

Overstroomroosters in het OK-blok van de operatie-afdeling: Een noodzaak!**

Overflow grids in operating theatres: a must!

ing. Ph.J.Ham*



Inleiding

Ziekteverwekkende kiemen kunnen behalve via direct of indirect contact, b.v. bij een handdruk of bij gezamenlijk gebruik van een handdoek, ook worden overgebracht via de lucht.

Ongefilterde lucht bevat vele zwevende stofdeeltjes waarvan een gedeelte kiemdragend is. Is de lucht in beweging dan volgen deze zwevende deeltjes deze beweging vrijwel precies.

Er kan dan ook worden gesteld:

Waar luchttransport is, is kiemtransport.

Ontstaat door een dergelijk transport van pathogene kiemen een ziekte of infectie dan spreekt men van kruisinfectie. Ter voorkoming van kruisinfectie moet er in ziekenhuizen voor worden gezorgd dat er zo min mogelijk transport van kiemen via de lucht plaatsvindt. Zo zal men o.a. in de operatie-afdeling (OK-afdeling) de luchtuitwisseling tussen de vertrekken onderling zo nauwkeurig mogelijk moeten beheersen, waarbij de volgende uitgangspunten worden gehanteerd:

- aan de schone ruimte wordt meer lucht toe- dan afgevoerd; de extra toegevoerde (gefilterde) lucht wordt in het andere vertrek afgezogen;
 - er ontstaat hierdoor een luchttransport via deurkieren of via bewust aangebrachte overstroomroosters van de schone naar de vuile ruimte;
 - het schone vertrek verkrijgt hierdoor een hoger drukniveau dan het aangrenzende, minder schone vertrek.
- Hebben alle drukniveaus in de diverse ruimten van de OK-afdeling onderling de gewenste waarden dan kan men zeggen dat de gewenste drukhiërarchie is bereikt.

Wordt bij een deurverbinding geen bewust aangebracht drukverschil beoogd dan vindt toch in beide richtingen luchtuitwisseling plaats. De drijven-

de krachten voor deze onbeheerste luchtuitwisseling kunnen zijn:

- drukverschillen die ontstaan ten gevolge van een onbalans in de mechanische ventilatiesystemen;
- windinvloeden via raamkieren of via het ventilatiesysteem;
- temperatuurverschillen tussen de ruimten.

Men moet er verder op bedacht zijn dat luchttransport behalve via deuren ook kan optreden via minder opvallende luchtverbindingen zoals kieren van een kastenwand of via doorvoeropeningen voor leidingen, die ook boven een verlaagd plafond kunnen zijn aangebracht.

Bij het openen van deuren zal altijd een zekere extra uitwisseling van lucht optreden en wel door de volgende effecten:

- door een eventueel aanwezig temperatuurverschil tussen beide ruimten ontstaat een luchttransport in beide richtingen (ca. 500 m³/h bij 1°C temperatuurverschil);
- bij het openen en sluiten van de deur wordt de lucht in beweging gebracht; bij een openslaande deur is dit effect sterker dan bij een schuifdeur. Bij een openslaande deur gaat dit tevens gepaard met hoge luchtsnelheden langs de vloer waarvan opwarrelend stof het gevolg kan zijn;
- de zuigerwerking van de persoon die door de deuropening gaat; de loopsnelheid is hierbij van sterke invloed.

Wordt deze tijdelijke extra luchtuitwisseling ongewenst geacht dan dient een luchtsluis te worden toegepast. Een tussenliggende ruimte met een andere

Samenvatting

In de operatieafdeling van een vrij nieuw ziekenhuis werd de drukhiërarchie gemeten. Door het ontbreken van overstroomroosters in het OK-blok werd onder bepaalde voorwaarden luchtuitwisseling tussen de OK's via het gemeenschappelijk afvoerkanal en terugstroming vanuit de vuile gang geconstateerd! Met behulp van een ventilatie-rekenmodel werd aangetoond dat de situatie alsnog is te herstellen door de overstroomroosters, die bij de goedkeuring van het plan reeds waren voorgeschreven, alsnog aan te brengen.

Summary

In the surgical department of a rather new Hospital the pressure hierarchy was measured. Overflow grids were missing, although they were demanded. This caused air exchange between the operating theatres (OT's) under certain circumstances. Surprisingly this occurred via the common low pressure exhaust duct system. Besides there was an air exchange between the OT's and the contaminated corridor. Model simulation techniques showed that the situation can be corrected by just mounting the overflow grids as they were demanded before.

* TNO-BOUW, afdeling Binnenmilieu, Bouwfysica en installaties

** Bij de totstandkoming van deze publikatie werd welwillende medewerking verleend door ing. A. Dudok van Heel, College voor Ziekenhuisvoorzieningen.

functie kan eventueel de sluisfunctie vervullen. De sluisfunctie wordt verstoord wanneer beide deuren gelijktijdig worden geopend; toepassing van deurvergrendeling is derhalve noodzakelijk. Binnen de OK-afdeling bevinden zich de operatiekamers met hun bijbehorende ruimten zoals wasruimte, voorbereidingsruimte e.d. We noemen dit in het nu volgende het 'OK-blok'. In dit 'OK-blok' wordt deurvergrendeling nooit toegepast omdat dit in noodgevallen belemmerend kan werken. Men moet ervan uitgaan dat de discipline van het operatieteam groot genoeg is om deze situatie met twee tegelijkertijd geopende deuren, althans tijdens de operatie, niet te laten voorkomen.

