

Verslag van een KT-werkgroep

Natuurlijke ventilatie

In het verleden werd ventilatie gerealiseerd door infiltratie door ramen, ventilatiekanalen, schoorstenen, kieren en naden. Het toenemende energiebewustzijn heeft geleid tot betere isolatie van de gebouwschil en een verbetering van de luchtdichtheid. Hierdoor is het noodzakelijk geworden om bewust te gaan ventileren. Bij een optimale ventilatieoplossing moet gestreefd worden naar voldoende luchtverversing in combinatie met een beperking van het warmteverlies. Hierbij moet aan de hand van de benodigde luchtverversing en bouwkundige schil een keuze gemaakt worden tussen natuurlijke ventilatie, mechanische ventilatie of een combinatie hiervan. Dit leidt tot een regelbare, beheersbare, ventilatie en tot optimalisatie van het energiegebruik. Dit artikel is gebaseerd op het conceptrapport van de KT-werkgroep van de TVVL 'Natuurlijke Ventilatie' 06/1997, en de publicatie TKZ 14142.02 van de Rijksgebouwendienst [2].

-door ir. W. Zeiler*

In het algemeen dient ventilatie voor de beheersing van de luchtkwaliteit of voor de beperking van de temperatuurstijging. Bij woningen is daarnaast het beheersen van het vocht aanbod zeer belangrijk. Slecht geventileer-

de en daardoor vochtige woningen worden in veel gevallen als de belangrijkste oorzaak van gezondheidsklachten of onbehaaglijkheid beschouwd [3]. Het toepassen van natuurlijke ventilatie bij gebouwen staat in de belangstelling,

TOELICHTING

Natuurlijke ventilatie is hernieuwd in de aandacht. Het heeft z'n voordelen maar is zeker niet overal het meest aangewezen concept om toe te passen. Reden genoeg voor de stuurgroep Klimaat Techniek van de TVVL een forumgroep te starten (begin 1997). Deze groep heeft als klankbord gefunctioneerd voor de afstudeeropdracht van J.H.W. Haanstra [1]. Het verslag is verwerkt tot een concept KT-rapport 'Natuurlijke Ventilatie' 06/1997. Het commentaar op dit conceptrapport gaf aanleiding tot een gehele herziening. Besloten is tot een andere opzet en tot publicatie in de vorm van een artikel over 'Natuurlijke Ventilatie' en tevens zorg te dragen voor een actualisatie.

Forumleden

L.C.J. v.d. Akker	Nieboer Gemako
W. Bosman	TM Verhoeven - Rijswijk
P. Bulsing	Bergschenhoek B.V.
E.J.P. Corneth	Tebodin
H. Dilweg	RGD, Gepensioneerd
G. Meerdink	DGMR Raadgevend Ingenieursbureau
C. Schuurmans	Koninklijke Verhulst Luchtbehandeling
Th.G. de Vette	Smits van Burgst Raadgevend Ingenieursbureau
J. Usselstijn	RGD, Gepensioneerd

- KADER 1 -



ir. W. Zeiler

Op 7 december 1999 heeft de jaarlijkse ISSO/TVVL-dag plaatsgevonden met als thema 'Ventilatie moet!' [4]. In de ochtendsessie 'Ventilatie en gezondheid' kwamen de achtergronden van het ventileren [5], de uitgangspunten van ventilatiereggeving [6] en de ventilatienormering aan de orde. In het middagblok werd de techniek van het ventileren behandeld. De enorme belangstelling, ruim 250 deelnemers, heeft duidelijk gemaakt dat het onderwerp zeer actueel is. Participerende organisaties in dit symposium naast de ISSO en TVVL waren de NOVEM, SBR en het ministerie van VROM. ISSO is een onderzoekscoördinerende en programmerende instelling voor de bouw- en installatietechniek en brengt een reeks producten uit op het gebied van ventilatie [7];

- Handboek Vocht en Ventilatie [3];
- Brevet;
- Energie-efficiënt ventileren [8].

