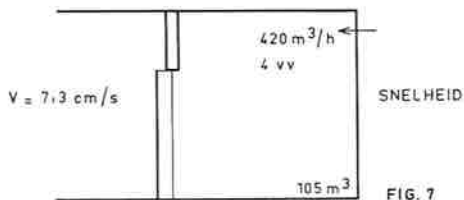
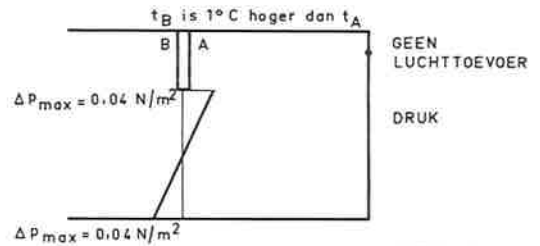


FIG. 7



(GEVAL 3)

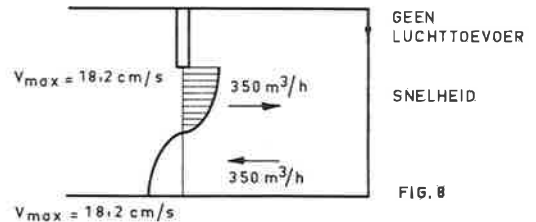


FIG. 8

vertrek A t.o.v. vertrek B 2 m boven de vloer dus tenminste $0,04 \text{ N/m}^2$ vergroot moeten worden om te voorkomen dat door deurkieren lucht van vertrek B in vertrek A kan komen.

Voor geval 4 zijn de getallen gegeven in figuur 9. Hieruit blijkt dat een luchttoevoer van $420 \text{ m}^3/\text{h}$ - in dit geval een viervoudige luchtwisseling voor vertrek A - zeker nog niet voldoende is om terugstroming in de deuropening te voorkomen. Vergelijken wij de maximale drukverschillen in figuur 7 en figuur 9 dan valt op dat alleen al als gevolg van het temperatuurverschil van 1°C het maximale drukverschil over de deuropening plaatselijk ongeveer negen maal zo hoog is geworden!

Voor geval 5 zijn de getallen verzameld in figuur 10.

Om terugstroming in de deuropening te voorkomen blijkt een luchttoevoer van bijna $1000 \text{ m}^3/\text{h}$ nodig te zijn, d.w.z. in deze situatie ruim 9-voudige luchtwisseling. Deze waarde geldt bij slechts 1°C temperatuurverschil tussen de vertrekken. Bij een groter temperatuurverschil is de hoeveelheid lucht, nodig om terugstroming te voorkomen, nog groter.

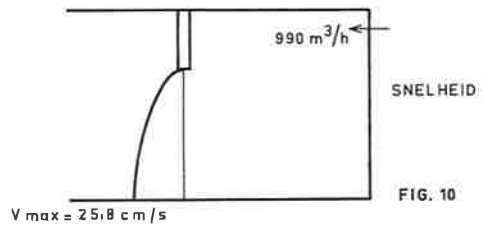
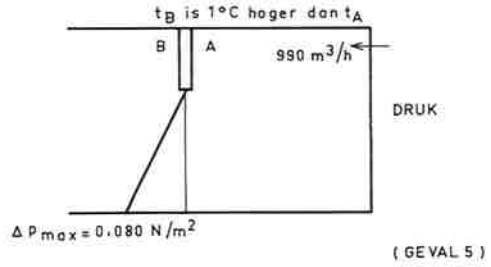
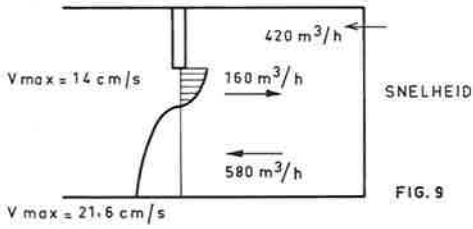
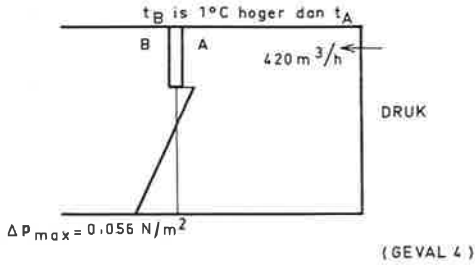
Algemene opmerking

Het zal de lezer duidelijk zijn dat in de figuren de horizontaal gearceerde delen van de snelheidsverdelingen ongewenst zijn als vertrek A beschermd moet worden tegen tegen kiemen uit vertrek B.

4 GETALWAARDEN VOOR ANDERE SITUATIES

De getallenvoorbeelden voor geval 2 t/m 5 zijn gegeven voor een bepaalde:

- deurhoogte ($h = 2 \text{ m}$)
- deurbreedte ($b = 0,8 \text{ m}$)
- temperatuurverschil ($\Delta t = 1^\circ\text{C}$)
- luchtaanvoer ($q = 420 \text{ m}^3/\text{h}$)
- vertrekinhoud ($I = 105 \text{ m}^3$)



Bij verandering van deze gegevens zal men ook andere waarden vinden voor:

- de drukverschillen over de deuropening
- de snelheden in de deuropening
- de luchttransporten door de deuropening
- het aantal luchtwisselingen

In geval 2 is de snelheid in de deuropening $v = q/3600.h.b$, en het drukverschil is evenredig met deze snelheid in het kwadraat.

In geval 3 is het maximale drukverschil Δp evenredig met het temperatuurverschil Δt ; het eenzijdig gerichte luchttransport door de deuropening is evenredig met:

$$(h)^{3/2} . b . (\Delta t)^{1/2}$$

In geval 4 zijn geen eenvoudige relaties te geven omdat de uitkomsten berusten op het oplossen van een derdemachtsvergelijking.

In geval 5 is het benodigde maximale drukverschil om overal in de deuropening terugstroming te voorkomen evenredig met $\Delta t.h$. De benodigde luchttoevoer waarbij dit bereikt wordt is evenredig met:

$$(h)^{3/2} . b . (\Delta t)^{1/2}$$

Het aantal luchtwisselingen laat zich in alle gevallen bepalen als quotiënt van de luchttoevoer q en de vertrekinhoud I .

5 CONSEQUENTIES VAN DE GEVONDEN RESULTATEN

Uit de berekeningen blijkt dat temperatuurverschillen tussen vertrekken een belangrijke, vaak zelfs een overheersende, invloed hebben op het al of niet plaatselijk terugstromen van lucht in de deuropening, in het bijzonder bij geopende deur. Deze invloed is zo groot

dat men moet stellen dat de luchttoevoer, die nodig zou zijn om terugstroming in de deuropening van een geopende deur te voorkomen, voor de meest voorkomende situaties niet in aanmerking komt voor verwezenlijking, behalve in zeer bijzondere gevallen. Als er temperatuurverschillen zijn zal er ook bij gesloten deur een over de deurhoogte verloopend drukverschil aanwezig zijn. Indien men bij gesloten deur zeker wil zijn dat door de kieren van een 2 m hoge deur geen terugstroming optreedt, moet de overdruk over de deur op 1 m boven de vloer per 1°C temperatuurverschil tenminste $0,04 \text{ N/m}^2$ (ca 0,004 mmWK) bedragen. Komen in de tussenwand tussen de vertrekken op grotere hoogten nog openingen voor dan moet het drukverschil nog groter zijn.

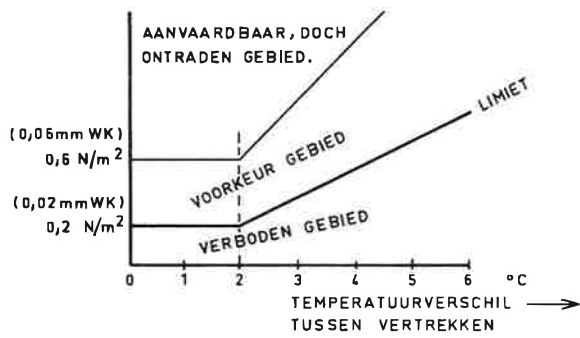
Gaan wij er van uit dat temperatuurverschillen tussen vertrekken vaak in de orde van 1 à 2°C zullen liggen en dat ook nog enige zekerheid moet bestaan dat geen terugstroming optreedt, dan komt men er toe bij gesloten deuren een drukverschil tussen vertrekken op halve deurhoogte aan te bevelen van tenminste $0,2 \text{ N/m}^2$ (ca 0,02 mmWK) bij temperatuurverschillen van 0 tot 2°C.

Als gevolg van de meestal onbekende lekkage van bouwconstructies zal het niet goed mogelijk zijn er voor te zorgen, dat na ontwerp, uitvoering en in bedrijfning van de installaties dit drukverschil precies wordt bereikt. Met nog goed hanteerbare controle-instrumenten is de nauwkeurigheid niet veel beter dan $0,1 \text{ N/m}^2$. Daarom is het praktisch om ook hogere drukverschillen toe te laten. Daarbij zou wel zoveel mogelijk getracht moeten worden te vermijden dat de drukverschillen veel meer dan driemaal zo hoog worden als het aangegeven minimum. Veel hogere drukken hebben nl. het bezwaar, dat ook de oncontroleerbare lekstromen door ondichtheden in de bouwconstructie (leidingdoorvoeren, ondichte aansluitingen van wanden op andere wanden, vloeren en plafonds) dan toenemen, hetgeen ongewenst is.