Bij de bepaling van een gewenste drukhiërarchie wordt gebruik gemaakt van de volgende uitgangspunten [1, 2]:

- er wordt uitgegaan van een plattegrond waarin alle deuren zijn gesloten;
- er wordt van uitgegaan dat aan elke ruimte, afhankelijk van de functie van deze ruimte, een te hanteren niveau in de drukhiërarchie wordt toegekend. Hieruit kan de gewenste stromingsrichting van de schoonste ruimte met het hoogste niveau naar de minder schone ruimte met het lagere niveau, bij aanwezigheid van een luchtverbinding worden afgeleid. Voor het OK-blok wordt de volgende rangvolgorde aangehouden:

code	naam
S	steriele opdekruimte
OK	operatiekamer
V	voorbereidingsruimte
Gs	schone gang
W	wasruimte
Gv	vuile gang

De steriele opdekruimte heeft een hoger drukniveau dan de OK omdat hier de steriele materialen worden klaargelegd. Aangezien de lucht uit de opdekruimte overstroomt naar de OK's dient dezelfde filter-eis te worden gesteld als voor de OK's.

De wasruimte heeft in de drukhiërarchie een laag drukniveau omdat de wasruimte door de aanwezigheid van sanitaire voorzieningen als een minder schone ruimte dient te worden opgevat;

- handhaving is slechts bij toepassing van zeer dichte gevels en mechanische ventilatie mogelijk;
- het noodzakelijk geachte verschil tussen toe- en afgevoerde luchtdebieten per ruimte, dient ook bij gesloten deuren, te worden gehandhaafd;

- filtervervuiling of toleranties bij het inregelen mogen nooit leiden tot omkering van de gewenste luchtstromingsrichting door deurkieren of-roosters. Dit kan worden bereikt door het verschil tussen toe- en afgevoerde lucht per ruimte niet kleiner te laten zijn dan b.v. 15% van het totaal toegevoerde luchtdebiet. Voor een OK met een luchttoevoer van b.v. 3000 m³/h betekent dit dat minimaal 450 m³/h moet kunnen overstromen;
- de gewenste drukhiërarchie is beter te realiseren wanneer de ruimten, behorend tot de OK-afdeling zijn aangesloten op een afzonderlijke luchtbehandelingsinstallatie (LBI). Binnen de afdeling wordt het OK-blok, mede door de zwaardere filter-eis en de vereiste nachtventilatie, wederom van een afzonderlijke LBI voorzien. Er dient daarbij tevens rekening gehouden te worden met calamiteiten zodat deze installatie geheel of gedeeltelijk dubbel wordt uitgevoerd.

De noodzaak van het toepassen van overstromroosters in het OK-blok

Bij de keuze van de toe te passen deuren in het OK-blok spelen de volgende overwegingen een rol:

- zoals reeds genoemd hebben schuifdeuren de voorkeur boven draaideuren omdat hierbij minder lucht turbulenties worden opgewekt;
- de schuifdeuren moeten vooral aan de onderzijde goed afsluiten om opwaartse stof te vermijden;
- uit hygiënische oogpunt hebben automatische deuren met voetbediening de voorkeur; door het automatisch sluiten van de deur wordt vermeden dat deze te lang open blijft en behoeft men ook geen extra handeling hiervoor te verrichten;
- om bij gesloten deuren toch het voor de handhaving van een gewenste drukhiërarchie vereiste luchtdebiet te kunnen laten overstromen dient de deur te worden uitgevoerd met een overstromrooster. Dit rooster dient zodanig te worden aangebracht dat geen verhoogde luchtsnelheden langs de vloer kunnen optreden. Het is ook niet noodzakelijk de roosters in de deur aan te brengen, dit kan ook naast of boven de deur plaatsvinden of via een boven het plafond aangebracht overstromkanaal. Dit laatste heeft de voorkeur wanneer geluidsoverdracht ongewenst is.

Berekening van de drukhiërarchie met de computer

Zodra één of meerdere deuren worden

geopend, zullen de drukniveaus in allerlei ruimten in de afdeling andere waarden aannemen. Dat behoeft echter niet zonder meer te betekenen dat de drukhiërarchie dan overal wordt verstoord. Het is dikwijls, door de vele van invloed zijnde factoren, niet mogelijk voor allerlei open-deur-combinaties met een betrekkelijk eenvoudige berekening te bepalen of ongewenste stromingsrichtingen zullen optreden.

Dat is wel mogelijk met voor dit doel ontwikkelde ventilatie-rekenprogramma's, waarmee (ook bestaande) luchttechnische ontwerpen op de te handhaven drukhiërarchie kunnen worden getoetst. De invoergegevens voor zulke modellen zijn de afmetingen van deurkieren en eventuele overstromroosters, de per vertrek toe te voeren luchtdebieten en de gewenste drukniveaus. Het model berekent dan de per vertrek af te voeren luchtdebieten om deze drukhiërarchie te realiseren. Het model verschaft eveneens mogelijkheden om diverse andere invloeden op de te handhaven drukhiërarchie te bestuderen, zoals:

- windinvloed via raamkieren;
- filtervervuiling;
- plaatsbepaling van de bovendaks aangebrachte aanzuig- en afvoeropeningen in verband met windinvloed;
- bepaling van de drukhiërarchie in de nachtsituatie bij verlaagde toerentallen of gedeeltelijk uitschakelen van de ventilatoren.