- KADER 2 -

ook wetenschappelijk. Om een objectief beeld te krijgen wat met natuurlijke ventilatie kan worden bereikt, zijn er in het kader van het Europese NatVent TM-project, metingen verricht in bestaande kantoorgebouwen. De resultaten zijn op een cd-rom gezet [9]. Ook bij TNO is de laatste jaren veel gedaan aan de ontwikkeling van eenvoudige energiezuinige ventilatiesystemen, ondermeer in het Europese project "Tip Vent" [10]. Door de be-

* Voorzitter Stuurgroep KT van de TVVL

hoeft aan ventilatiesystemen met een laag energiegebruik wordt er nu te veel gedacht in oplossingen van uitsluitend mechanische ventilatie. Logisch omdat hierbij de energiezuinigheid met warmterugwinning kan worden gerealiseerd. Ook is de ventilatie gegarandeerd door de beheerste ventilatiestromen. Natuurlijke ventilatie heeft daartegen volgens de traditionele denkwijze alleen maar nadelen: geen mogelijkheden tot warmterugwinning en geen beheersing van de ventilatiestromen dus een lage betrouwbaarheid [11]. Maar is dit ook werkelijk zo?

NATUURLIJKE VENTILATIE

Natuurlijke ventilatie beoogt het in stand houden van een wenselijk klimaat en comfort in een ruimte, waarbij de nadruk specifiek ligt op de luchtkwaliteit. Het principe van natuurlijke ventilatie is zeer oud. Zo werden de Egyptische piramiden reeds van ventilatieschachten voorzien om verstikkingsgevaar in het midden van de piramiden te voorkomen.

De doelstelling is om met betrekkelijk eenvoudige middelen - openingen in de gevel - een energetisch en economisch aantrekkelijke optie te bieden. Het past in het principe van 'meer doen met minder', en ook bij het terugkeren naar de basis van de ontwikkeling van klimatisering. Belangrijk aspect daarbij is dat de gebruiker in staat wordt gesteld door het verstellen van de openingen in de gevel, daadwerkelijk direct op zijn eigen klimaat in te grijpen. Een belangrijk psychologisch aspect, dat ondermeer door Piet Vroon naar voren is gebracht [15].

Het grote voordeel van natuurlijke ventilatie is dat met betrekkelijk eenvoudige middelen, openslaande ramen, een groot ventilatiedebiet kan worden gecreëerd met natuurlijke drijvende krachten, in plaats van dure elektrische energie. Hoewel het te openen raam de bekendste en meest gebruikte methode is voor natuurlijke ventilatie, is er juist over het ventilatiegedrag van een open raam nog relatief weinig bekend. In het verleden is er ondermeer door TNO onderzoek naar verricht, waardoor het nu mogelijk is een schatting te maken van de ventilatie, als de windsnelheid en windrichting bekend zijn [16]. Het koelend effect van een hoog ventilatiedebiet in de nachtsitu-

DEFINITIES EN OMSCHRIJVINGEN

Ventilatie

Ventilatie is het proces waarbij lucht in een ruimte bewust wordt vervangen door verse lucht. Deze verse lucht komt geheel of gedeeltelijk van buiten. De luchtwisselingen worden door speciaal daartoe aangebrachte ventilatievoorzieningen tot stand gebracht. Naast ventilatie bestaat infiltratie, onbewuste ventilatie, die optreedt via naden, kieren en andere lekken in de bouwkundige constructies. [12].

Mechanische ventilatie

Ventilatie die met een ventilator tot stand wordt gebracht [3].

Gebalanceerde ventilatie

Naar de ruimten wordt mechanisch lucht toegevoerd, terwijl de afvoer via openingen in de binnenwanden plaatsvindt en door een kanalsysteem dat de lucht mechanisch afvoert. Hierbij wordt evenveel lucht toegevoerd als afgevoerd [3].

Infiltratie

De luchtstroom die via onbedoelde openingen in de woningschil ongewild van buiten naar binnen stroomt. Infiltratie is het omgekeerde van exfiltratie waarbij lucht van binnen ongewild via kieren en naden naar buiten stroomt [3].

Nominale ventilatie

Ventilatie die op grond van gezondheidsoverwegingen voor de reinheid van de lucht in principe continu tot stand moet kunnen worden gebracht [3].

Spuiventilatie

Ventilatie die noodzakelijk is om temperatuurniveaus bij overmatige warmtebelasting en verontreinigingsniveaus onder bijzondere omstandigheden binnen zekere grenzen te beheersen [3].