Deze aanbevelingen zijn samengevat in figuur 11.

FIG. 11

DRIJKVERSCHIL OP HALVE VERTREKHOOGTE



6 CONCLUSIES

- 6.1 Ook bij mechanische ventilatie (of airconditioning) in een ziekenhuis dienen de deuren van vertrekken zoveel mogelijk gesloten te worden gehouden in die gevallen waar transport van kiemen met de lucht door de deuropening ongewenst is.
- 6.2 Het is in de praktijk voor algemeen gebruik, economisch niet verantwoord een zo groot aantal luchtwisselingen te kiezen, dat ook bij geopende deuren geen ongewenste terugstromingen zullen optreden.
- 6.3 Voor alle hierboven bedoelde vertrekken moet men reeds bij gesloten deuren streven naar drukverschillen welke liggen boven de limietlijn, aangegeven in figuur 11.

7 LITERATUUR

- 1 ASHRAE Guide 1971 - p. 167,168.
- 2 Wolf, H.W., Harris, M.M., Hall, L.B.
Open operating room doors and staphylococcus aureus
Hospitals, March 16, 1961, p. 57.
- 3 Whyte, W., Shaw, B.H.
Airflow through doorways
IVth Int. Symp. on Aerobiology, Enschede, september 1972.

U.D.C. 697.957 : 725.51 : 697.953

IS RECIRCULATIE IN EEN ZIEKENHUIS ONAANVAARDBAAR?

door

Ir. H.B. Bouwman

met medewerking van

Prof.Dr. K.C. Winkler

I N H O U D

- 1 INLEIDING
- 2 UITEENZETTING VAN ENKELE MOGELIJKE SYSTEEMSCHEMA'S
- 3 BEREKENINGEN
- 4 BESCHOUWING VAN DE UITKOMSTEN
- 5 FOUTENDISCUSSIE
- 6 CONCLUSIES
- 7 APPENDIX

1 INLEIDING

Onder recirculatie wordt in deze publicatie verstaan het feit, dat lucht uit een vertrek wordt teruggevoerd in hetzelfde vertrek, of ook in één of meer andere vertrekken.

Bij terugvoer in hetzelfde vertrek spreken wij van interne recirculatie. In het andere geval spreken wij van externe recirculatie. Is de recirculatie bewust gewild, dan zou men kunnen spreken van opzettelijke recirculatie. Treedt recirculatie op terwijl men deze juist zou willen voorkomen, dan zou men kunnen spreken van ongewilde recirculatie.

Op het eerste gezicht lijkt in het bijzonder de externe recirculatie, d.w.z. luchttransport van de ene ruimte naar de andere ruimte, in een ziekenhuis onaanvaardbaar als men kruisinfecties als gevolg van transport van kiemen in de lucht van de ene ruimte naar de andere ruimte wil voorkomen.

In een ziekenhuis met natuurlijke ventilatie, die altijd moet plaatsvinden via openingen in de gevel, is oncontroleerbaar luchttransport van de ene ruimte naar een andere de normale toestand; het oncontroleerbaar luchttransport tussen verschillende ruimten in het gebouw ontstaat n.l. als gevolg van drukverschillen, die hun oorsprong vinden in de winddruk op het gebouw en thermische krachten in het gebouw. In een gebouw - dus ook in een ziekenhuis - is het alleen met mechanische ventilatie mogelijk ongewenst luchttransport te verhinderen, overal waar dit nodig wordt geacht.

Eén van de mogelijkheden om oncontroleerbaar luchttransport van ruimte tot ruimte te vermijden, is dat per vertrek buitenlucht wordt toegevoerd en dat de lucht uit het vertrek naar buiten wordt afgevoerd. Daarbij moet worden voorkomen dat de lucht op ongewenste wijze uit een bepaald vertrek toch nog in een ander vertrek terecht komt. De buitenlucht moet vóór binnenkomst o.a. worden opgewarmd of afgekoeld. Na dit éénmalig gebruik van de lucht gaat de warmte of de koude - die aanwezig is in de afgevoerde lucht - verloren. Deze wijze van vermijden van recirculatie kost uiteraard geld. Het is dus uit econo-

misch oogpunt van belang om te weten wanneer en in welke mate recirculatie uit bacteriologisch oogpunt toch aanvaardbaar geacht kan worden. Deze problematiek kan vermoedelijk het beste worden ingeleid aan de hand van enkele figuren. Daarna zullen ook aan de hand van berekeningen enkele consequenties getalmatig worden aangegeven.

2 UITEENZETTING VAN ENKELE MOGELIJKE SYSTEEMSCHEMA'S

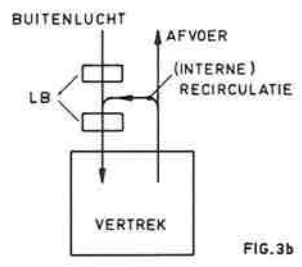
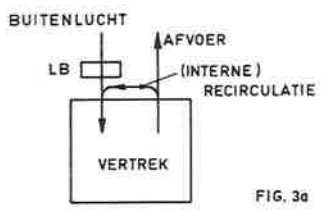
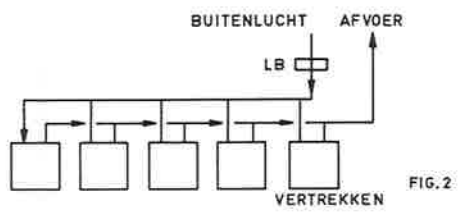
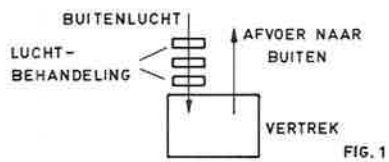
Geval 1: In figuur 1 is aangegeven het geval dat alléén buitenlucht aan een vertrek wordt toegevoerd. In het blok luchtbehandeling (LB) kan de lucht één of meer van de volgende behandelingen ondergaan:

- verwarmen of koelen
- bevochtigen
- filtreren

De afvoer wordt geheel naar buiten afgevoerd.

Geval 2: In figuur 2 is een ventilatiesysteem voor een ziekenhuis gegeven, waarbij ventilatie uitsluitend met buitenlucht geschiedt. In beginsel komt dit overeen met het schema van figuur 1 voor de enkele kamer.

Geval 3: In figuur 3a en 3b is een vertrek getekend waar een deel van de afvoerlucht wordt teruggevoerd naar het vertrek: interne recirculatie. Volgens het systeem in figuur 3a wordt de gerecirculeerde lucht niet behandeld. Men recirculeert bijv. om een betere doorspoeling en/of een betere luchtverdeling in de ruimte te verkrijgen en/of om te besparen op verwarming of koeling. In figuur 3b wordt de gerecirculeerde lucht wel opnieuw behandeld, bijv. gekoeld en gefilterd. Bij een bedrijfszekere en hoge mate van filtering kan deze methode zelfs aanvaardbaar zijn voor operatiekamers. In deze vorm wordt recirculatie reeds op vele plaatsen toegepast in operatiekamers met "laminar flow".



Geval 4: In figuur 4 is een systeem getekend waarbij gebruikte lucht aan meer vertrekken wordt teruggevoerd. Men doet dit om minder warmte naar buiten te verliezen. Omdat de lucht uit één vertrek hierdoor ook in een ander vertrek komt is hier sprake van externe recirculatie. Het woord "extern" slaat op de herkomst van de recirculatie-lucht. Deze wijze van recirculatie wordt voor een ziekenhuis als ongewenst of zelfs onaanvaardbaar beschouwd als de recirculerende lucht onvoldoende resp. niet gefilterd wordt. De externe recirculatie zou echter aanvaardbaar geacht kunnen worden als een bedrijfszekere en voldoende mate van filtering mogelijk zou zijn die ook economisch haalbaar is.

Geval 5: Een andere mogelijkheid om het warmteverlies te vermijden zonder contaminatiegevaar, is het toepassen van warmteterugwinning, bijv. volgens het systeem van figuur 5.

Door een warmtewisselaar wordt de warmte in de afvoerlucht toegevoerd aan de verse toevoerlucht. De uitgaande en de ingaande luchtstroom blijven in de warmtewisselaar geheel door wanden gescheiden. Er is dus geen recirculatielekstroom tussen de afvoerlucht en de toevoerlucht. Dit systeem is volledig acceptabel voor een ziekenhuis; maar het is als gevolg van het zeer grote warmte-uitwisselende oppervlak vermoedelijk zo kostbaar, dat de kosten nauwelijks zullen opwegen tegen de besparing op brandstof of koeling.

Geval 6: Een meer economisch systeem is mogelijk met een roterende warmtewisselaar, meestal regenerator genoemd. Het werkingsprincipe van een regenerator is in figuur 6a aangegeven.

De luchtige vulling van de vrij langzaam roterende trommel wordt bijv. 's winters in de uitgaande luchtstroom opgewarmd. Als de opgewarmde delen van de trommel daarna in de uitgaande luchtstroom komen, verwarmen deze de ingaande lucht.

Er zijn twee oorzaken dat er enige recirculatie optreedt of kan optreden.