Tevens kan met dit programma de invloed worden bepaald van:

- lay-out van het gehele luchtkanalen-net;
- keuze van de ventilatorkarakteristieken;
- onnauwkeurigheden bij het inregelen van het luchtdistributiesysteem;
- veranderde plattegrond.

In de praktijk blijkt dat het gebruik van een dergelijk rekenmodel noodzakelijk is om te komen tot de juiste drukhiërarchie in de operatie-afdeling.

Inregelen

Uit onderzoek [3,4] is gebleken dat bij het inregelen van het luchtsysteem, met de volgende effecten rekening moet worden gehouden:

- het inregelen dient te gebeuren wanneer alle deuren gesloten zijn;
- doordat het inregelen plaatsvindt in de situatie dat alle filters nog nieuw zijn dienen de drukniveaus op een ca 20% hogere waarde te worden ingeregeld om te bereiken dat de gewenste drukhiërarchie ook bij maximaal vervuilde filters nog kan worden gehand-

haafd, tenzij automatische regeling van de gewenste luchtdebieten plaatsvindt.

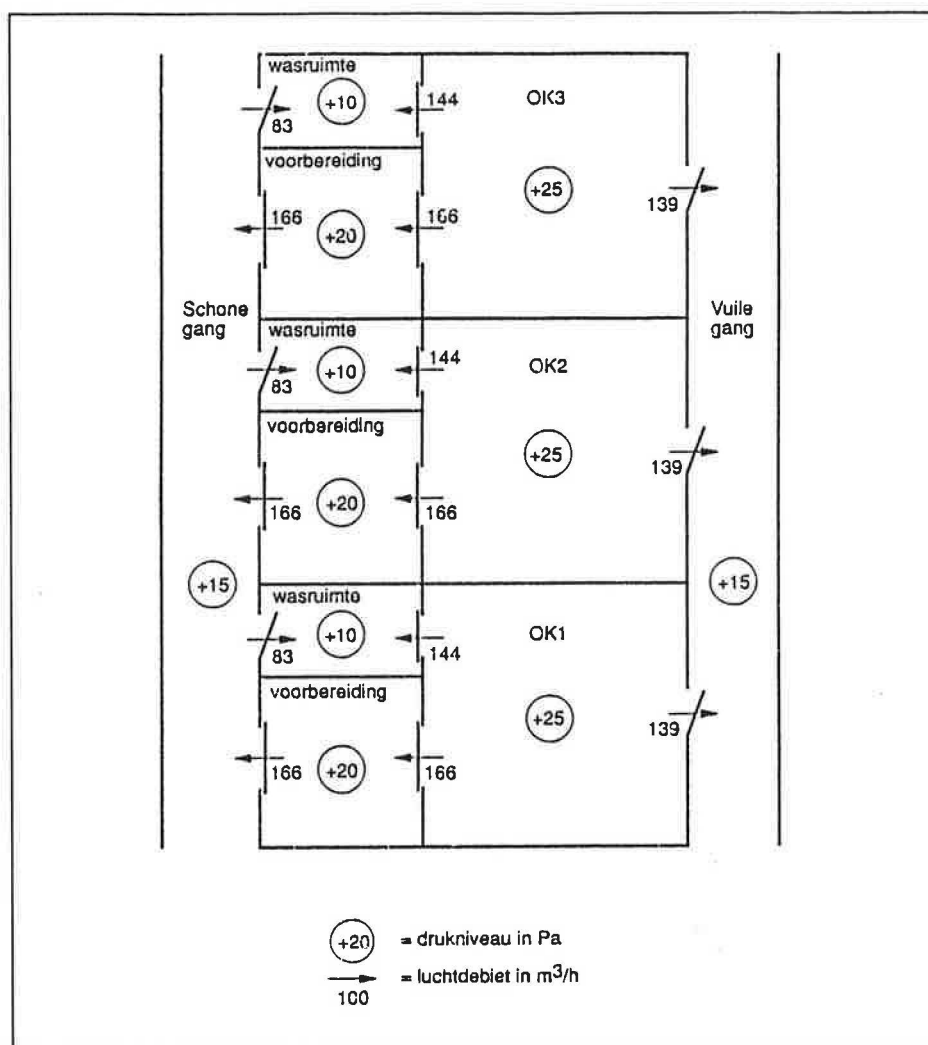
Bij het inregelen is het gebruikelijk de toe- en afgevoerde luchtdebieten in te stellen, b.v. met een pitot-buis in het kanaal. Betere resultaten worden verkregen door alleen de toevoer te meten en de afvoer zodanig in te stellen dat de vereiste over- of onderdruk in de ruimte wordt gerealiseerd. Om het inregelen te vergemakkelijken en de onderlinge beïnvloeding van verschillende ruimten te verkleinen dient bij voorkeur te worden uitgegaan van een hoofd toe- en -afvoerkanaal met lage weerstand (overgedimensioneerd) en afzonderlijke aftakkingen met inregelkleppen per afzonderlijke ruimte in de OK-afdeling.

Of een gewenste drukhiërarchie ook in werkelijkheid is gerealiseerd kan door meting van de drukniveaus in de diverse ruimten bij gesloten deuren worden bepaald. Hierbij wordt gebruik gemaakt van drukverschilmeters voor lage drukken.

