

De beheersing van luchtbeweging en klimaat¹⁾ in ziekenhuizen

P. A. BOSSERS

Instituut voor Gezondheidstechniek TNO

Control of air movement and indoor climate in hospitals

Samenvatting

De noodzaak om de richting en de hoeveelheid van de lucht die zich door een ziekenhuis beweegt te weten naast de luchtbeweging in de diverse ruimten, berust hoofdzakelijk op bacteriologische eisen. De beheersing van het luchttransport is onmogelijk te realiseren zonder mechanisch ventilatiesysteem. De invloed van de wind op het gedrag van een dergelijk systeem kan berekend worden met een elektrisch analogon. Met betrekking tot de luchtbeweging in ruimten wordt een voorbeeld gegeven van een operatiekamer waar de verwachte luchtstroming werd verstoord door convectieve stromen veroorzaakt door het operatieteam. Of al of niet een behaaglijk binnenklimaat in de verschillende afdelingen van een ziekenhuis kan worden gehandhaafd met natuurlijke ventilatie of dat een luchtbehandelingsinstallatie moet worden toegepast kan worden berekend met een analoge methode. Factoren die van invloed zijn op de keus uit andere dan warmtetechnische oogpunten worden genoemd.

Summary

The necessity to know the direction and the amount of air transported through a hospital, as well as air-flow patterns in the rooms is mainly defined by bacteriological demands. Control of the air transport is impossible without a mechanical ventilation system. The influence of the wind on the behaviour of such a system can be calculated by using an electrical analogue.

Concerning air-flow patterns in rooms an example is given of an operating-theatre where the expected air flow was disturbed by convective streams caused by the operating-team.

Whether or not a comfortable indoor climate in several departments of a hospital can be maintained by using natural ventilation, or that air conditioning has to be installed, can be calculated making use of an analogous method. Factors influencing the choice from points of view other than the heat load are mentioned.

Dit artikel wil de aandacht vestigen op een mogelijk verband tussen het binnenklimaat in ziekenhuizen en de genezing van de daar verpleegde patiënten. De inzichten, dat door klimaatbeheersing het genezingsproces gunstig kan worden beïnvloed en dat door een juiste luchtverdeling kruisinfectie kan worden vermeden, winnen steeds meer veld. Het installeren van luchtbehandeling wordt daarmee in feite een medische eis en zal veel minder dan tot nu toe het geval is tot een sluitpost op de begroting van de ziekenhuisbouw worden.

Een ziekenhuis is ruwweg te verdelen in: het beddenhuis, de behandelruimten, speciale ruimten zoals operatiekamers en de afdeling voor „intensive care”, en de dienstruimten. Als we deze

onderdelen stuk voor stuk onder de loep nemen en met het beddenhuis beginnen, blijkt dat slechts weinig ziekenhuizen uit het oogpunt van het binnenklimaat bezien verder komen dan het inrichten voor winteromstandigheden, d.w.z. er is door middel van radiatoren gezorgd dat het 's winters in de kamers niet te koud kan worden. Maar kan het 's zomers niet te warm worden? Ook in de ziekenhuisbouw maakt het glas een groot deel van de gevel uit. De oriëntatie van de gebouwen wordt meestal zo gekozen dat een redelijke bezonning kan worden verwacht. Door dit samenspel van veel glas en bezonning kan de instraling van de zon tot hoge temperaturen in de kamers aanleiding geven. Dat gebeurt niet alleen in de zomermaanden maar ook al in voor- en najaar, waarbij de buitentemperaturen betrekkelijk laag zijn maar waarbij door de lage zonnestand de zonbelasting hoge waarden kan bereiken. (Fig 1).

¹⁾ Publikatie nr. 322 van het Instituut voor Gezondheidstechniek TNO.