De eerste oorzaak is dat telkens éénmaal de inhoud van een trommelsegment met afvoerlucht terugkomt in de ingaande luchtstroom. Dit be-

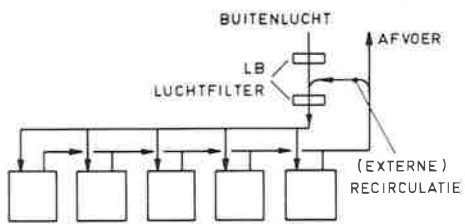


FIG. 4

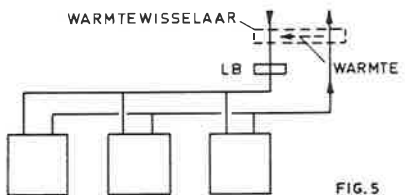


FIG. 5

tekent in wezen dat er een recirculatiestroom is van afvoerlucht naar de verse luchttoevoer, in de orde van 3%. Deze recirculatiestroom kan men niet afzonderlijk filteren. Wel kan men deze stroom tezamen met de buitenlucht door het buitenluchtfilter voeren. Men kan deze vorm van recirculatie beperken door de sectoren van de trommel, nadat deze de uitgaande stroom hebben verlaten, doch ook voordat deze in de ingaande stroom komen, een tussenspoeling te geven met schone buitenlucht. Dit gaat dan wel ten koste van enig warmterendement. Zoals wij in de berekeningsvoorbeelden zullen zien, zal het toepassen van een tussenspoeling als middel ter beperking van de recirculatie zelden nodig zijn.

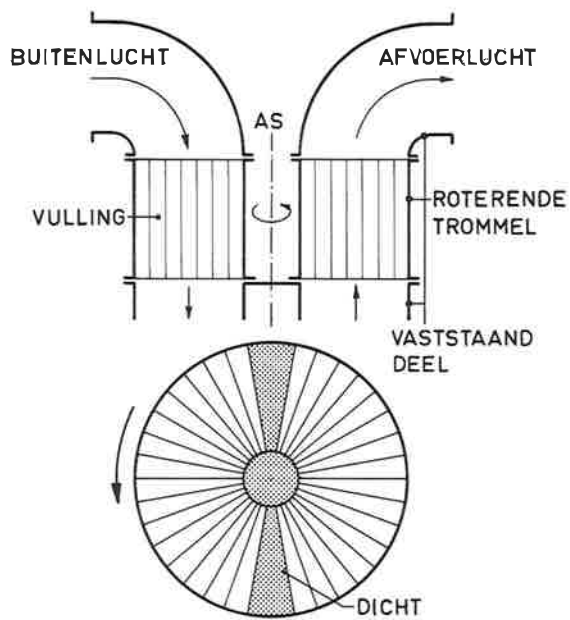
De tweede oorzaak kan zijn dat er een druk in het afvoergedeelte heerst die hoger is dan in het toevoergedeelte; aangezien de afdichtingen niet volmaakt zijn leidt dit tevens tot een recirculatiestroom van afvoerlucht naar toevoerlucht.

De remedie is duidelijk: men moet de installatie zo ontwerpen dat de druk in het toevoerdeel iets groter is dan in het afvoerdeel. De verliezen zijn kleiner naarmate de afdichting beter is. Het schema van een installatie met regenerator is aangegeven in figuur 6b.

3 BEREKENINGEN

Voor de situatie overeenkomstig de figuren 4 en 6b is een aantal berekeningen uitgevoerd die o.a. uitsluitel geven over de concentratie waarin de kiemen uit één vertrek terugkomen in een ander vertrek. Voor de berekeningen is uitgegaan van de volgende uitgangspunten:

- 1) Er zijn n vertrekken; $n = 20$ en 100
- 2) De vertrekinhoud is van alle vertrekken $V = 100 \text{ m}^3$
- 3) In de vertrekken wordt een aantal luchtwisselingen toegepast van $4/h$ of $8/h$. Dit komt dus neer op $400 \text{ m}^3/h$ resp. $800 \text{ m}^3/h$ per vertrek.
- 4) De binnengevoerde lucht bestaat voor het deel r ($r < 1$) uit recirculatielucht. Voor een regenerator komt r dus in de orde van $0,03$.



REGENERATOR

FIG. 6a

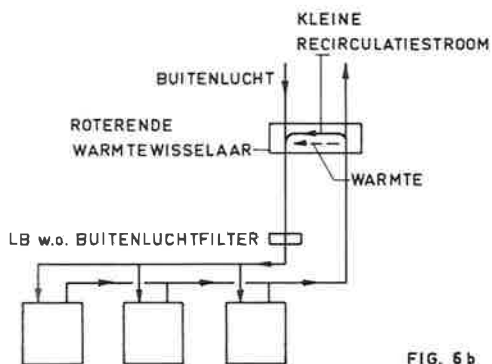


FIG. 6b

- 5) In elk vertrek (i) wordt slechts één soort kiemen (K_i) ontwikkeld.
- 6) In elk vertrek (i) komen per uur 10^6 kiemen van de soort K_i in de lucht.
- 7) Als de lucht wordt gefilterd gaat een deel d (d voor doorlaat) van de aankomende kiemen door het filter. Het vangrendement is dus $(1-d)$. Bij toepassing van een roterende regenerator zonder luchtfilter moet men dus $d = 1$ stellen.
- 8) Waar twee luchtstromen tezamen komen treedt onmiddellijk volledige menging op.
- 9) Tijdens het transport van de lucht neemt het aantal kiemen nóch toe nóch af. De groei en de afsterving van kiemen worden dus niet in de berekeningen betrokken.

Bij de berekeningen wordt uitgegaan van de volgende gelijkheden:

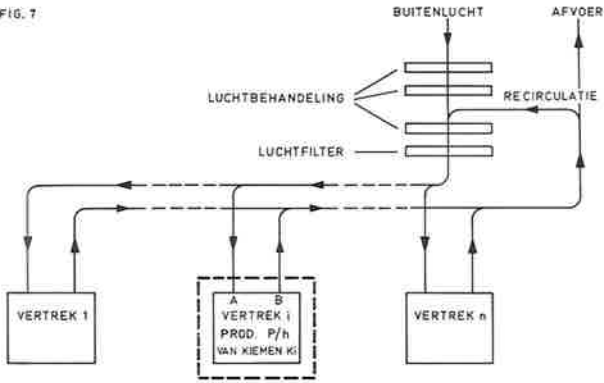
- a) Het aantal (A) kiemen van de soort K_i dat per uur in vertrek i terugkomt plus de productie (P) van de kiemen van de soort K_i in vertrek i, is gelijk aan het aantal (B) kiemen van de soort K_i dat vertrek i verlaat (fig. 7).
- b) Het aantal (C) kiemen van de soort K_i dat na de filters gepasseerd te zijn aan het begin van het luchtkanaalsysteem bij C het gebouw ingaat, plus het aantal P kiemen van de soort K_i dat in het gebouw wordt geproduceerd, is gelijk aan het aantal (D) kiemen van de soort K_i dat met de afgevoerde lucht het gebouw bij D verlaat (fig. 8).
- c) Van elke soort kiemen die met de recirculatiestroom E op een luchtfilter toekomt passeert het deel d het filter, en komt in de stroom G, terwijl deel $(1-d)$ in het filter F wordt gevangen (fig. 9).

4 BESCHOUWING VAN DE UITKOMSTEN

Voor een veertigtal combinaties zijn de uitkomsten samengevat in tabel 1. Om thuis te geraken in de tabel bezien wij eerst de getallen voor geval 1, samengevat in figuur 10.

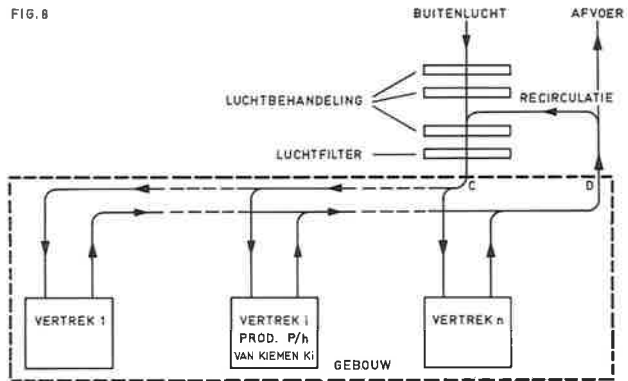
Er zijn 20 vertrekken. Het ventilatievoud bedraagt 4. Het recircula-

FIG. 7



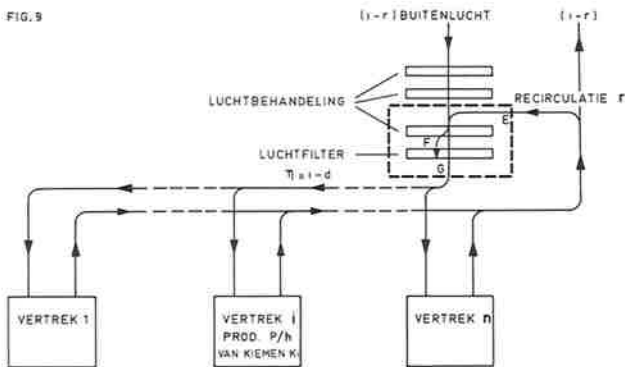
VOOR VERTREK: $A \text{ KIEMEN } K_i \text{ IN} + P \text{ KIEMEN } K_i \text{ PRODUCTIE} = B \text{ KIEMEN } K_i \text{ UIT}$

FIG. 8



VOOR HET GEBOUW: $C \text{ KIEMEN } K_i \text{ IN} + P \text{ KIEMEN } K_i \text{ PRODUCTIE} = D \text{ KIEMEN } K_i \text{ UIT}$

