

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 kouvatten;
- 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 luchttransport-richtingen, 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)  $1^{\circ}\text{C}$  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 luchtuitwisseling 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".

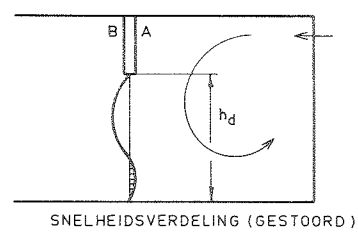
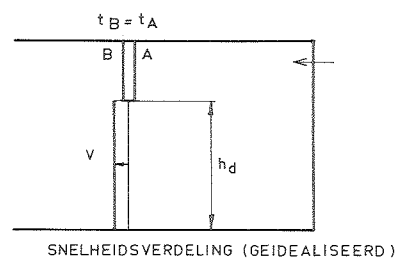
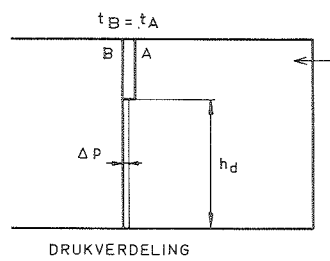
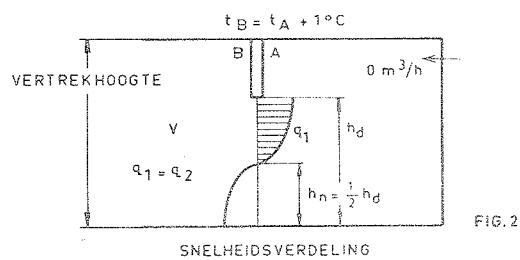
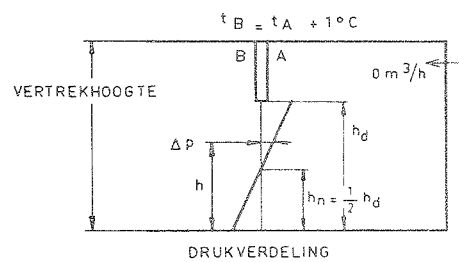
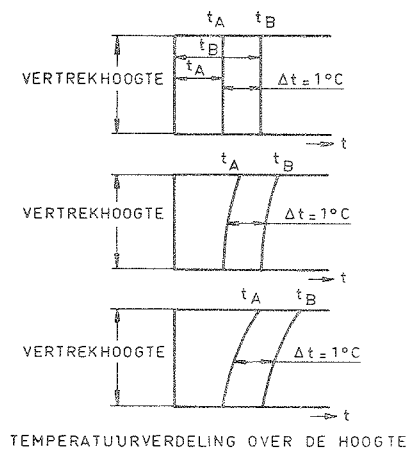


FIG. 1



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

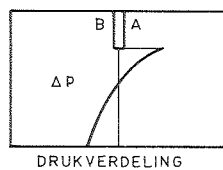
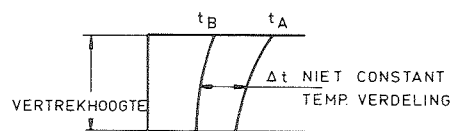


FIG. 3

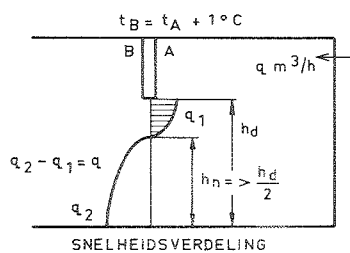
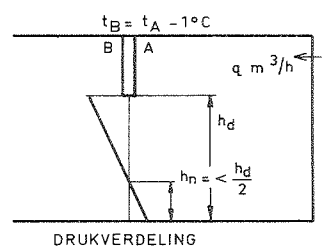
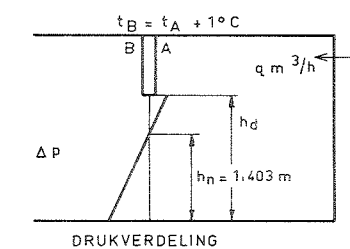


FIG. 4a

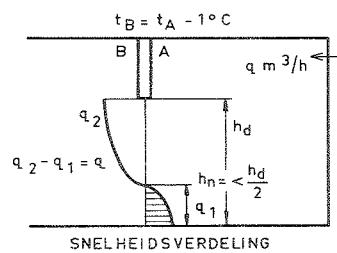


FIG. 4b

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  $1^{\circ}\text{C}$  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.

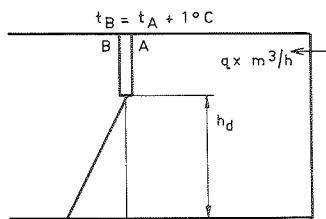
De deuropening is in deze voorbeelden gesteld op 2 m hoogte bij een breedte van 0,8 m. Voor vertrek A betekent een luchttoevoer van  $420 \text{ m}^3/\text{h}$  een viervoudige luchtwisseling. Hoe de gegeven getallen veranderen bij andere deurafmetingen, een ander temperatuurverschil en bij andere luchthoeveelheden,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

Geval 1 uit paragraaf 2 kan buiten beschouwing blijven.