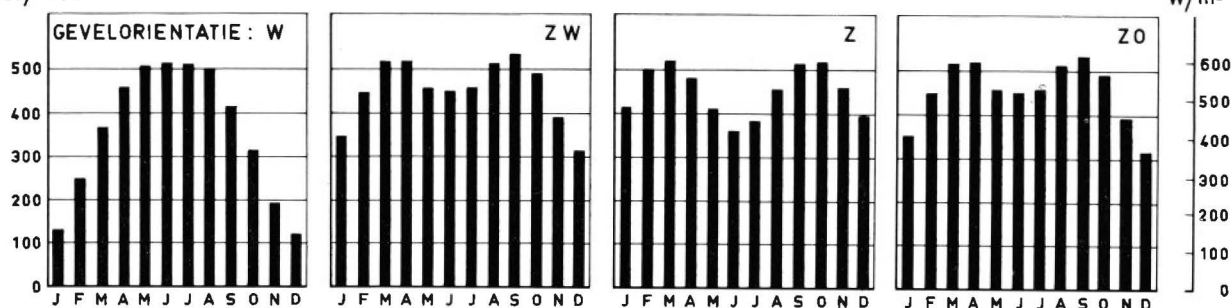


Fig. 1. Maximum 3-uurs gemiddelden van de directe zonbestraling voor verschillende gevels op de 15e van elke maand voor 52° N.B.

Door de lage zonnestand hebben luifels of andere bouwkundige voorzieningen ter beschaduwing van de gevel weinig effect. Van de buitenzonweringen werken onder die omstandigheden alleen de jalouzie-typen effectief; markiezen bijvoorbeeld hebben in dit geval bijna dezelfde tekortkomingen als luifels e.d.

In de maanden met lage zonnestand en desondanks hoge zonbelastingen kunnen de binnentemperaturen nog redelijk in de hand worden gehouden door ventilatie met de nog koude buitenlucht. De ventilatie vindt dan meestal op natuurlijke wijze plaats, d.w.z. door windinvloed via de geopende ramen. Nog afgezien van de tochtklachten die dit systeem van ventileren met zich brengt en het verschil in effect dat het heeft tussen een patiënt die bij het raam ligt en één die verderop in de kamer ligt, zijn er nog meer bezwaren aan te voeren, die objectief tot verwerping van dit systeem leiden. De belangrijkste hiervan zijn de mogelijke geluidhinder bij geopende ramen als een ziekenhuis in een stad ligt, en bezwaren van medische aard met betrekking tot de verspreiding van bacteriën.

Is het in het bovenomschreven geval nog mogelijk de luchttemperaturen binnen in de hand te houden door natuurlijke ventilatie met buitenlucht, in de zomer als de buitentemperaturen hoog zijn gaat het niet meer. De dan in de kamers optredende temperaturen kunnen een extra belasting vormen voor de patiënt. Vooral de patiënten met hart- en longaandoeningen schijnen hiervan de meeste last te hebben. Zeker in deze afdelingen zou dus een klimaatregeling op zijn plaats zijn.

Om niet direct over te slaan naar het uiterste en overal een luchtconditioneringsinstallatie te plaatsen, die onder de meest extreme omstandigheden het klimaat volledig kan beheersen, heeft het zin om na te gaan wanneer klimatisering noodzakelijk is en gedurende welke tijd. De binnentemperatuur is het resultaat van een zeer ingewikkeld samenspel van de niet-stationaire warmtebelasting en de

eigenschappen van het gebouw. Onder de laatste verstaan we de situering ten opzichte van de zon, het al of niet aanwezig zijn van beschaduwing door zonwering of andere gebouwen, de warmte-weerstand en het warmte-accumulerend vermogen van de constructie.

De resultaten van dit samenspel kunnen zonder bijzondere hulpmiddelen praktisch niet worden bepaald. Van de hulpmiddelen kunnen we noemen de computer en de analoge methoden. In het Instituut voor Gezondheidstechniek TNO is gekozen voor de analoge methode waarbij gebruik gemaakt wordt van de analogie tussen warmte en elektriciteit. Zo wordt de warmtestroom voorgesteld door een elektrische stroom, de temperatuur door een spanning en een constructiedeel door een aantal weerstanden en condensatoren. Met dit *warmte-analogon* kan reeds in het ontwerp-stadium berekend worden of natuurlijke ventilatie voldoende is om de binnentemperaturen in de hand te houden in verschillende jaargetijden, d.w.z. bij verschillende verlopen van zonbelasting en buitentemperatuur, tezamen met interne belastingen als verlichting en warmte-ontwikkeling door apparatuur en personen. Is dit niet het geval en is het aantal dagen dat een vooraf vastgestelde grenswaarde overschreden wordt te groot, dan kan worden nagegaan of de oplossing door middel van bouwkundige voorzieningen kan worden gevonden, dan wel dat tot koeling moet worden besloten. In beide gevallen zal de beslissing op grond van de verhouding tussen investering en exploitatiekosten in een gemiddeld jaar moeten worden genomen. Uiteraard zijn ook oplossingen mogelijk waarbij een zekere overschrijding in extreme gevallen wordt geaccepteerd om te kunnen volstaan met een kleinere en dus minder kostbare installatie. Zonder onderzoek kan al gesteld worden, dat daar waar door de een of andere oorzaak geen ramen geopend kunnen worden (verkeerslawaaai bijvoorbeeld), altijd koeling zal moeten worden geïnstalleerd.