Gemeten drukhiërarchie in het OK-blok van een willekeurig ziekenhuis

In figuur 1 is een voorbeeld van een plattegrond van een OK-blok aangegeven zoals deze werd aangetroffen in een ziekenhuis waar o.a. een onderzoek naar de heersende drukhiërarchie werd uitgevoerd. Dit naar aanleiding van tocht- en klimateklachten na de oplevering.

De opzet van de plattegrond is gebaseerd op het dubbel-corridor-systeem omdat het OK-blok is gesitueerd tussen een vuile en een schone gang. Tevens is de drukhiërarchie aangegeven zoals deze volgens het oorspronkelijk plan voor de OK-afdeling als uitkomst van een door TNO uitgevoerde berekening met een ventilatiemodel door het College voor Ziekenhuisvoorzieningen (CvZ) in haar advies aan WVC werd verwerkt. De hoogste drukniveaus vindt men in de OK's. De voorbereidingsruimten en de wasruimten vervullen een sluisfunctie tussen de OK's en de schone gang. Aan de andere zijde van de schone gang liggen de overige ruimten van de OK-afdeling waarbij de drukniveaus lager zijn gekozen naarmate men de ziekenhuisgang nadert. De toegang tot de OK-afdeling vindt plaats via sluisen. De deur naar de vuile gang dient tijdens de operaties gesloten te blijven. In het destijds door het CvZ uitgebrachte en door WVC in de vergunning opgenomen advies over dit plan waren specificaties vermeld voor de keuze van de juiste overstromroosters in de diverse



Figuur 1 Plattegrond en drukhiërarchie volgens ontwerp

deuren van het OK-blok. Deze roosters zijn evenwel niet aangebracht. In het nu volgende zal worden aangetoond dat dit verstrekende gevolgen heeft voor de handhaving van een gewenste drukhiërarchie.

Dagsituatie met gesloten deuren

In de dagsituatie werd de drukhiërarchie in de OK-afdeling bepaald met behulp van een inductieve drukverschilmeter waarmee drukverschillen over deuren met een nauwkeurigheid van +/- 0,1 Pa kunnen worden bepaald. De meting vond plaats na werktijd waarbij alle deuren van de afdeling gesloten bleven. De gemeten drukhiërarchie in het OK-blok is in figuur 2a weergegeven. In deze figuur is tevens de leidingloop van het luchtafvoersysteem schematisch weergegeven.

Er blijkt het volgende:

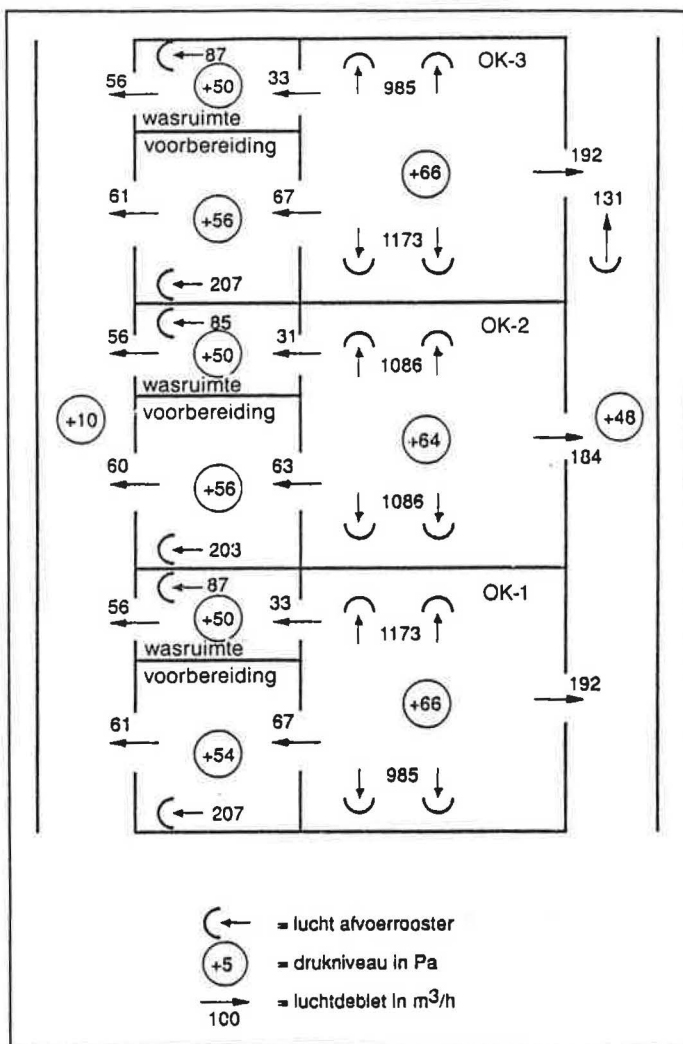
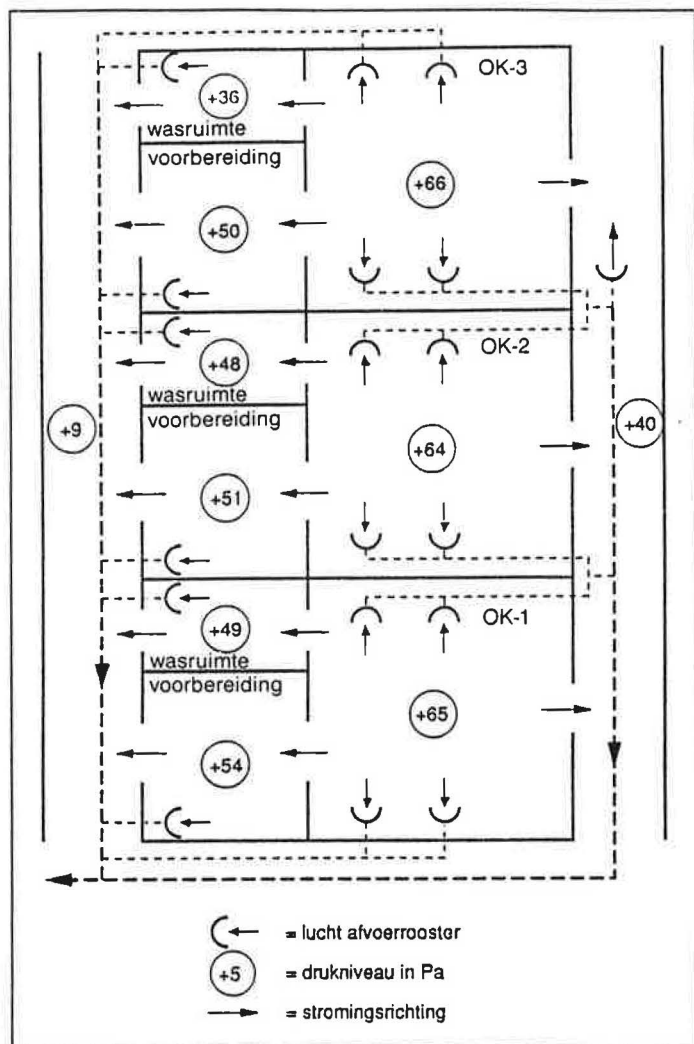
- Door het ontbreken van de in het ontwerp opgenomen overstromroosters is de gewenste drukhiërarchie niet te realiseren. De in figuur 1 aangegeven luchttransporten van de OK's naar de aangrenzende ruimten bij gesloten