Duurventilatie

Het voortdurend verversen van lucht in een gebouw [3].

Eenzijdige ventilatie

Bij eenzijdige ventilatie treedt de buitenlucht binnen en gaat weer naar buiten door openingen aan één zijde van de gevel. Hierbij is de drijvende kracht hoofdzakelijk windturbulentie. Hoog en laag geplaatste ventilatie-openingen verhogen het ventilatievoud [3].

Ventilatie waarbij verse lucht via de ene gevel toestroomt en binnenlucht via uitsluitend een of meer andere gevels, al dan niet via overstroomvoorzieningen, wordt afgevoerd [3]. Dit is afhankelijk van de windrichting en gebouworientatie. Dwarsventilatie geeft hogere ventilatievouden dan eenzijdige ventilatie, dit verschil bedraagt een factor 1,9 [13].

Dwarsventilatie

Natuurlijke ventilatie is luchtverversing die tot stand komt door invloed van wind en/of temperatuurverschil tussen de lucht binnen en buiten een gebouw [14]. De drijvende kracht hierbij voor de luchtstroming is het drukverschil tussen een punt buiten het gebouw op dezelfde hoogte als de luchttoevoeropening en een punt in de uitstroopopening. Bij een gegeven configuratie van ventilatie varieert de mate van natuurlijke ventilatie met de drijvende krachten. Ventilatie vindt alleen plaats als er een toevoeropening voor buitenlucht en een afvoeropening voor lucht uit het vertrek is. Bij natuurlijke ventilatie kan dit één en dezelfde opening zijn.

atie is het belangrijkste voordeel van natuurlijke ventilatie.

Koeling van een gebouw met natuurlijke ventilatie is bestudeerd waarbij kruisventilatie, dat wil zeggen dat de buitenlucht van loef-naar lijzijde dwars door het gebouw stroomt, het meest effectief was. [13].

VENTILATIEGEDRAG

Het nadeel van natuurlijke ventilatie is dat de gewenste luchtverversing bij

windstil weer niet kan worden gegarandeerd. De meeste opzetten van natuurlijke ventilatie zijn gebaseerd op dwarsstroming in het gebouw. Dit werkt alleen goed bij voldoende luchtzijdige openingen tussen de loef- en lijzijde van het gebouw. Het bezwaar van de dwarsventilatie is, dat de gebruiker in de lijzijde van het gebouw in de gebruikte luchtstroom zit van de gebruiker aan de loefzijde van het gebouw. In veel voorbeelden wordt, door middel van centrale afzuiging in een cen-

-KADER 3-

traal gangengebied in een gebouw, de indruk gewekt dat er vanuit de afzuiging zowel van de loef- als lijzijde een gerichte luchtstroom het gebouw uit kan worden gerealiseerd. Hierbij wordt voorbij gegaan aan het verschil in drijvende kracht tussen blazen en zuigen. De instroom-impuls, gegenereerd door de luchttoestroming door de winddruk, wint het meestal van de centrale onderdruk die door de ventilator wordt gegenereerd. Creatievelingen geven soms met sierlijke pijlen op hun tekeningen aan hoe de luchtstromingen in een gebouw dienen plaats te vinden. Aan de ventilatie-openingen wordt daarbij de magische kracht toegekend dat 's zomers en 's winters, bij elke windrichting en windsnelheid, de luchtverversing in alle werkruimten is gegarandeerd. Aangezien de natuur wisselvallig en onberekenbaar is dienen de natuurlijke ventilatiesystemen betuigd of ondersteund te worden [17]. Moderne regeltechniek is een aangegeven middel om natuurlijke ventilatie beheersbaar te maken. Optimaal techniek inzetten, om natuurlijke fenomenen adequaat te benutten, wordt de symbiose van natuurlijke fenomenen en hun technische vertaling [18].