Een ander aspect van de ventilatie, in het bijzon-

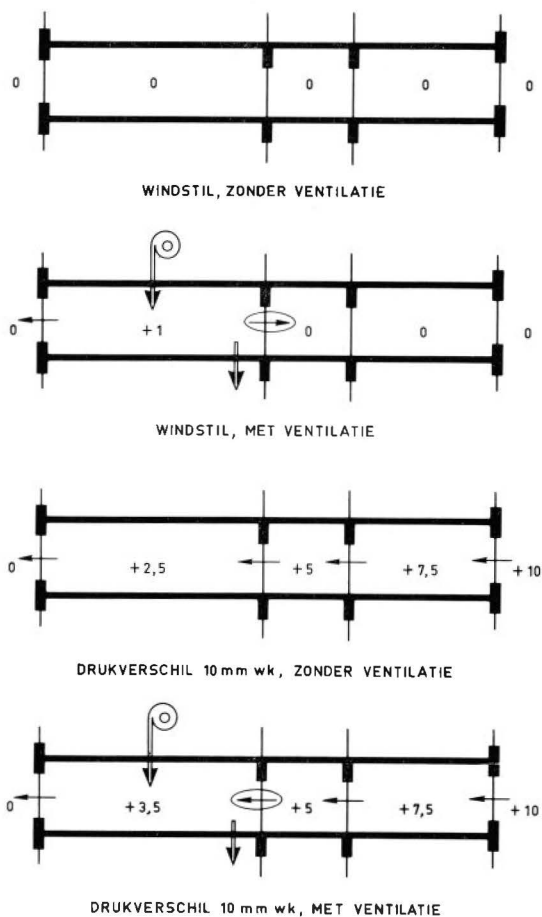


Fig. 2. Geschematiseerde invloed van de wind op het drukverloop en de richting van de luchtstroming in een gebouw zonder en met mechanische ventilatie.

der met betrekking tot ziekenhuizen, is het transport van lucht door het gebouw.

Omdat bacteriën met de luchtstroom worden meegevoerd is het van groot belang te weten hoe de lucht zich in het gebouw verplaatst zowel bij natuurlijke als bij mechanische ventilatie.

Bij natuurlijke ventilatie hangen de hoeveelheid en de richting van de luchtstroom hoofdzakelijk af van de windrichting en -snelheid. Een tweede factor is het verschil in temperatuur binnen en buiten dat, vooral bij hoge gebouwen, een schoorsteeneffect kan veroorzaken.

Het behoeft geen betoog dat bij natuurlijke ventilatie nauwelijks sprake kan zijn van een instelling van de richting van de luchtstroom. Met afzuigen in bepaalde ruimten kan (plaatselijk) voorkomen worden dat lucht uit deze ruimten zich verspreidt; dit is dan eigenlijk alweer een vorm van mechanische ventilatie.

Ook een mechanisch ventilatiesysteem ondervindt invloed van de wind via de aan- en afvoeropeningen, deuren en raamkieren. De veelgebruikte vuistregel dat bijvoorbeeld slechts 80 à 90% van de toegevoerde lucht bij een mechanisch ventilatiesysteem wordt afgezogen om een overdruk te creëren geeft geen zekerheid over de stromingsrichting van de lucht. Het drukniveau in een der-

