

LUCHTSTROMINGEN DOOR EEN OPEN DEUR

Ir. H. B. Bouwman

INHOUD

1. Inleiding
 2. De theorie
 3. De mogelijkheid van modelproeven
 4. Beschrijving van het model
 5. De resultaten van de modelproeven
 6. Theorie en experiment
 7. Conclusies
 8. Symbolenlijst
-

1. INLEIDING

Kennis van de luchtstromingen door een open deur is overal van belang waar men het binnendringen van verontreinigde lucht uit één vertrek naar een ander vertrek wil voorkomen. Het is daarbij van weinig belang of die verontreinigingen bestaan uit stofdeeltjes, onaangename geuren, ongewenste stoffen, of ziektekiemen in ziekenhuizen.

Tijdens de TVVL-TNO dag op 26 oktober 1972, gewijd aan bepaalde aspecten die van belang zijn voor ziekenhuizen, is dit onderwerp behandeld met het oog op het voorkómen van kruisinfecties via de lucht.

2. DE THEORIE

In een eerdere verhandeling¹ is aangegeven welke stromingen op grond van theoretische overwegingen te verwachten zijn in een geopende deur. Daarbij werd de situatie beschouwd van 'overdrukventilatie' van een ruimte, die zo was ingericht dat bij het openen van de deur de in die ruimte ingevoerde lucht door de geopende deur zou ontwijken.

Achtereenvolgens komen ter sprake:

- de isotherme toestand waarbij de snelheden door de deuropening zeer gering zijn
- de toestand waarbij geen ventilatielucht werd toegevoerd, maar wel een temperatuurverschil van 1°C aanwezig was tussen de vertrekken; de optredende tegengestelde thermische luchtstromen door de deur waren daarbij ca. $350\text{ m}^3/\text{h}$, zie figuur 1
- de toestand waarbij $420\text{ m}^3/\text{h}$ in het ene vertrek werd ingeblazen en waarbij een temperatuurverschil van 1°C aanwezig was tussen de vertrekken; de luchtinvoer van $420\text{ m}^3/\text{h}$ in het ene vertrek kon niet verhinderen dat ca. $160\text{ m}^3/\text{h}$ uit het andere vertrek het eerste vertrek binnestroomde, zie figuur 2.

Daarna werd berekend hoeveel lucht in het ene vertrek zou moeten worden toegevoerd om te voorkomen dat bij een temperatuurverschil van 1°C nog terugstroming in de deuropening zou optreden.

Hiervoor bleek een luchthoeveelheid nodig te zijn van bijna $1000\text{ m}^3/\text{h}$ bij een deuropening van 80 cm breedte en 200 cm hoogte, zie figuur 3. Een luchthoeveelheid van $1000\text{ m}^3/\text{h}$ betekent voor een ruimte van 100 m^3 reeds een tienvoudige doorspoeling per uur.

Tenslotte werd de invloed gegeven van de deurafmetingen en de grootte van het temperatuurverschil op de te verwachten stromingshoeveelheden.

¹ H. B. Bouwman, Mogen deuren in ziekenhuizen open blijven staan? Publicatie nr. 437 van het Instituut voor Milieuhygiëne en Gezondheidstechniek TNO.

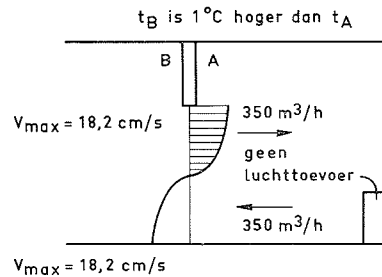


Fig. 1
De snelheidsverdeling in de open deur bij een temperatuurverschil $\Delta t = 1^\circ\text{C}$, maar geen luchttoevoer