NATUUR VERSUS TECHNIEK

In de discussie over natuurlijk ventileren wordt natuur en techniek vaak tegenover elkaar gesteld. Waarbij naarmate de technische hulpmiddelen in aantal en kracht toenamen, het inzicht in de werking van de natuur vervaagde. De onzekerheid van de natuur werd geëlimineerd met installaties. [18]. Als reactie hierop zijn de laatste jaren studies gedaan om het gebouw weer in balans met zijn natuurlijke omgeving te brengen. Niet langer het binnenmilieu volledig af te sluiten van het buitenklimaat, door met installaties alles beheersbaar te maken. Het gebruik van passieve klimatisering komt in toene-

mende mate in de belangstelling. Een goed voorbeeld hiervan is het project "Ademend gebouw" [19] waarbij in navolging van het SUVA Haus in Bazel, ontworpen door architecten Herzog & De Meuron, de gevel is opgebouwd uit een aantal dynamische onderdelen met ieder een eigen functie. De geveldelen functioneren hierbij als de veren van een vogel [20]. Het ademend gebouw is ontwikkeld vanuit de gedachte dat techniek en architectuur van het gebouw één geheel met de omringende natuurlijke omgeving dienen te vormen. Hierbij is het gebouw en met name de gevel de weerspiegeling van de bouwfysische toestand op een bepaald uur van de dag, in een bepaald seizoen, met een bepaalde oriëntatie ten opzichte van de zon. De gevel is hierbij de huid die licht of zwaar ventileert afhankelijk van de luchttemperatuur en vochtigheid. De vergelijking met de schubben en kiewen van een vis is hierbij ook te maken.

Bij natuurlijke analogie gaat het om het gebouw zoveel mogelijk in evenwicht te brengen met de omgeving onder benutting van fysische drijvende krachten [21].

Er kan een indeling gemaakt worden voor ventilatie systemen op basis van de manier van luchttoevoer en lucht-afvoer;

Alle mogelijke combinaties zijn toegestaan in Nederland. (tabel 1)

NATUURLIJKE AANVOER EN AFVOER

Natuurlijke aan- en afvoer van ventilatielucht, kan worden toegepast voor ruimten die aan een gevel zijn gesitueerd en waarvoor niet al te hoge ventilatie-eisen gelden. Bij dit systeem vindt ventilatie plaats door bovenlichten, kierstanden van ramen, ventilatieroosters e.d.

In de zomerperiode bestaat de behoefte om grotere geveldelen te kunnen openen, vanuit het oogpunt van tempera-

tuurbeheersing, omdat de stuwende kracht door temperatuurverschil en/of winddrukverschil in die periode kleiner is. Deze voorzieningen zijn echter ongeschikt voor winterventilatie. Het systeem dient dus op zowel de zomer- als de wintersituatie te worden gedimensioneerd. Om tochtklachten te voorkomen is het noodzakelijk de ventilatie-opening van voorzieningen voor de winterventilatie boven 1,80 m. aan te brengen. In bepaalde situaties zullen horizontale en/of verticale kanalen gewenst zijn om voldoende luchtdoorstroming te verkrijgen.

Voordelen natuurlijke aan- en afvoer:

- geringe investering;
- geringe exploitatie- en onderhoudskosten;
- alleen bouwkundige voorzieningen in de gevel benodigd;
- komt tegemoet aan de gebruikerswens om ramen te kunnen openen.

Nadelen natuurlijke aan- en afvoer:

- mogelijke tochtverschijnselen;
- luchtverversing kan sterk wisselen door veranderlijke; windbelasting of temperatuurverschillen;
- geen warmteterugwinning mogelijk;
- effect afhankelijk van de individuele bediening;
- acoustisch en bouwfysisch lek in de gevel.

Natuurlijke ventilatie is niet wenselijk bij:

- geluidbelasting op de gevel van meer dan 65 dB(A);
- zware luchtvervuiling;
- zeer grote verdiepingshoogte;
- benodigd ventilatievoud van meer dan vijf;
- diepe vertrekken of inpandige ruimten;
- specifieke eisen aan de luchtvochtigheid, binnenluchttemperatuur, luchtstroming of luchtzuiverheid (archieven, laboratoria e.d.).

Belangrijkste nieuwe ontwikkelingen [22]:

- zelfregelende toevoerroosters, actief of passief;
- vraaggestuurde ventilatie, sensor- of programmagestuurde;
- toevoer met voorverwarming, serres en/of dynamische isolatie;
- mechanische ondersteunde natuurlijke afvoer;
- warmteterugwinning uit natuurlijke afvoer.