gelijke ruimte hangt immers volledig af van de lekken van de ruimte. Om een voorbeeld te noemen: stel dat een kamer ligt aan de lijzijde van een gebouw en dat geen lucht vanuit de gang de kamer mag instromen (situatie fig. 2). Aan de andere zijde van het gebouw liggen ook kamers met ramen aan de loefzijde en deuren naar de gang. Als nu in de bewuste kamer bij windstil weer een stroming optreedt in de richting van de gang ten gevolge van een heersende overdruk van bijvoorbeeld 1 mm wk in de kamer, hoe zal dit veranderen wanneer de druk op de gevel aan de loefzijde 10 mm wk hoger is dan die op de gevel waaraan de kamer ligt? Het hangt dan helemaal van de raam- en deurkwaliteit af (hoe goed sluiten ze) en het al of niet openstaan van ramen aan de loefzijde of de gewenste stromingsrichting gehandhaafd blijft. Een overdruk van 10 mm wk op een gevel is geen extreem hoge waarde als we bedenken dat die al op kan treden bij windkracht 7.

Vooral als de eisen betreffende de stromingsrichting hoger worden en de vorm van het gebouw ingewikkelder wordt, is het ondoenlijk om zonder bijzondere hulpmiddelen een goed inzicht te verkrijgen in de drukverhoudingen en stromingsrichtingen. In de Afdeling Binnenklimaat is voor de oplossing van deze problemen evenals voor de warmteproblemen een analogon ontwikkeld, dat de grootheden als druk, luchtstroom en luchtweerstand elektrisch weergeeft, respectievelijk als een spanningsverschil, een elektrische stroom en een weerstand. Hierbij doet zich evenwel de moeilijkheid voor dat bij luchtstroming de snelheid evenredig is met de vierkantswortel uit de druk terwijl de elektrische stroom evenredig is met de spanning over een ohmse weerstand. Dit is opgelost door gebruik te maken van gasgevulde gloeilampen als weerstanden in het analoge netwerk. Deze lampen hebben namelijk eveneens een kwadratische spanning-stroomkarakteristiek. Bij stroming van lucht door kleine openingen zoals deur- en raamkieren is er niet langer sprake van een kwadratisch verband, hetgeen in het analoge model werd opgelost door het gebruik van vacuüm gloeilampen.

De spanningen die in het elektrisch analogon moeten worden ingesteld komen overeen met de drukken die op de gevels en het dak van het gebouw zullen optreden. Deze worden in een windtunnel aan een model van het gebouw bepaald. Aan dit model kan tevens worden vastgesteld wat de gunstigste plaats is voor de aan- en afvoeropeningen van het ventilatiesysteem. Door middel van rookproeven kan ook worden nagegaan of geen kortsluiting ontstaat tussen deze openingen, d.w.z. of geen verontreinigde lucht opnieuw kan worden aangezogen.

Voor de behandel- en onderzoekruimten gelden dezelfde regels als voor het beddenhuis, alleen