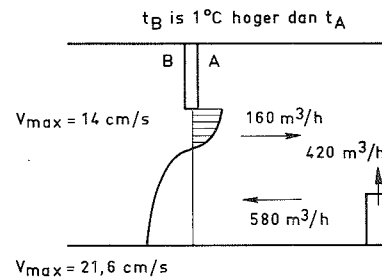


Fig. 2
De snelheidsverdeling in de open deur bij een temperatuurverschil $\Delta t = 1^\circ\text{C}$ en ook een 'normale' luchttoevoer

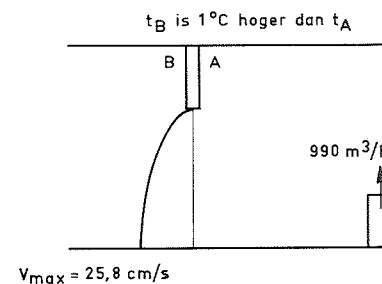


Fig. 3
De snelheidsverdeling in de open deur bij een temperatuurverschil $\Delta t = 1^\circ\text{C}$, met een luchttoevoer in A welke het binnenstromen van lucht uit B in A juist voorkomt

3. DE MOGELIJKHEID VAN MODELPROEVEN

Reeds bij het beschikbaar komen van de theoretische uitkomsten werd het verlangen gevoeld ook experimenteel het een en ander na te gaan, en de verschijnselen zichtbaar te maken. Nu zijn er aan het maken van een opstelling op ware grootte de volgende bezwaren verbonden:

- de opstelling neemt zeer veel ruimte in
- het zal nodig zijn de temperatuur van de wanden en de lucht binnen ca. $0,1^{\circ}\text{C}$ te kunnen instellen en in de hand te houden, hetgeen tot kostbare voorzieningen leidt.
- de te verwachten luchtsnelheden zijn laag, zodat het meten ervan vele voorzorgen vereist.

Op grond van deze overwegingen is nagegaan of modelproeven mogelijk zouden zijn waarbij met vloeistof zou kunnen worden gewerkt.

Om in zo'n vloeistofmodel dezelfde stromingsvorm te verkrijgen als in werkelijkheid zou aan een aantal voorwaarden voldaan moeten zijn. Het krachten spel zou zodanig moeten zijn dat de stroming in het model gelijkvormig is aan de stroming in werkelijkheid.

Bij isotherme stroming zijn visceuse krachten en traagheidskrachten in het spel. Voor de isotherme situatie eist de gelijkvormigheid dat de verhouding van de invloed van de massakrachten en de visceuse krachten in het model en de werkelijkheid gelijk is. Hieraan is voldaan als het getal van Reynolds gelijk wordt gehouden ($Re = \rho v l / \eta$, zie symbolenlijst). Bij niet-isotherme stroming is bovendien de zwaartekracht in het spel, nl. als gevolg van de verschillen in soortelijk gewicht in het stromingsveld als gevolg van temperatuurverschillen. Bij de niet-isotherme stroming moet de verhouding van de invloed van de zwaartekrachtsverschillen en de traagheidskrachten op het stromingspatroon in het model en in de werkelijkheid gelijk worden gehouden. Hieraan is voldaan als het getal van Archimedes ($Ar = g \beta \Delta t / v^2$) gelijk wordt gehouden.

De warmteoverdracht van de wanden op het medium is buiten beschouwing gelaten. Dit lijkt verantwoord omdat vooral interesse bestaat voor de verschijnselen gedurende en kort na het openen van de deur.

Hierna is voor verschillende vloeistoffen berekend hoe groot het model zou moeten zijn opdat in het model een toestand verwezenlijkt kan worden die overeenkomt met de werkelijkheid.

Het voordeel van het werken in het model is dat men in het model met veel grotere temperatuurverschillen kan werken, en dat de tijdschaal zodanig verandert dat de verschijnselen in het model zich veel sneller afspelen dan in werkelijkheid; de snelheidsdrukken zijn groter, hetgeen voor het doen van snelheidsmetingen van belang kan zijn.