deuren kunnen niet plaatsvinden, waardoor een aanzienlijke drukverhoging in het OK-blok het gevolg is;

- er treedt een ongewenste stromingsrichting op van de wasruimte naar de schone gang;
- in de vuile gang gaat een afvoer-rooster als toevoer werken!

Dagsituatie met geopende deuren in een wasruimte

Tijdens het onderzoek is gebleken dat de deuren tussen de wasruimten en de schone gang vaak open blijven staan. Hierdoor ontstaat de situatie dat soms beide deuren van de wasruimte gelijktijdig zijn geopend. Omdat dit mogelijk tot verstoring van de drukhiërarchie in het OK-blok kan leiden werd deze situatie nader onderzocht. Meting van de drukhiërarchie vond plaats bij geopende deur van de wasruimte van OK 2. De meetresultaten zijn in figuur 3a weergegeven. De drukniveaus zijn gemeten t.o.v. de schone gang waar het drukniveau ca 10 Pa blijft bedragen.



Figuur 2 Drukhiërarchie in het OK-blok bij gesloten deuren zonder overstromroosters
a Gemeten **b Modelsimulatie**

Wanneer de beide deuren van een wasruimte worden geopend blijkt het volgende:

- er treedt een aanzienlijke drukdaling op in OK 2 en in mindere mate ook in de OK's 1 en 3;
- er treedt een luchttransport op vanuit de vuile gang naar OK 2. Doordat deze deur aan de onderzijde niet goed afsluit gaat dit gepaard met een hoge luchtsnelheid langs de vloer in de richting van de operatietafel. Dit is een zeer ongewenste situatie omdat stof dat zich mogelijk op de vloer bevindt hierdoor wordt opgedwarfeld en in de richting van de operatietafel wordt geblazen;
- er treedt terugstroming op door de hoog en laag aangebrachte afvoerroosters in OK 2. Dit wil zeggen dat via het gemeenschappelijk afvoerkanaal een zeer ongewenst luchttransport plaatsvindt vanuit de beide andere OK's naar OK 2! Het gevaar voor kruisinfectie wordt hierdoor aanzienlijk vergroot;

- het drukniveau in de voorbereidingsruimte is hoger dan in de OK zodat via eventuele luchtkieren (boven het plafond) terugstroming naar OK 2 kan plaatsvinden.