FIG. 9



VOOR HET FILTER: $E \text{ KIEMEN } K_i \text{ IN} = F \text{ KIEMEN } K_i \text{ GEVANGEN} + G \text{ KIEMEN } K_i \text{ DOORGLATEN}$

Tabel 1

| ruimte | regel | onderwerp | | geval→ eenh. ↓ |
|---------|-------|-------------------------|-------|-------------------|
| | 2 | aantal vertrekken | n | |
| | 3 | aantal luchtwisselingen | vv | 1/h |
| | 4 | recirculatiepercentage | r | % |
| | 5 | doorlaat van het filter | d | % |
| | 6 | vertrekinhoud | I | m ³ |
| | 7 | totale luchtstroom | q | m ³ /h |
| | 8 | vangrendement | η | % |
| | 10 | vertrek-eigen kiemen | "in" | /m ³ |
| | 11 | vertrek-vreemde kiemen | "in" | /m ³ |
| vertrek | 12 | vertrek-eigen kiemen | "uit" | /m ³ |
| | 13 | vertrek-vreemde kiemen | "uit" | /m ³ |
| | 14 | totaal kiemen | "uit" | /m ³ |
| | 15 | kiemen Ki | "uit" | /m ³ |
| gebouw | 16 | totaal kiemen | "uit" | /m ³ |
| | 17 | kiemen Ki | "in" | /m ³ |
| | 18 | totaal kiemen | "in" | /m ³ |

| ruimte | regel | onderwerp | | geval→ eenh. ↓ |
|---------|-------|-------------------------|-------|-------------------|
| | 2 | aantal vertrekken | n | |
| | 3 | aantal luchtwisselingen | vv | 1/h |
| | 4 | recirculatiepercentage | r | % |
| | 5 | doorlaat van het filter | d | % |
| | 6 | vertrekinhoud | I | m ³ |
| | 7 | totale luchtstroom | q | m ³ /h |
| | 8 | vangrendement filter | η | % |
| | 10 | vertrek-eigen kiemen | "in" | /m ³ |
| | 11 | vertrek-vreemde kiemen | "in" | /m ³ |
| vertrek | 12 | vertrek-eigen kiemen | "uit" | /m ³ |
| | 13 | vertrek-vreemde kiemen | "uit" | /m ³ |
| | 14 | totaal kiemen | "uit" | /m ³ |
| | 15 | kiemen Ki | "uit" | /m ³ |
| gebouw | 16 | totaal kiemen | "uit" | /m ³ |
| | 17 | kiemen Ki | "in" | /m ³ |
| | 18 | totaal kiemen | "in" | /m ³ |

G E E N R E G E N E R A T O R

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----|
| 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | n |
| 4 | 4 | 4 | 4 | 8 | 8 | 8 | 8 | vv |
| 50 | 50 | 50 | 50 | 75 | 75 | 75 | 75 | r |
| 13,3 | 10 | 2 | 1 | 13,3 | 10 | 2 | 1 | d |
| 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | I |
| 8000 | 8000 | 8000 | 8000 | 16000 | 16000 | 16000 | 16000 | q |
| 86,7 | 90 | 98 | 99 | 86,7 | 90 | 98 | 99 | η |
| 8,9 | 6,6 | 1,3 | 0,63 | 6,9 | 5,1 | 0,95 | 0,47 | 10 |
| 169 | 125 | 24 | 12 | 132 | 96 | 18 | 9,0 | 11 |
| 2509 | 2507 | 2501 | 2501 | 1257 | 1255 | 1251 | 1250 | 12 |
| 169 | 125 | 24 | 12 | 132 | 96 | 18 | 9,0 | 13 |
| 2678 | 2632 | 2525 | 2513 | 1389 | 1351 | 1269 | 1259 | 14 |
| 134 | 132 | 126 | 126 | 69 | 68 | 63 | 63 | 15 |
| 2678 | 2632 | 2525 | 2513 | 1389 | 1351 | 1269 | 1259 | 16 |
| 8,9 | 6,6 | 1,3 | 0,63 | 6,9 | 5,1 | 0,95 | 0,47 | 17 |
| 178 | 132 | 25 | 13 | 139 | 101 | 19 | 9,4 | 18 |
| 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | |
| 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | n |
| 4 | 4 | 4 | 4 | 8 | 8 | 8 | 8 | vv |
| 50 | 50 | 50 | 50 | 75 | 75 | 75 | 75 | r |
| 13,3 | 10 | 2 | 1 | 13,3 | 10 | 2 | 1 | d |
| 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | I |
| 40000 | 40000 | 40000 | 40000 | 80000 | 80000 | 80000 | 80000 | q |
| 86,7 | 90 | 98 | 99 | 86,7 | 90 | 98 | 99 | η |
| 1,8 | 1,3 | 0,25 | 0,13 | 1,4 | 1,0 | 0,19 | 0,09 | 10 |
| 176 | 130 | 25 | 12 | 137 | 100 | 19 | 9,4 | 11 |
| 2502 | 2501 | 2500 | 2500 | 1251 | 1251 | 1250 | 1250 | 12 |
| 176 | 130 | 25 | 12 | 137 | 100 | 19 | 9,4 | 13 |
| 2678 | 2632 | 2525 | 2513 | 1389 | 1351 | 1269 | 1259 | 14 |
| 27 | 26 | 25 | 25 | 14 | 14 | 13 | 13 | 15 |
| 2678 | 2632 | 2525 | 2513 | 1389 | 1351 | 1269 | 1259 | 16 |
| 1,8 | 1,3 | 0,25 | 0,13 | 1,4 | 1,0 | 0,19 | 0,09 | 17 |
| 178 | 132 | 25 | 13 | 139 | 101 | 19 | 9,4 | 18 |

tie aandeel t.o.v. de totale luchthoeveelheid is 0,50. De doorlaat d van het filter is 13,3%, het vangrendement is dus 86,7%. De vertrek-inhoud is 100 m^3 , de luchtstroom per vertrek $400 \text{ m}^3/\text{h}$, de totale luchtstroom voor 20 vertrekken $8000 \text{ m}^3/\text{h}$. Met de binnenkomende lucht komen o.a. 9 (regel 10) vertrek-eigen kiemen het vertrek binnen. De productie van 10^6 kiemen/h in het vertrek leidt hier op de totale luchtstroom van $400 \text{ m}^3/\text{h}$ tot een stijging van de kiemconcentratie met $\frac{10^6}{400} = 2500$ kiemen per m^3 , zodat 2509 (regel 12) vertrek-eigen kiemen het vertrek verlaten.

Behalve de 9 vertrek-eigen kiemen komen er nog 169 vertrek-vreemde kiemen per m^3 lucht binnen (regel 11); uit elk van de 19 vertrekken 8,9 stuks (regel 10) per m^3 , evenveel als het aantal terugkerende vertrek-eigen kiemen. De lucht die het vertrek verlaat bevat dus totaal 2678 vertrek-eigen plus vertrek-vreemde kiemen per m^3 (regel 14). De lucht die het gebouw verlaat bevat eveneens 2678 kiemen/ m^3 (regel 16) maar hierin is het aantal per soort voor alle soorten even groot, n.l. 134 kiemen per m^3 (regel 15). Dit aantal van 2678 kiemen per m^3 wordt door de recirculatie en de filtratie in de lucht die teruggaat naar de vertrekken gereduceerd tot 178 per m^3 (regel 18), of 8,9 per m^3 per kamer van herkomst (regel 17 en 10).

Verhoogt men het vangrendement van het filter tot 99% (geval 4, fig. 11), een rendement dat ook voor kantoren al meer en meer ingang vindt, dan is het totale aantal naar het vertrek terugkomende kiemen ca 13 per m^3 (regel 18).

Het aantal terugkerende kiemen afkomstig van een bepaald vertrek is dan 0,63 kiem per m^3 . Van het totaal van 13 terugkerende kiemen per m^3 , zijn er ca 12 afkomstig uit alle andere vertrekken tezamen.

Verdubbeling van het aantal luchtwisselingen van 4 tot 8 keer per uur (bijv. van geval 1 naar geval 5; fig. 10 en 12), waarbij de hoeveelheid verse lucht in absolute zin constant wordt gehouden (recirculatievoud hier dus van 0,5 naar 0,75) geeft weliswaar duidelijk een vermindering te zien van het aantal vertrek-vreemde kiemen, maar geen halvering ervan.