LUCHTTOEVOER

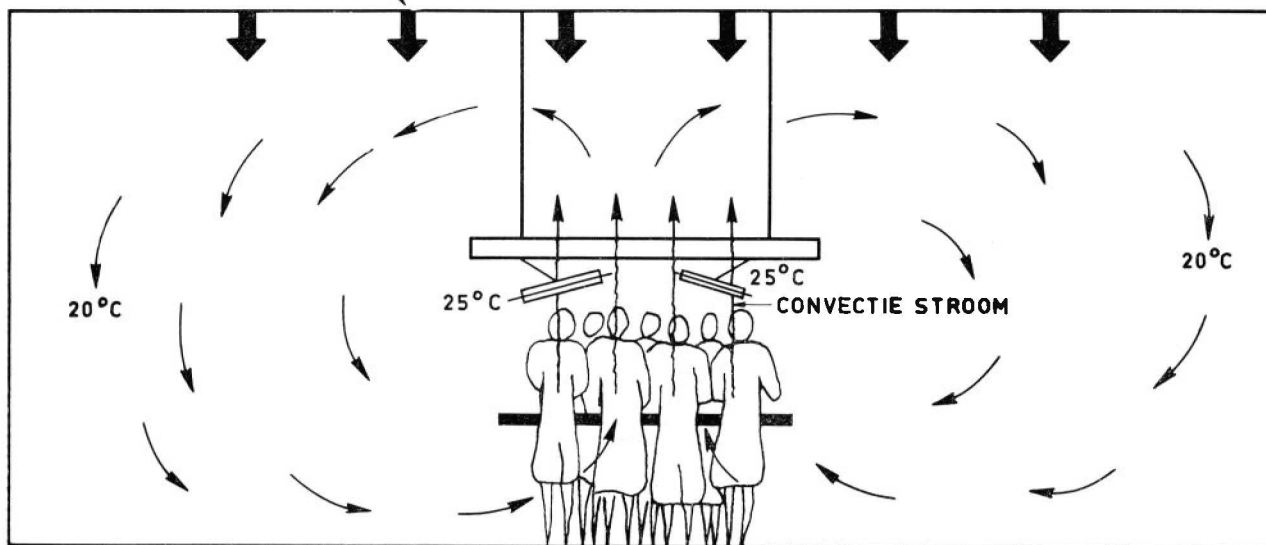


Fig. 3a. Operatiekamer, oude toestand.

zullen, omdat de patiënten dan vaak niet in bed liggen en geen bescherming hebben van dekens, de eisen die aan het binnenklimaat worden gesteld ten aanzien van de behaaglijkheid hoger zijn. Daardoor zal ventilatie door geopende ramen meestal niet aanvaardbaar zijn (soms ook al niet vanwege de onderzoeksmethode, bijvoorbeeld röntgenonderzoek). In vele gevallen zal het door de warmte-afgifte van apparatuur, verlichting en de aanwezige personen ook nodig zijn koeling toe te passen.

Voor de speciale ruimten zoals operatiekamers en intensive care is alleen al uit bacteriologisch oogpunt mechanische ventilatie vereist omdat de

lucht alleen via absoluut-filters, die een hoge weerstand hebben, mag worden toegevoerd. Hetgeen over de eisen wat betreft de stromingsrichting is vermeld, geldt wel in het bijzonder voor deze ruimten. Uit een onderzoek, dat uitgevoerd werd voor een afdeling intensive care, is dit nog eens goed duidelijk geworden. Bij het analogon-onderzoek bleek namelijk dat de oorspronkelijke opzet, ondanks de zorg die eraan was besteed, niet kon voldoen aan de gestelde eisen.

Naast de eisen met betrekking tot de verbinding van de speciale ruimten met de rest van het gebouw, is het patroon van de luchtbeweging in de ruimte zelf van groot belang. Bij de normale wijzen van luchttoevoer via roosters, geperforeer-

GEPERFOREERDE PLAAT

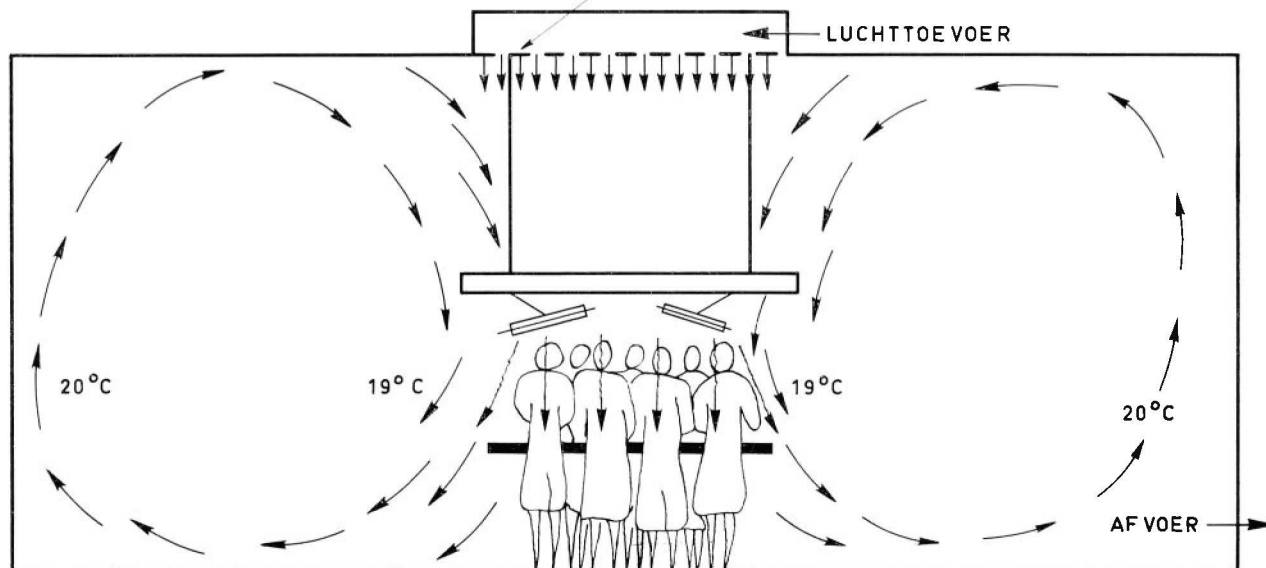


Fig. 3b. Idem, met verbeterd luchttoevoersysteem.

de plafonds, anemostaten e.d. vindt een min of meer intensieve menging van de toegevoerde lucht plaats met de in de kamer aanwezige lucht.