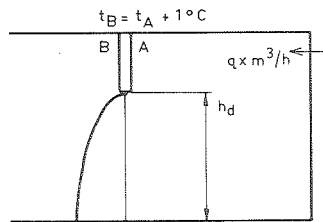
In geval 2 krijgt men de situatie als in figuur 7. De overdruk welke daarbij over de deuropening ontstaat is bijzonder klein, n.l. in de orde van  $0,0064 \text{ N/m}^2$  (ca  $0,00064 \text{ mmWK}$ ). De snelheid in de deuropening is slechts  $7,3 \text{ cm/s}$ . Het is duidelijk dat deze snelheidsverdeling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

In geval 3, waarin geen lucht wordt toegevoerd maar wel een temperatuurverschil van  $1^{\circ}\text{C}$  ( $t_B > t_A$ ) 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



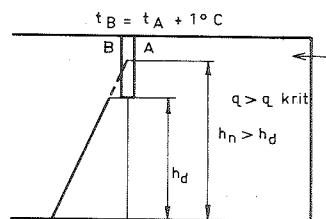


DRUKVERDELING

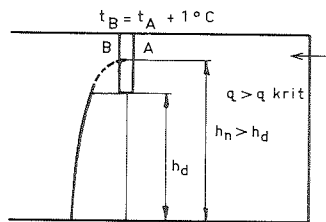


SNELHEIDSVERDELING

FIG. 5

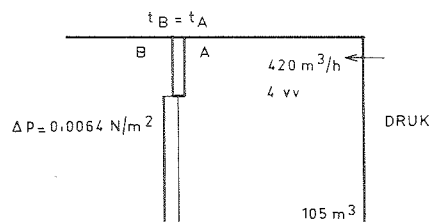


DRUKVERDELING



SNELHEIDSVERDELING

FIG. 6



(GEVAL 2)

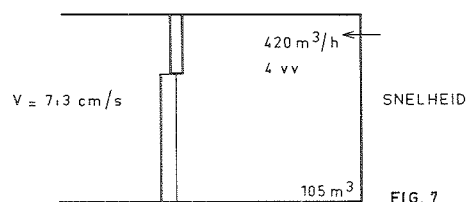
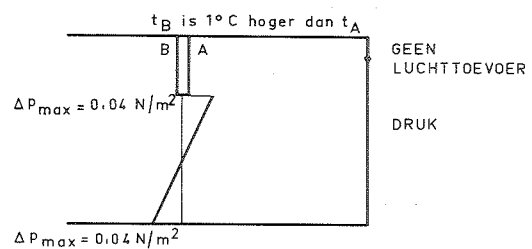


FIG. 7



(GEVAL 3)

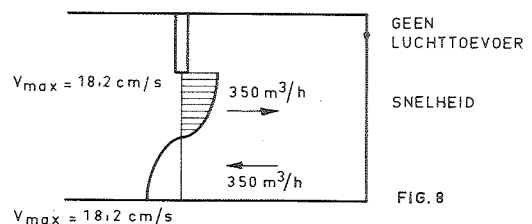


FIG. 8

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  $1^\circ\text{C}$  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  $1^\circ\text{C}$  temperatuurverschil tussen de vertrekken. Bij een groter temperatuurverschil is de hoeveelheid lucht, nodig om terugstroming te voorkomen, nog groter.

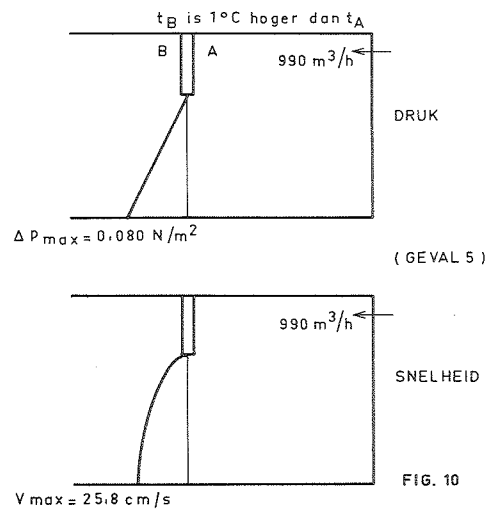
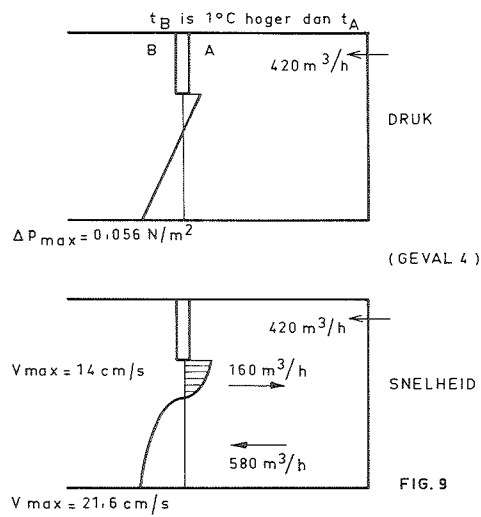
#### Algemene opmerking

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 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  $\Delta p$  evenredig met het temperatuurverschil  $\Delta t$ ; 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.

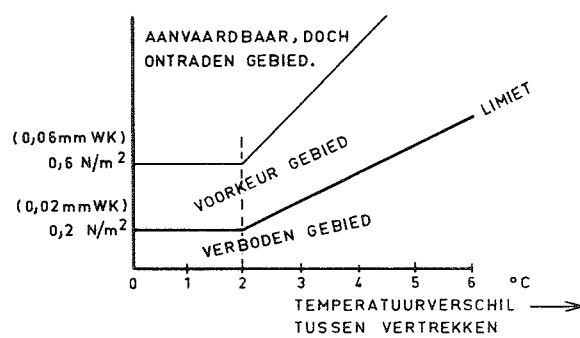
Gaan wij er van uit dat temperatuurverschillen tussen vertrekken vaak in de orde van 1 à 2°C zullen liggen en dat ook nog enige zekerheid moet bestaan dat geen terugstroming optreedt, dan komt men er toe bij gesloten deuren een drukverschil tussen vertrekken op halve deurhoogte aan te bevelen van tenminste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

DRUKVERSCHIL 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.