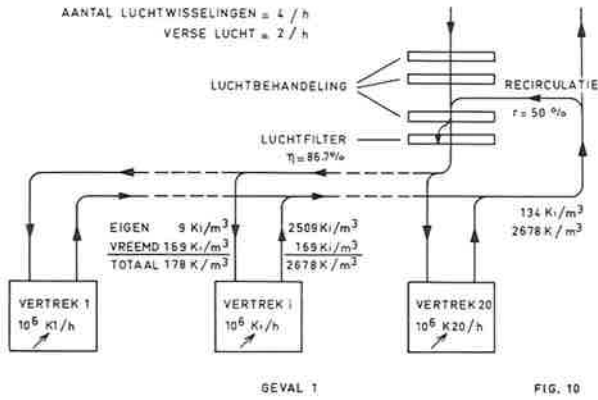


FIG. 10

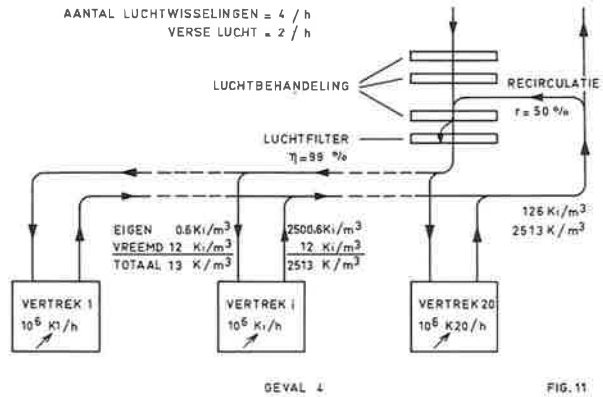


FIG. 11

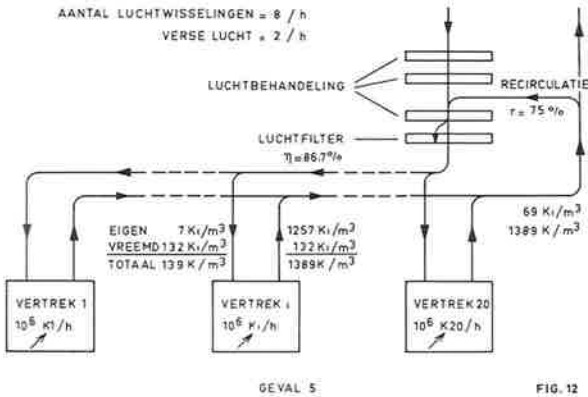


FIG. 12

Verdubbelt men het aantal luchtwisselingen met behoud van het recirculatievoud, dus ook met een dubbele hoeveelheid verse lucht, dan wordt het aantal terugkerende kiemen wel gehalveerd. Dit geval is niet in de tabel 1 opgenomen.

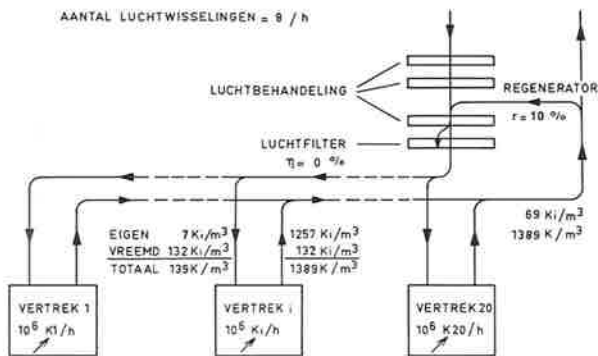
Als men met een regenerator gaat werken, doet men dit om het aantal luchtwisselingen en daarmee de doorspoeling van het gebouw te vergroten zonder dat dit tot een evenredige vergroting van de kosten voor verwarming en koeling leidt. Zou men bij 8 luchtwisselingen per uur werken met 10% recirculatie, (geval 15, fig. 13), reeds een onwaarschijnlijk slecht hoog bedrag, dan is in de lucht die aan het vertrek wordt toegevoerd het aantal vertrek-vreemde kiemen 132 per m^3 afkomstig uit 19 vertrekken. (zie tabel, vervolg op pag. 16).

Met een meer reëel getal van 3% recirculatie voor een regenerator (geval 18, fig. 14), komt men, nog steeds zonder filter, in de toevoerlucht, op een bedrag van 37 vertrek-vreemde kiemen per m^3 afkomstig van 19 vertrekken. Dit is ongeveer een vijfde van hetgeen in geval 1 werd gevonden (regel 11). Vergelijk de figuren 10 en 14.

Passeert de lucht wèl een filter, bijv. 90% vangrendement (geval 19, fig. 15), dan daalt het aantal tot 3,6 vertrek-vreemde kiemen per m^3 ingeblazen lucht, waarbij deze 3,6 kiemen afkomstig zijn uit 19 vertrekken, reeds een zeer laag getal. Een verdere verhoging van het vangrendement tot 98% (geval 20) zou het aantal kiemen dan nog verder verlagen.

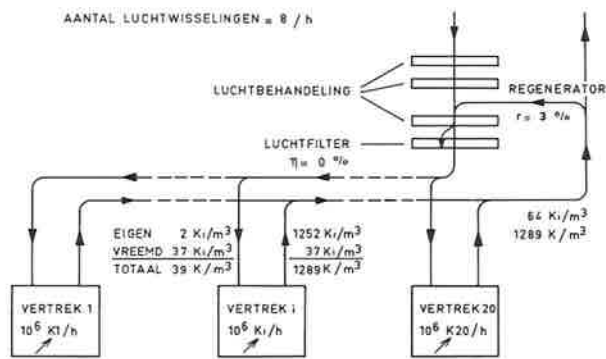
Om rekening te houden met enige toename van de recirculatie in een regenerator als gevolg van slijtage, is in de getallen genoemd in conclusie 2 een recirculatiepercentage van 5% aangehouden in combinatie met een filterrendement van 90%.

De verviervoudiging van het aantal op één luchtcentrale aangesloten vertrekken, n.l. van 20 op 100, (gevallen 21 t/m 40 t.o.v. de gevallen 1 t/m 20) brengt geen verandering in het totale aantal vertrek-



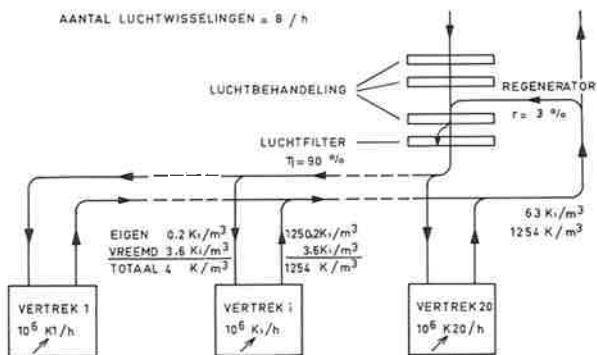
GEVAL 15

FIG. 13



GEVAL 18

FIG. 14



GEVAL 19

FIG. 15

vreemde kiemen per m^3 binnengebrachte lucht. Wel wordt de concentratie van het aantal vertrek-vreemde bacteriën dat afkomstig is uit één ander vertrek een factor vijf kleiner. Zo ziet men dat in geval 21 slechts 1,8 vertrek-vreemde kiemen/ m^3 afkomstig zijn uit één ander vertrek, in plaats van 8,9 in geval 1.

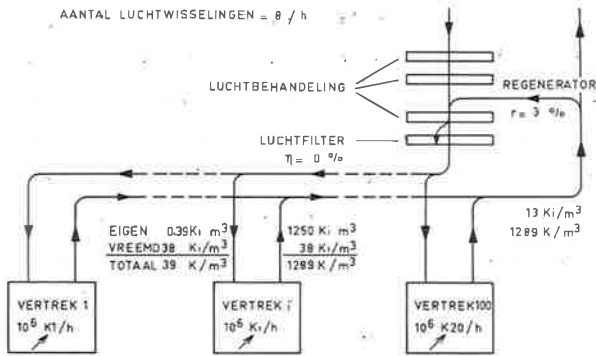
Vergroting van het aantal vertrekken aangesloten op één luchtcentrale is dus uit oogpunt van verdunning van de kiemen afkomstig uit één ander vertrek gunstig; de verspreiding van deze kiemen over een groter aantal vertrekken kan echter als nadeel worden gezien. Zou men (zoals in geval 38) werken met 8 luchtwisselingen per uur en 3% recirculatie van de regenerator dan zou men reeds zonder gebruik van een luchtfilter komen op 39 vertrek-vreemde kiemen per m^3 afkomstig uit 99 verschillende vertrekken; van de in een bepaald vertrek geproduceerde 1250 kiemen per m^3 komen er slechts 0,39/ m^3 in een ander vertrek (!) terug zonder dat een filter wordt gebruikt.

Zoals wij uit andere studies zullen zien, wordt de noodzaak van het toepassen van filters niet zozeer bepaald door de gevaren welke gevolg zijn van de recirculatie van bacteriën door het mechanische luchttransport, als wel door de bacteriologische gevaren welke de airconditioningsapparatuur zelf meebrengt. Deze laatste gevaren kunnen met filters voldoende worden overwonnen.

5 FOUTENDISCUSSIE

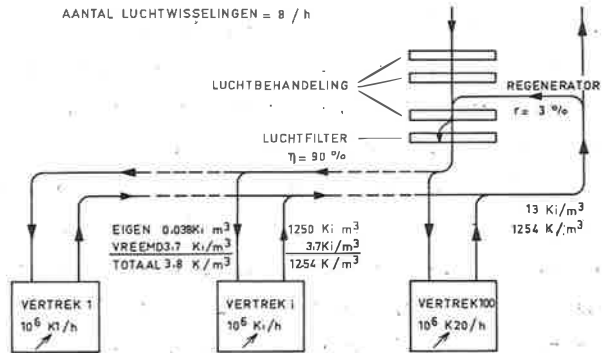
De uitkomsten gelden uiteraard alleen voor de gemaakte veronderstellingen en voor de onderzochte combinaties. Ten aanzien van een aantal veronderstellingen wordt nagegaan hoe de uitkomsten zouden veranderen als de betreffende veronderstellingen onjuist zouden zijn.

5.1 De kiemproductie van $10^6/h$ per vertrek kan als zeer hoog worden beschouwd. Dit niveau zal alleen tijdens bedopmaken korte tijd enigszins overschreden worden. De getallen in de tabel zijn dus als gemiddelden zeker nog aan de hoge kant.