4. BESCHRIJVING VAN HET MODEL

Gekozen werd voor een model waarvan de afmetingen 0,063 maal kleiner waren dan de na te bootsen werkelijkheid, en waarin met het medium R 113 gewerkt zou kunnen worden om een toestand met een temperatuurverschil van 1°C in de werkelijkheid te kunnen nabootsen. De proeven, in het bijzonder de filmopnamen, zijn echter vanwege de complicaties bij het werken met R 113, genomen met water. Daarbij kon slechts een temperatuurverschil van ca. $0,16^{\circ}\text{C}$ in werkelijkheid ($\Delta t = 20^{\circ}\text{C}$ in het model) worden nagebootst. De stromingsverschijnselen waren bij deze waarde reeds zo instructief dat tot nu toe is afgezien van het werken met R 113. Dit te meer daar er geen reden is te verwachten dat daarbij essentiële veranderingen zouden optreden.

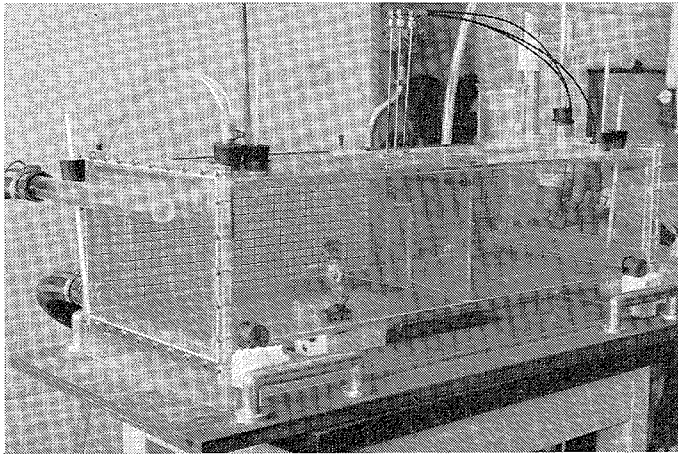


Fig. 4
Overzichtsfoto van het model uit de proefopstelling

Figuur 4 geeft een overzichtsfoto van het model. Links van de deur zijn drie verticale buisjes aangebracht voor het injecteren van kleurstof. In elk buisje zijn, regelmatig over de hoogte van de deuropening verdeeld, twaalf gaatjes aangebracht waar de kleurstof het buisje horizontaal en evenwijdig aan het vlak van de deuropening verlaat.

Figuur 3 geeft ook de wijze aan waarop de 'lucht' in het rechter vertrek wordt ingevoerd.

5. DE RESULTATEN VAN DE MODELPROEVEN

Van verschillende toestanden werden de verschijnselen op een film vastgelegd. Om hiervan ook in dit boekje iets te laten zien worden hier beelden uit de film gegeven met de bijbehorende toelichting.

Figuur 5 geeft in de isotherme stromingsloze situatie de toestand kort na het openen van de deur weer. Duidelijk is te zien dat in de onderste helft een wolkje kleurstof de rechter

Fig. 5
Stroming kort na het openen van de deur in de isotherme toestand zonder 'ventilatie'

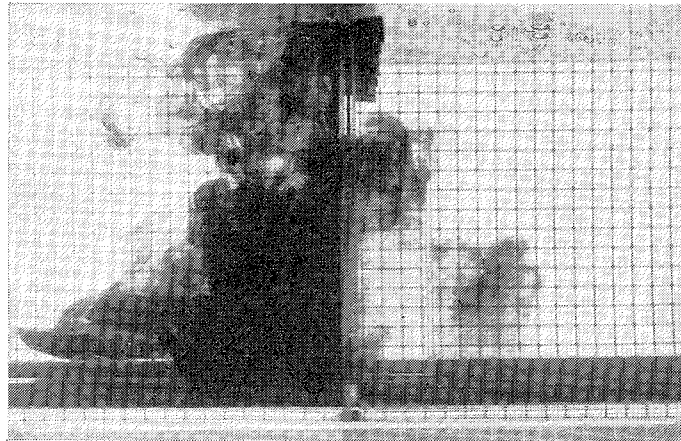


Fig. 6
Stroming kort nadat een persoon de deuropening is gepasseerd in de isotherme toestand zonder 'ventilatie'