In bepaalde gevallen kan dit hoogst ongewenst zijn omdat de lucht in de kamer reeds bacteriën kan bevatten, die de patiënt zouden kunnen besmetten. In zulke gevallen kan een bijzondere vorm van luchttoevoer, waarbij geen menging met kamerlucht optreedt, worden toegepast. Men kan de kamer opvatten als een grote verwijding in het toevoerkanaal, waarbij de absoluut-filters zorgen voor een goede verdeling van de lucht over de oppervlakte.

Dit systeem staat bekend onder de naam „laminar flow system”, waarbij aangetekend moge worden dat onze voorkeur uitgaat naar een vertaling met „stroming met geringe turbulentie”.

Om beïnvloeding van de stroming door convectie van de aanwezige personen te voorkomen moet met een vrij hoge luchtsnelheid worden gewerkt, namelijk minimaal ca. 45 cm/sec. Het behoeft geen betoog dat bij deze snelheid ook de temperatuur moet worden aangepast om tochtklachten te voorkomen.

Het systeem biedt ongetwijfeld grote voordelen, maar het is vrij kostbaar door de grote hoeveelheid lucht die behandeld moet worden en het grote oppervlak met dure absoluut-filters.

Voor operatiekamers kunnen met succes ook eenvoudiger en minder kostbare systemen van luchttoevoer worden gekozen. De convectiestromen spelen bij het luchtbewegingspatroon in operatiekamers een grotere rol dan in een van de andere genoemde ruimten. Nergens immers staan zoveel personen zo dicht bij elkaar als rond de operatietafel. Deze concentratie van „warmtebronnen” kan een sterke convectiestroom veroorzaken en een stroming in de kamer teweegbrengen zoals die

juist niet gewenst is. In fig. 3a is geschetst welke luchtstroming in een bepaald geval werd aangehouden.

De luchttoevoer vond plaats door strippen met gaatjes, verdeeld over het plafond. De luchtstroom strijkt over de grond en stijgt juist bij de operatietafel op. Bacteriologisch gezien een niet aan te bevelen toestand. Ook voor het operatieteam heeft dit bezwaren. De geconditioneerde lucht neemt in de kamer al warmte op voor hij bij de tafel aankomt en stijgt dan langzaam op door de warmteontwikkeling van de personen. Door de lage luchtsnelheid was de door de personen afgestane hoeveelheid warmte voldoende om de lucht op hoofdhoogte bij het operatieteam een temperatuur te geven die 5°C hoger lag dan de temperatuur elders in de kamer. De klachten over het klimaat waren dan ook zeker gerechtvaardigd. Door het concentreren van de beschikbare hoeveelheid lucht boven de operatietafel kon de stromingstoestand gewijzigd worden tot die van fig. 3b, waarbij twee vliegen in één klap werden geslagen, namelijk een beter klimaat voor het operatieteam, dat nu de gekoelde lucht uit de eerste hand krijgt, en een plaatselijk benedenwaarts gerichte stroming van de stofvrije lucht, wat de kans op besmetting van de patiënt aanmerkelijk reduceert. Omdat wij hier te maken hadden met een bestaande installatie, waaraan niet meer ingrijpend gewijzigd kon worden, was deze oplossing bevredigend.

Beter nog zou geweest zijn een zodanige installatie dat de vermenging van de toevoerlucht met de kamerlucht, die nu nog optreedt aan de omtrek van de luchtstraal, niet meer kan plaatsvinden.

Over de dienstruimten kunnen we kort zijn. De eisen die hier gelden zijn niet specifiek voor ziekenhuizen, hetgeen niet wil zeggen dat er minder aandacht aan zou moeten worden besteed.