GEVAL 38

FIG. 16



GEVAL 39

FIG. 17

5.2 Als groei van kiemen in de installatie gedurende het transport van de lucht zou optreden zijn de gevolgen als volgt te schatten: Als wij al zouden aannemen dat het aantal kiemen zich per minuut zou kunnen verdubbelen en wij nemen in aanmerking dat de lucht zijn weg van het vertrek naar en van de luchtcentrale in slechts een beperkt aantal (bijv. 5 tot 20) seconden aflegt en dat een verdubbeling per minuut door geen enkele kiemsoort wordt gehaald, dan weten wij dat het verwaarlozen van een eventueel groei-effect geen invloed heeft op de orde van grootte van de gevonden resultaten.

5.3 Houdt men rekening met het normale geval dat een zekere mate van natuurlijke afsterving optreedt dan zijn uiteraard alle kiemconcentraties lager dan tabel 1 aangeeft.

5.4 Indien geen volledige vermenging optreedt waar twee luchtstromen zich samenvoegen, blijft wel gelden dat de som van alle kiemen van de soort K_1 t/m K_n die na het passeren van het laatste luchtfilter het gebouw via het kanalsysteem binnenkomt, plus de producties van alle kiemen K_1 t/m K_n gelijk is aan de som van alle kiemen K_1 t/m K_n die het gebouw volgens figuur 8 verlaten. Stellen wij nu het uiterst onwaarschijnlijke geval dat alle kiemen die uit de vertrekken komen in gestratificeerde stroming (stroming langs gescheiden blijvende paden) tot de recirculatie-aftakking blijft bestaan. Hoe sterk de stratificatie (gescheiden blijvende padstroming) zich ook blijft handhaven, zeker is, dat in de recirculatielucht het aantal kiemen per m^3 hetzelfde zal blijven. Alleen zullen er van de ene soort meer of zelfs alle en van de andere soort minder of geen enkele aanwezig zijn. Het luchtfilter verdunt vervolgens deze gelederen alle in dezelfde mate. Het totaal aantal kiemen per m^3 lucht dat na het filter gepasseerd te zijn via het toevoersysteem het gebouw weer ingaat kan nooit groter zijn dan het aantal genoemd op regel 18 van tabel 1. Stellen wij vervolgens het uiterst onwaarschijnlijke geval dat de stroming volledige gestratificeerd blijft dan krijgen alle vertrekken toch evenveel kiemen per m^3 teruggevoerd. De mogelijkheid zou dan bestaan dat het aantal kiemen dat per m^3 terugkomt

uit een ander bepaald vertrek hoger is dan regel 10 aangeeft; maar het is onmogelijk dat dit aantal per m^3 groter is dan het getal dat in regel 11 is genoemd.

In al die gevallen dat regel 11 een acceptabel getal aangeeft, blijft dit getal ook geldig en dus acceptabel, bij elke mate van onvolledigheid van de genoemde menging. Het zal overigens duidelijk zijn dat de werkelijke toestand dichter zal liggen bij volledige menging dan bij volledige stratificatie.

6 CONCLUSIES

a) Bij toepassing van luchtbehandelingsapparatuur, werkend met recirculatie van de lucht uit het ziekenhuis en toepassing van filters welke 99% van de kiemen uit de recirculatielucht vangen komt het aantal vertrek-vreemde bacteriën per m^3 zo laag (in de orde van $10/m^3$) te liggen dat men vrijwel overal recirculatie zonder bedenking kan toepassen.

b) Bij toepassing van luchtbehandelingsapparatuur werkend met warmteregeneratie, waarbij de lucht voor 5% recirculeert en door een buitenluchtfilter wordt gevoerd dat de kiemen voor tenminste 90% wegvangt, komt per m^3 binnengevoerde lucht het totale aantal vertrek-vreemde bacteriën reeds zo laag (in de orde van $6/m^3$) dat men vrijwel overal deze combinatie van warmteregeneratie en filtering zonder bedenking kan toepassen.

7 APPENDIX

Voor de lezer welke de tabel 1 wil aanvullen voor andere parameter combinaties zijn hieronder enkele formules aangegeven.

Regel 10 en 17:

Aantal kiemen, K_i vertrek-eigen kiemen per m^3 terugkomend met lucht toegevoerd aan vertrek i is $\frac{10^6}{n \cdot vv \cdot I} \cdot \frac{r \cdot d}{1 - r \cdot d}$

Regel 11 en 13:

Aantal vertrek-vreemde kiemen in de lucht toegevoerd aan kamer i , is $(n-1) \cdot (\text{regel 10})$

Regel 11:

Aantal kiemen K_i in de lucht, afgevoerd uit vertrek i , is $\frac{10^6}{vv \cdot I} + (\text{regel 10})$

Regel 14 en 16:

Totaal aantal kiemen in de lucht, afgevoerd uit vertrek i , is $\frac{10^6}{vv \cdot I} + n \cdot (\text{regel 10})$

Regel 15:

Aantal kiemen K_i in de lucht, dat het gebouw verlaat is $\frac{1}{n} \cdot (\text{regel 14})$

Regel 18:

Totaal aantal kiemen K_i per m^3 in de lucht, afgevoerd uit het gebouw = $n \cdot (\text{regel 10})$

Hierin betekenen:

d = de doorlaat van het filter ($d < 1$)

I = de inhoud van een vertrek in m^3

n = het aantal vertrekken aangesloten op één luchtcentrale

r = het relatieve recirculatievoud = aantal luchtwisselingen met recirculatielucht / totaal aantal luchtwisselingen

vv = het aantal luchtwisselingen per uur in de vertrekken

U.D.C. 697.942.4 : 725.51

LUCHTFILTERS VOOR TOEPASSING IN ZIEKENHUIZEN

Ir. J.F. v.d. Wal

I N H O U D

- 1 INLEIDING

- 2 PRINCIPE VAN DE WERKING VAN LUCHTFILTERS

- 3 PARAMETERS, BEPALEND VOOR HET FILTERRENDEMENT

- 4 TESTMETHODEN

- 5 KEUZE VAN HET GESCHIKTSTE FILTER

- 6 HET TESTEN VAN IN BEDRIJF GESTELDE FILTERS

- 7 LITERATUUR

1 INLEIDING

Moderne ziekenhuizen worden voorzien van een luchtbehandelingsinstallatie waarmee het klimaat in de gebouwen instelbaar is. Om verspreiding van bacteriën tegen te gaan zijn naast de regeling van de grootte en de richting van de luchtstromen ook luchtfilters nodig. Om verschillende redenen, o.a. ter beperking van kruisinfectie dienen luchtfilters te worden geïnstalleerd. Hierbij kan sprake zijn van de volgende filters:

- Buitenluchtfilters; het gróve stof moet uit de buitenlucht worden verwijderd.
- Nafilters, welke na de koeler en/of de bevochtigingssectie van de installatie moeten worden aangebracht, om eventueel vrijkomende deeltjes met kiemen afkomstig van de koeler en/of de bevochtigingssectie, en deeltjes die het buitenluchtfilter zijn gepasseerd, op te vangen.
- Recirculatiefilters tussen het buitenluchtfilter en de koeler en/of de bevochtigingssectie, om te voorkomen dat stofdeeltjes met eventueel virulente kiemen uit de recirculatielucht aanleiding kunnen geven tot vervuiling van de koelers, tot belemmering van de goede werking van sproeiërs en tot het vormen van overlevingsplaatsen voor kiemen in opgehoopt stof.
- Absolute filters voor de inblaas in ruimten waar een stofarme (kiemvrije) atmosfeer wordt gewenst.

De specificaties welke van de filters voor ziekenhuizen worden geëist berusten mede op medische gronden. Een filtertechnicus beschikt over specificaties, die berusten op gestandaardiseerde testmethoden. De verschillende filterleveranciers houden vaak onderling sterk van elkaar verschillende testmethoden aan, die soms moeilijk vergelijkbaar zijn. Vaak geeft de keuze van een filter voor de filtertechnicus problemen, omdat hij de eisen van de afnemer in verband moet brengen met het gedrag van de filters zoals dit tevoorschijn komt uit de toegepaste standaardtestmethoden. Dit artikel geeft richtlijnen aan om tot een verantwoorde filterkeuze te komen als de medische eisen zijn ge-

formuleerd. Verder behandelt deze uiteenzetting op welke wijze filters na installatie en in bedrijfstelling op hun werking, fouten en onvolkomenheden kunnen worden getest en beoordeeld.

2 PRINCIPE VAN DE WERKING VAN LUCHTFILTERS

Voor toepassing in ziekenhuizen is doorgaans sprake van mechanische filters. Hieronder wordt verstaan een filtrerend medium - vaak bestaande uit een mat of een vel van vezels - waar de lucht doorheen wordt geleid. Uiteraard worden de deeltjes die groter zijn dan de openingen tussen de vezels tegengehouden. (zeefwerking). Deeltjes die kleiner zijn dan deze openingen worden niettemin tegengehouden als deze een of meer vezels raken en daardoor worden vastgehouden door adhesiekrachten.

Er zijn verschillende oorzaken mogelijk, die leiden tot de botsing van een deeltje met een vezel. De belangrijkste zijn de traagheidskrachten en de diffusie. Elektrische krachten spelen geen grote rol bij mechanische filters omdat de optredende veldsterkten gering zijn. De grootte die bepalend is voor de goede werking van een filter is het rendement, resp. de penetratie, dit is de fractie van de aangeboden stofdeeltjes, die het filter tegenhoudt, resp. doorlaat. Rendement en penetratie zijn relatieve grootheden, onafhankelijk van de stofconcentratie. Men zal bijv. aan buitenluchtfilters in een verontreinigde atmosfeer (industriegebied) hogere eisen t.o.v. het rendement moeten stellen dan in een schone omgeving.