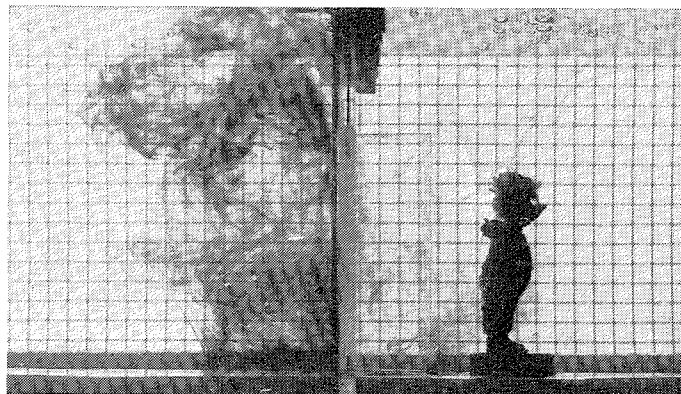
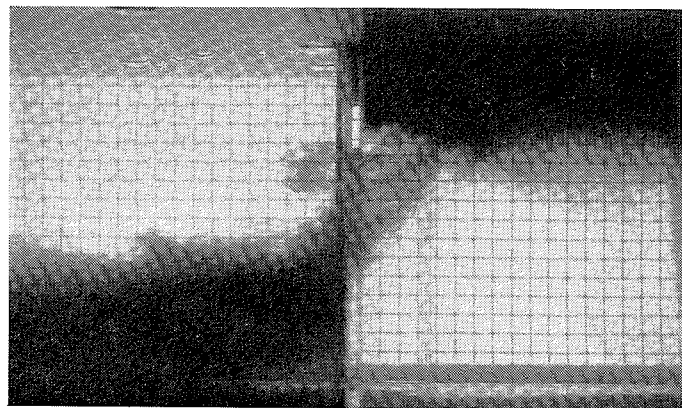


Fig. 7
Stroming enige tijd na het openen van de deur bij een temperatuurverschil van 1°C in de situatie zonder 'ventilatie'. Permanente kleurinjectione voor de deuropening



ruimte in schiet, terwijl aan de bovenzijde van de deur een wolkje kleurstof blijft hangen.

Figuur 6 laat de toestand zien kort nadat een persoon door de deuropening is gelopen. Nadat deze persoon stilstaat schiet

de meegenomen kleurstof voorbij de benen en tegen de rug van de persoon ook omhoog de ruimte in.

Figuur 7 toont de niet-isotherme situatie. Het temperatuurverschil is hierbij 1°C . Er wordt geen 'lucht' van buitenaf aan de ruimten toegevoerd of onttrokken; de thermische stroming heeft reeds enige tijd plaatsgevonden. Bij deze proef werd continu kleurstof geïnjecteerd. Deze kleurstof werd in de bovenste helft van de deuropening naar de rechter (koudere) ruimte gevoerd, en in de onderste helft naar de linker (warmere) ruimte. Van vermenging van beide stromen is nauwelijks sprake.

Figuur 8 toont de situatie waarin in werkelijkheid een temperatuurverschil van $0,16^{\circ}\text{C}$ aanwezig zou zijn en een hoeveelheid lucht in het rechter vertrek zou worden gebracht, overeenkomende met een 1,8-voudige ventilatie. Hierbij werd alle in het rechter vertrek ingebrachte 'lucht' via de deuropening naar links afgevoerd. Ondanks het kleine temperatuurverschil van $0,16^{\circ}\text{C}$ was dit ventilatievoud (1,8/h) nog niet in staat het binnentreden van lucht uit het linker vertrek naar het rechter vertrek te voorkomen. Hierna is het ventilatievoud zover opgevoerd dat geen terugstroming meer optrad. Dit bleek, bij een temperatuurverschil van $0,16^{\circ}\text{C}$, het geval te zijn bij 3,6-voudige ventilatie van de rechter ruimte, zie figuur 9.