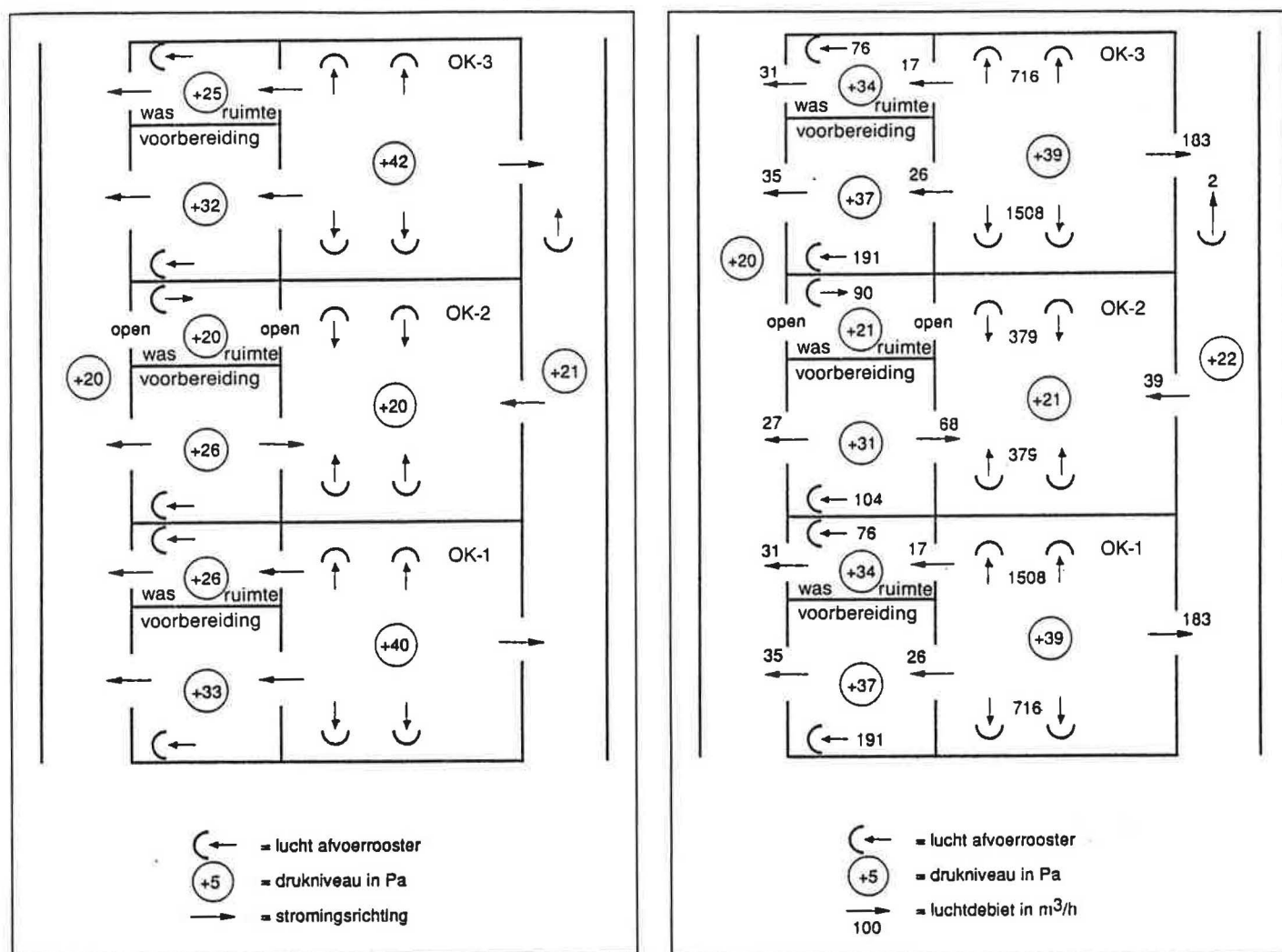
Simulatie van de meetuitkomsten m.b.v. een ventilatie-model

Om meer inzicht in het gemeten verschijnsel te verkrijgen werd de situatie in het OK-blok m.b.v. het ventilatie-rekenmodel nagebootst. In de figuren 2 en 3 worden de berekeningsresultaten vergeleken met de meetresultaten, respectievelijk voor de situatie met gesloten deuren en met geopende deuren in de wasruimte van OK 2. Om een goede modelsimulatie te realiseren bleek het noodzakelijk de rooster- en kanaalweerstand van het gemeenschappelijk afvoersysteem in het model op te nemen. In de figuren 2b en 3b is dit aangegeven; de berekende afvoerstromen zijn bij de afvoerroosters vermeld. Het bleek niet noodzakelijk ook het luchttoevoersysteem in de

modelsimulatie op te nemen; er kon worden volstaan met een constante luchttoevoer per ruimte.

Er blijkt een goede overeenstemming tussen de gemeten situatie en de modelsimulatie te bestaan waarmee is aangetoond dat de modelsimulatie betrouwbaar is. Vervolgens werden in het model de noodzakelijk geachte overstromroosters in de deuren aangebracht, waarvan de berekeningsresultaten voor de situaties met gesloten en geopende deuren in de figuren 4 en 5 zijn weergegeven. Het blijkt dat hiermee een stabiel systeem wordt verkregen waarbij het openen van deuren niet meer leidt tot een ongewenste drukhiërarchie.

Hoewel niet onderzocht, mag worden verwacht dat het aanbrengen van overstromroosters in het OK-blok mede zal leiden tot verbetering van de gewenste drukhiërarchie in de rest van de afdeling. Zo werd tijdens het onderzoek reeds vastgesteld dat er bij gesloten



Figuur 3 Drukhiërarchie in het OK-blok bij geopende deuren in de wasruimte van OK-2 zonder overstromroosters
a Gemeten **b Modelsimulatie**

deuren in het OK-blok een ongewenst luchttransport optrad vanuit de kleedruimtes naar de schone gang en dat dit van richting omkeert op het moment dat beide deuren van één der wasruimten worden geopend.