Andere filtereigenschappen, die niet direct van medisch doch wel van economisch belang zijn, zijn:

het drukverlies of de weerstand van het filter, gewoonlijk uitgedrukt in mm waterkolom; deze weerstand bepaalt de benodigde energie om de lucht door het filter te laten stromen;

en de standtijd, het aantal bedrijfsuren dat het filter zijn dienst kan doen tot het moet worden vervangen omdat de weerstand te hoog is geworden door de stofbelasting. De fabrikant geeft ook hiervoor specificaties.

3 PARAMETERS, BEPALEND VOOR HET FILTERRENDEMENT

De belangrijkste parameters die het rendement van een filter bepalen zijn de doorvoersnelheid van de lucht en de deeltjesgrootte (verdeling) van het aangeboden aerosol. Aerosol is de algemene benaming van een dispersie of mengsel van vaste of vloeibare deeltjes in een gasvormig medium. Het vangrendement is afhankelijk van zowel de snelheid door het filter als de deeltjesgrootte van het aerosol. Dit wordt veroorzaakt door de effecten van de traagheidskrachten (inertie-effect) en de diffusie. De traagheidskrachten nemen toe bij toenemende snelheid en deeltjesgrootte. Het diffusie-effect neemt juist toe bij lagere snelheid (door de langere verblijftijd in het filter) en kleinere deeltjesgrootte. Het vangrendement vertoont hierdoor een minimum als functie van zowel de snelheid als de deeltjesgrootte van het aerosol, of wel de penetratie vertoont een maximum (zie voorbeelden in fig. 1 en fig. 2). Voor een uitgebreide behandeling van de factoren die de filtratie beïnvloeden, zij naar de literatuur verwezen aan het einde van deze inleiding.

In de praktijk bedraagt de snelheid in het kanaal of de kast waarin het filter zich bevindt ca 1-3 m/s (frontsnelheid, aanstroomsnelheid of "face velocity"); bij zeer efficiënte filters (Hepa-filters = high efficiency particulate filters, ook wel absoluutfilters genoemd) die een hoge weerstand bezitten, is deze lager, n.l. ca 0,5-1 m/s. De snelheid door het filtermateriaal is in veel gevallen kleiner gemaakt door het oppervlak van het filter te vergroten (zakkenfilters, gevouwen filters). Ruwweg kunnen filters dan in drie groepen worden verdeeld naar doorvoersnelheid, n.l.:

| rendement | type (vb) | frontsnelheid m/s | doorvoersnelheid m/s |
|-----------|--------------|----------------------|-------------------------|
| gering | mat | 1 - 3 | 1 - 3 |
| matig | zakken | 1 - 3 | 0,1 - 0,3 |
| hoog | gevouwen | 0,5 - 1 | 0,01 - 0,03 |

DIBUTYLPHTALAAT - AEROSOL
GLASVEZELFILTERPAPIER

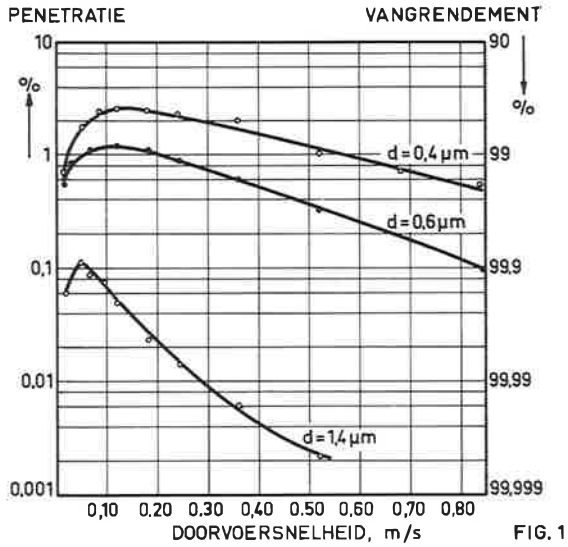


FIG. 1

POLYSTYREEN-LATEX AEROSOL
VEZELMATFILTER

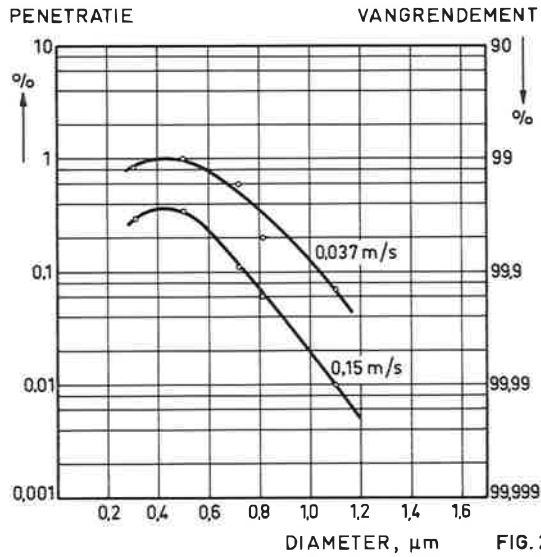


FIG. 2

Het spreekt vanzelf dat de snelheid bij de test gelijk dient te zijn aan die in geïnstalleerde toestand. Wat betreft de deeltjesgrootteverdeling is gelijkheid echter moeilijk te realiseren. De deeltjesgrootteverdeling ter plaatse is doorgaans onbekend en wisselend. Bij het testen wordt dan ook gebruik gemaakt van teststof met een bepaalde deeltjesgrootteverdeling in constante samenstelling. Bij de gebruikelijke luchtsnelheden is het rendement minimaal bij een deeltjesdiameter van 0,1-0,3 μm . Zowel grotere als nog kleinere deeltjes worden beter gevangen. Voor ons is dit alleen van belang voor de deeltjes groter dan 0,1 à 0,3 μm .

4 TESTMETHODEN

In tabel 1 wordt een overzicht gegeven van de meest toegepaste standaardtestmethoden. Zij zijn van engelse, duitse, amerikaanse en franse oorsprong. Vermeld worden de samenstelling van het stof, het deeltjesgroottegebied, de gemiddelde gravimetrische deeltjesdiameter (50 gewichts % van de stofdeeltjes groter, resp. kleiner dan deze diameter) en het principe waarop de bepaling van het filterrendement berust. In tabel 2 op blz. H7 zijn de teststoffen gerangschikt naar gemiddelde deeltjesdiameter, daar deze van doorslaggevend belang is.

5 KEUZE VAN HET GESCHIKTSTE FILTER

De medische eisen zijn als volgt geformuleerd:

"Het rendement moet minimaal x% bedragen voor deeltjes met een diameter van y μm ." Nadrukkelijk moet worden gesteld dat de keuze van het geschiktste filter op grond van de specificaties volgens de beschikbare testmethoden niet exact uit te voeren is. De in het volgende beschreven procedure leidt echter wel tot een goede benadering en maakt de keuze verantwoord.

De filtertechnicus moet een filtertype selecteren, waarvan het rendement tenminste x% is, getest met een standaardstof waarvan de gemid-

Tabel 1. Standaardtestmethoden

| Land | Test ^{a)} | Samenstelling van het teststof | Deeltjesgrootte- gebied in μm | Grav. gem. diameter in μm | Principe van de bepaling van het filterrendement |
|-----------|-----------------------------|--|---|---|--|
| Engeland | BS 2831/1 | methyleenblauw | 0,02-2 | 0,5 | kleurmeting |
| | BS 3298 (sodium flame test) | NaCl | 0,02-2 | 0,6 | vlamfotometrie |
| | BS 2831/2 | Al_2O_3 | 2-15 | 5 | gravimetrisch |
| | BS 2831/3 | Al_2O_3 | 10-25 | 20 | gravimetrisch |
| | BS 1701 | kwarts | 10-100 | 50 | gravimetrisch |
| U.S.A. | MIL-STD-282 | D.O.P. (di-octyl-phtalaat) | 0,3(monodispers) | 0,3 | lichtverstrooiing |
| | A.F.I.-weight-test | 3% katoenvezels van 4 mm, 72% zand, 25% carbonblack (0,08 μm) | 0,06-4000 | 5 | gravimetrisch |
| | A.F.I.-dust-spot-test | idem | | | zwarting |
| | ASHRAE | 5% katoenvezels van 4 mm, 72% zand, 23% carbonblack (0,08 μm) | 0,08-4000 | 5 | gravimetrisch |
| | N.B.S. | vliegias | 2-100 | 20 | extinctiemeting |
| Duitsland | S.F.I. radioactief stof | | 0,01-0,3 | 0,1 | activiteitsmeting |
| | S.F.I.-olieveldtest | paraffine-olie | 0,3-0,5 | 0,4 | lichtverstrooiing |
| | S.F.I.-kwartsstof A | kwarts | 0,05-5 | 1,5 | lichtverstrooiing |
| | S.F.I.-kwartsstof B | kwarts | 0,1-10 | 3 | lichtverstrooiing |
| | S.F.I.-kwartsstof C | kwarts | 1-20 | 8 | lichtverstrooiing |
| | Marbacher vliegias | vliegias | 1-50 | 10 | gravimetrisch |
| Frankrijk | IRCHA kwartsstof J | kwarts | 1-15 | 5 | gravimetrisch |

c)