Fig. 8

Stroming door de open deur in de situatie dat het linker vertrek $0,16^{\circ}\text{C}$ warmer is dan het rechter vertrek, in het rechter vertrek wordt 'lucht' ingeblazen zodat het ventilatievoud 1,8/h bedraagt. Terugstroming van het linker naar het rechter vertrek wordt niet voorkomen

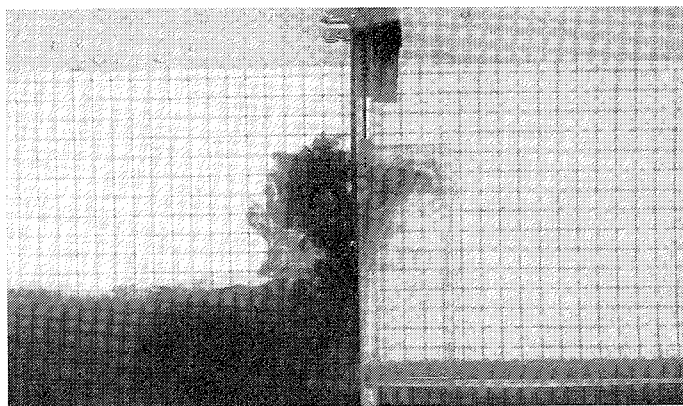


Fig. 9

Stroming door de open deur in de situatie dat het linker vertrek $0,16^{\circ}\text{C}$ warmer is dan het rechter vertrek; in het rechter vertrek wordt 'lucht' ingeblazen zodat het ventilatievoud 3,6/h bedraagt. Terugstroming wordt voorkomen, is althans voor het oog niet meer waarneembaar

6. THEORIE EN EXPERIMENT

De theorie gaf aan dat dit laatste bij 4,1-voudige ventilatie zou optreden, in plaats van bij 3,6-voudige ventilatie tijdens de proef. Voor dit verschil is kwalitatief nog een goede verklaring te geven. De theorie heeft namelijk nog geen rekening gehouden met de te verwachten wervel bij de in het model gekozen wijze van luchtinvoer. Deze wervel heeft een aan de bovenzijde van de deuropening neerwaartse richting welke ter plaatse het tegenhouden van de lucht, die uit het linker vertrek naar het rechter vertrek zou willen opstijgen, vergemakkelijkt.

Opvallend was dat wel voortdurend een wolkje kleurstof bij de deur bleef hangen, maar dat hiervan geen flarden in de rechter ruimte doordrongen, althans niet in waarneembare concentraties.

Wij menen dat er, althans in de onderzochte situatie, van een redelijk goede overeenstemming tussen theorie en experiment mag worden gesproken.

7. CONCLUSIES

- Het experiment in het model toonde voor de onderzochte situatie een redelijk goede overeenstemming met de theorie.
- Als benadering biedt de theorie voorlopig een betrouwbaar houvast zolang sterker storende stromingen in de ruimten ontbreken.
- Met de filmopnamen in het model kunnen de verschijnselen goed zichtbaar worden gemaakt, hetgeen kan bijdragen tot een beter begrip van het belang van deze verschijnselen.

8. SYMBOLENLIJST

- g = versnelling van de zwaartekracht
- l = een lengte-afmeting
- v = de snelheid van het medium op een bepaalde plaats
- β = kubieke uitzettingscoëfficiënt van het medium
- η = dynamische viscositeit van het medium
- ρ = dichtheid van het stromend medium.