Nachtsituatie

Het is niet noodzakelijk in de nachtsituatie aan dezelfde ventilatie-eisen te voldoen als in de dagsituatie. Toch kan het gewenst zijn ook in de nachtsituatie een zekere drukhiërarchie te handhaven. Het is daarom gebruikelijk de ventilatoren t.b.v. het OK-blok 's-nachts met verlaagd toerental in gebruik te houden, waarbij gesteld wordt dat de drukhiërarchie t.o.v. de aangrenzende schone en/of vuile gang, althans in het OK-blok, in de nachtsituatie gelijk is aan die in de dagsituatie. De LBI t.b.v. de overige ruimten in de OK-afdeling kan in de nachtsituatie buiten bedrijf worden gesteld terwijl de afvoer van toiletten, spoelruimtes en werkkasten 24 uur per dag in bedrijf blijft.

In figuur 6 is de drukhiërarchie in het OK-blok weergegeven zoals deze in de nachtsituatie werd bepaald. Het blijkt dat alle installaties, met uitzondering van de afvoer van toiletruimten, worden uitgeschakeld en dat hierdoor een onderdruk-situatie ontstaat in de gehele afdeling met de laagste drukniveaus in het OK-blok. Als gevolg hiervan treedt een luchttransport op vanuit de ziekenhuisgang via sluizen, schone en vuile gang naar de OK's. Deze lucht zoekt zich ook een weg via het toevoerplenum en de filters naar de LBI. De filters vangen hierbij het eventueel aanwezige stof aan de schone zijde af; wanneer in de dagsituatie de luchttoevoer weer wordt hersteld zal dit stof weer loslaten en in de OK's worden verspreid. Een zeer onveilige situatie!

Conclusies en aanbevelingen

Met betrekking tot dit ziekenhuis kan het volgende worden geconcludeerd:

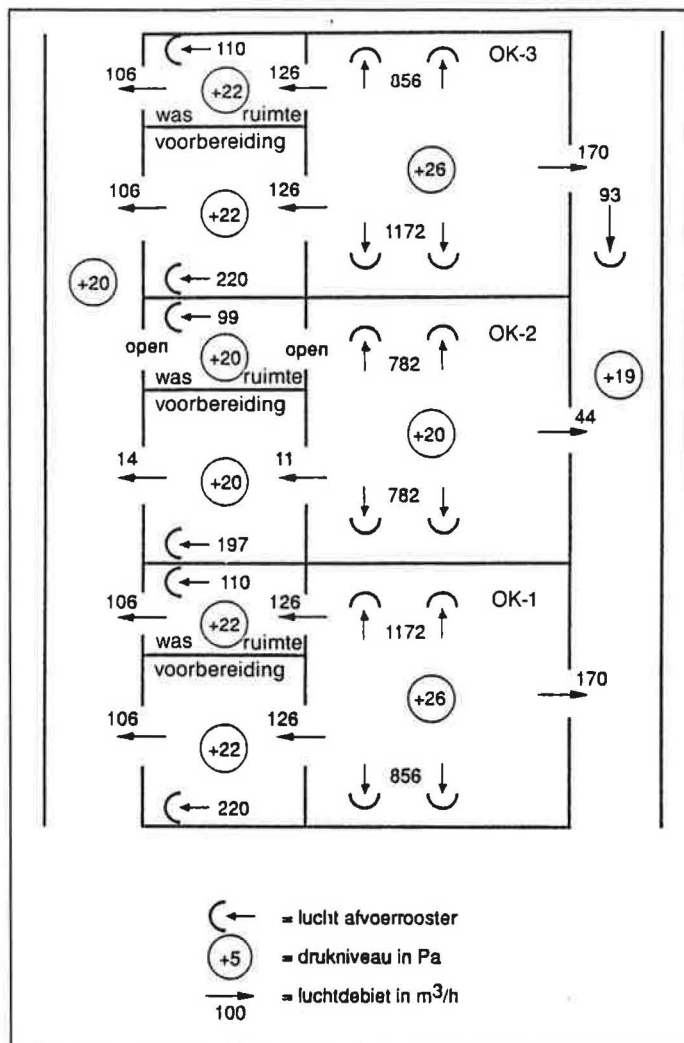
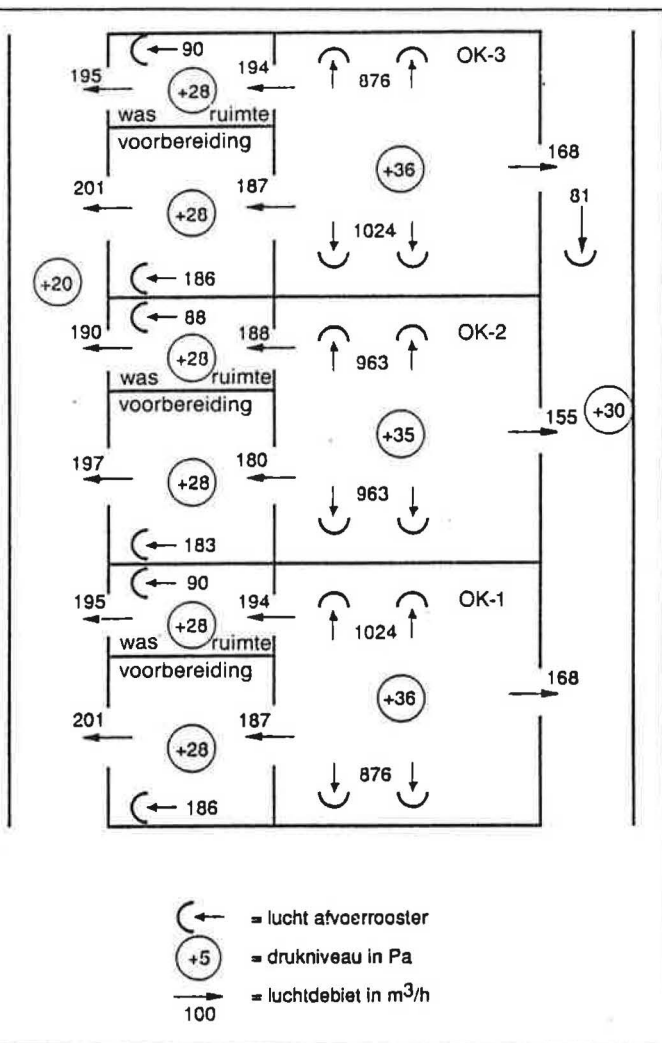
- Uit het onderzoek naar de drukhiërarchie is gebleken dat zeer ongewenste luchttransporten (terugstroming van