Betekenis van de afkortingen

B.S. = British Standard

A.F.I. = American Filter Institute

S.F.I. = Staubforschungsinstitut

N.B.S. = National Bureau of Standards

IRCHA = Institut National de Recherche Chimique Appliquée

ASHRAE = American Society of Heating- Refrigerating- and Airconditioning Engineers

Tabel 2

| Teststof | Grav. gem. diameter in μm |
|-------------------------------------|--|
| SFI - radioactief stof | 0,1 |
| D.O.P | 0,3 |
| SFI - olienevel | 0,4 |
| B.S. methyleen blauw | 0,5 |
| B.S. NaCl | 0,6 |
| SFI - kwartsstof A | 1,5 |
| SFI - kwartsstof B | 3 |
| B.S. 2831/2 Al_2O_3 | 5 |
| IRCHA kwartsstof J | 5 |
| A.F.I. - stof | 5 |
| ASHRAE | 5 |
| SFI - kwartsstof C | 8 |
| Marbacher vliegas | 10 |
| B.S. 2831 Al_2O_3 | 20 |
| N.B.S. - vliegas | 20 |
| B.S. 1701 | 50 |

delde gravimetrische deeltjesgrootte (tabel 2) y zo dicht mogelijk benadert. Het kan zijn dat geen test met stof van de juiste deeltjesgrootte voorhanden is. Veiligheidshalve kiest men dan een filtertype, dat volgens een test met een stof met de dichtstbenaderende kleinere deeltjesgrootte het vereiste rendement haalt. Deze benaderingsmethode is in de meeste gevallen toegestaan, daar de deeltjesgrootteverdeling van de meeste teststoffen homogeen en betrekkelijk smal is. Uitzonderingen hierop zijn de AFI- en de ASHRAE-methode; het teststof bij deze twee methoden bestaat n.l. uit een zeer heterogeen stofmengsel, n.l. van een stofsoort in het gebied 1-80 μm (gemiddeld 8 μm), zeer fijn stof (0,08 μm) en zeer grote vezels (lengte 4 mm). Indien specificaties volgens andere methoden bekend zijn, gebruikt men deze bij voorkeur om tot een verantwoorde keuze te komen. Het bovenstaande wordt toegelicht aan de hand van enkele voorbeelden.

Voorbeeld 1: Indien voor een filter na de bevochtigingssectie een rendement van 99% wordt geëist voor deeltjes van 5 μm , zijnde de kleinste deeltjes waarop bacteriën in het algemeen nog een redelijke overlevingskans hebben, komt men tot de volgende keuze-mogelijkheden. Hanteert de leverancier de Duitse normen, dan kiest deze een filter dat volgens de SFI-test met kwartsstof (gem. diam. 5 μm) een rendement van minimaal 99% heeft. Volgens Engelse normen is de eis 99% rendement volgens B.S. 2831/2 (gem. diam. stof 5 μm). Volgens Franse normen 99% volgens de test volgens IRCHA kwarts J. Amerikaanse fabrikanten testen in dit gebied doorgaans volgens de AFI-testmethode, waarvan de resultaten moeilijk met de eis in verband kunnen worden gebracht. Beschikt de leverancier tevens over specificaties volgens één der andere testmethoden (dit is in Europa meestal het geval), dan bepalen deze de keuze van het filter.

Voorbeeld 2: Indien voor een filter in een operatiekamer een rendement van 99% wordt geëist voor deeltjes van 0,5 μm , zijnde de kleinste deeltjes waarvan men schade of hinder verwacht, verloopt de keuze als volgt:

Duitsland : Volgens S.F.I.-olieneveltest - rendement 99%

Engeland : Volgens methyleen blauw test of sodium flame test -
rendement 99%

U.S.A. : Volgens MID-STD-282 (D.O.P-test) - rendement 99%

Aangezien de deeltjesgrootte kleiner is ($0,3 \mu\text{m}$), is dit aan de veilige kant. Heeft de leverancier een filter met iets lager rendement, bijv. 98% volgens deze test, dan zal deze ook in aanmerking kunnen komen.

Voorbeeld 3: Indien men voor het bovenstaande geval een rendement van 99% eist voor deeltjes van $1 \mu\text{m}$ (minder zware eis), verloopt de keuze identiek, aangezien teststof van $1 \mu\text{m}$ niet voorhanden is. (vgl. tabel 2). De teststoffen met de dichtstbenaderende kleinere deeltjesgrootte zijn dezelfde als die in voorbeeld 2 worden genoemd. De eisen zijn nu wel aan de zeer veilige kant. Deze wijze van filterselectie is niet exact, doch kan als een verantwoorde benaderingsmethode worden gehanteerd. Overigens dient men mede af te gaan op de praktische ervaring van de filterspecialisten.

6 HET TESTEN VAN IN BEDRIJF GESTELDE FILTERS

Nadat een filtertype is geselecteerd en het filter door de fabrikant, eventueel na een test in de fabriek, onder garantie is afgeleverd, wordt het filter geïnstalleerd en vervolgens in bedrijf gesteld. Een grotere penetratie van deeltjes dan volgens de garantie is nu zeer goed mogelijk bijvoorbeeld door een minder goede afdichting en beschadigingen, ontstaan tijdens het transport of de montage. Het verdient daarom aanbeveling de filters direct na de installatie en tevens op regelmatige tijden daarna "in situ" te testen; dit wordt echter lang niet altijd gedaan. Deze test wordt uitgevoerd door de deeltjesconcentratie vóór en na het filter te meten. Als meetinstrument kan het beste een deeltjes-telapparaat dat voldoet aan specificatie ASTM-F50, worden gebruikt. Dit apparaat telt de deeltjes in de lucht in verschillende deeltjesgrootte-klassen. De Gezondheidsorganisatie TNO be-

schikt over een Royco Particle Counter Model 225, welke gestationeerd is bij de Afdeling Binnenlucht van het Instituut voor Gezondheidstechniek TNO te Delft. Deze is ingericht om in de volgende klassen te kunnen meten:

- 0,3 - 0,5 μm
- 0,5 - 0,7 μm
- 0,7 - 1,4 μm
- 1,4 - 3 μm
- > 3 μm (tot ca 10 μm)

De bepaling van grotere deeltjes kan geschieden door lucht isokinetisch te monstereën en het stof daarbij te vangen op membraanfilters, de filters doorzichtig te maken en de deeltjes microscopisch te meten en te tellen. Op deze wijze wordt direct vastgesteld of het filter in de geïnstalleerde toestand aan de medische eisen voldoet. De lucht die het filter wordt aangeboden bevat in het algemeen voldoende deeltjes om het rendement te kunnen bepalen. Slechts bij filters met zeer hoge rendementen (absoluutfilter of Hepa-filter) kan het noodzakelijk zijn in de luchtstroom vóór het filter extra deeltjes te genereren met in de handel verkrijgbare nevelgeneratoren. Indien in een situatie, zoals in operatiekamers kan voorkomen, de lucht vrij uit het filter stroomt, kunnen lekken worden opgespoord door het filteroppervlak met een zuigmond, verbonden met de stofmeter af te tasten. Wil men lekken opsporen dan kan ook met een goedkopere, minder gevoelige tyndallometer worden volstaan. Zowel de tyndallometer, als de Particle Counter berusten op het vermogen van kleine deeltjes in lucht om licht te verstrooien. Aan een geconcentreerde lichtbundel wordt de hoeveelheid verstrooid licht gemeten. De tyndallometer meet de door alle deeltjes samen verstrooide hoeveelheid licht; de Royco deeltjes-teller telt en classificeert de lichtpulsen afkomstig van ieder deeltje afzonderlijk.

7 LITERATUUR

- 1 Davies, C.N.
Aerosolscience (1966) Academic Press London and New York,
Chapter VIII, IV
- 2 Van der Wal, J.F.
De theorie van het vangen van deeltjes door luchtfilters
Verwarming en Ventilatie 28 (1971), p. 220-222
- 3 Stokes, E.A., Mulcaster, K.D.
Air filtration, Steam and Heating Engineer (1969)
- 4 Dorman, R.G.
European and American methods of testing of air conditioning
filters, Filtration/Separation (1968), p. 24-28
- 5 Hasenclever, D.
Filter zur Luft- und Gasreinigung in kerntechnischen Anlagen
Staub-Reinh. Luft 31 (1971), p. 45-51
- 6 Strausz, H.J.
Bemerkungen zur gegenwärtigen Situation auf dem Gebiet der
Luftfilter-Prüfungen
Staub-Reinh. Luft 28 (1968), p. 391-395

COLOPHON

Bij het totstandkomen van dit boekje waren de volgende medewerkers van het IG betrokken:

redactie: ir. H. B. Bouwman
typewerk: mej. D. Chin A Foeng en
 mej. M. M. Makadoero
tekenwerk: A. Boer en W. A. J. Slootweg
drukwerk tekst: Chr. Lispet en N. Ramoutar
coördinatie: P. A. Bossers en M. H. de Groot

Ontwerp en drukwerk voor het omslag werden geleverd door de firma W.D.Meinema B.V. te Delft, die ook het bindwerk verzorgde.

De tekeningen op de bladzijden C7 en D2 werden gemaakt door Ben Horsthuis te Pijnacker.

Publikatie 433-439
Prijs f 10,00

IG-TIO