lucht, afkomstig uit andere OK's naar de betreffende OK) kunnen ontstaan wanneer beide deuren van een wasruimte gelijktijdig worden geopend, een vrij vaak voorkomende situatie in dit ziekenhuis. Het hiermee gepaard gaande risico voor kruisinfectie kan worden voorkomen door het alsnog aanbrengen van de overstromroosters in de deuren van het OK-blok. Modelonderzoek heeft uitgewezen dat er dan geen terugstroming meer mogelijk is.

- In het nachtbedrijf moet de gewenste drukhiërarchie in het OK-blok worden gehandhaafd. Dit kan gebeuren door alleen de toevoerventilatoren naar de OK's met een verlaagd toerental in bedrijf te houden. Eventueel kan de luchttoevoer ook worden verminderd door het gedeeltelijk sluiten van een luchtklep in de LBI.

Algemene conclusies

- Met dit en andere onderzoeken is aangetoond dat vaak wordt afgeweken van de opmerkingen en adviezen,

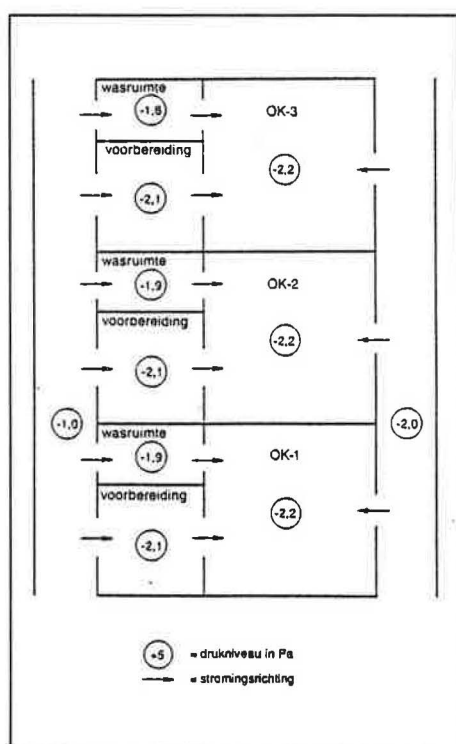


Figuur 4 Modelsimulatie van het OK-blok met overstroomroosters bij gesloten deuren

Figuur 5 Modelsimulatie van het OK-blok met overstroomroosters bij geopende deuren in de wasruimte van OK-2

onder voorwaarde waarvan de vergunning door WVC werd verstrekt. Dit leidt tot kwalitatief minder goed luchttechnische installaties waardoor het gevaar voor kruisinfectie onnodig toeneemt. Herstel achteraf is slechts in beperkte mate mogelijk. Een en ander is het gevolg van het feit dat er door de overheid wel een goedkeuringsprocedure voor het bestekplan wordt gehanteerd maar dat er geen kwaliteitscontrole tijdens en na de bouw is voorgeschreven.

Naar aanleiding van de meetresultaten in diverse ziekenhuizen in Nederland moet worden vastgesteld dat de gewenste drukhiërarchie in veel gevallen niet wordt gerealiseerd. Een vaak geconstateerde oorzaak is dat de overstroomroosters in de praktijk vaak verkeerd worden gekozen of zelfs geheel worden weggelaten. Een oplossing voor dit probleem zou kunnen zijn dat de fabrikanten van automatische deuren deze roosters, in overleg met TNO, selecteren en in de deurconstructie opnemen.



Figuur 6 Gemeten drukhiërarchie in de nachtsituatie

Literatuur

- [1] Bouwkundig-functionele beoordelingsmaatstaven ten behoeve van nieuwbouwplannen voor een operatie-afdeling; College voor Ziekenhuisvoorzieningen, Postbus 3056, 3502 GB Utrecht.
- [2] Dudok van Heel, A. en T.R.H. Hilke-meijer; Uit de lucht gegrepen, Ziekenhuishygiëne en infectiepreventie (ZIP) 89-1, p. 16-23.
- [3] Ham, Ph.J.; Luchtbeheersing in de nieuwe OK-afdeling van 'de Klokenberg' te Breda, Techniek in de Gezondheidszorg nr.7-8, augustus 1989.
- [4] Ham, Ph.J.; De luchtbeheersing in de nieuwe operatieafdeling van het Medisch Centrum 'de Klokenberg' te Breda, Klimaatbeheersing 19, nr. 3, maart 1990.
- [5] Ham, Ph.J., Luchtbeheersing in en om de operatiekamer, Klimaatbeheersing 20 (1991) nr.2 (februari), publ. 90/053, TNO-BOUW, Delft