Manier van luchttoevoer	Manier van lucht-afvoer
Natuurlijk	Natuurlijk
Mechanisch	Natuurlijk
Natuurlijk	Mechanisch
Mechanisch	Mechanisch

Indeling ventilatiesystemen volgens NEN 1087

-TABEL 1-

NATUURLIJKE AANVOER EN MECHANISCHE AFVOER

Dit ventilatiesysteem is geschikt voor dezelfde situaties als natuurlijke aan- en afvoer, met dien verstande dat de luchtverversing minder afhankelijk is van de luchtdruk op de gevel. Daarnaast is het systeem bij uitstek geschikt voor de afvoer van verontreinigde/verbruikte lucht bij de bron (b.v. afzuiging van apparatuur) en voor de ventilatie van inpandige ruimten zoals toiletten, gangen, e.d.. Bij dit systeem wordt de toevoer van verse lucht ondersteund door lucht uit de ruimte weg te zuigen met een ventilator. Door de ontstane onderdruk stroomt lucht naar de ruimte toe. Om te voorkomen dat alleen lucht uit aangrenzende ruimten wordt aangezogen, dienen in de gevel ventilatie-openingen te zijn aangebracht. De ventilator kan in de betreffende ruimte of centraal zijn opgesteld.

Het is mogelijk een klimaatraam toe te passen. Hierbij vindt de mechanische afvoer van lucht via de spouw van het raam plaats; dit maakt de toepassing van een eenvoudige warmtewisselaar mogelijk. Warme binnenlucht wordt via deze spouw naar buiten gestuurd en geeft hierbij een gedeelte van zijn warmte af aan het binnenspouwblad. Het warmteverlies door transmissie via het raam, zal hierdoor verminderen.

Voordelen natuurlijke aanvoer en mechanisch afvoer:

- afzuiging bij de bron mogelijk;
- betere beheersing van de ventilatie dan bij natuurlijke aan- en afvoer;
- nachtventilatie op eenvoudige wijze te realiseren;
- warmteterugwinning mogelijk.

Nadelen natuurlijke aanvoer en mechanische afvoer:

- mogelijke tochtverschijnselen;
- hogere investering dan bij volledige natuurlijke ventilatie;
- hogere exploitatie- en onderhoudskosten;
- ongewenste aanvoer van lucht uit aangrenzende ruimten;
- afhankelijk van het gekozen systeem zijn additionele bouwkundige voorzieningen nodig.

Belangrijkste nieuwe ontwikkelingen bij dit systeem [22]:

- de koppeling van de regeling tussen toevoer en afvoer;

- vraagsturing;
- warmteterugwinning uit afvoerlucht door middel van warmtepompen [23].

MECHANISCHE AANVOER EN NATUURLIJKE AFVOER

Dit systeem kan worden toegepast in dezelfde situaties als natuurlijke ventilatie. Hierbij is de ventilatie minder afhankelijk van de winddruk op de gevel en/of temperatuurverschillen. Het systeem is geschikt voor situaties waarbij een beperkte luchtbehandeling gewenst is.

Door mechanische aanvoer van de ventilatielucht, ontstaat in de betreffende ruimte een overdruk. Door die overdruk stroomt de verbruikte lucht door afvoeropeningen naar buiten. Voordeel van dit concept is dat het binnendringen van verbruikte lucht uit andere ruimten wordt tegengegaan. De drukhiërarchie van de verschillende ruimten speelt hierbij een rol. Alleen in de ruimte met de hoogste druk zal geen lucht uit aangrenzende ruimten kunnen binnendringen.

Mechanische toevoer maakt luchtbehandeling mogelijk (bevochtiging, koeling, droging, verwarming). De unit voor de luchtbehandeling kan centraal of decentraal worden opgesteld. Voor de luchtafvoer zijn relatief kleine openingen in de gevel voldoende.

Bij toepassing van dit systeem zal de mechanische voorziening op de maximaal gewenste ventilatie worden gedimensioneerd (zomersituatie).

Voordelen mechanische aanvoer en natuurlijke afvoer:

- binnendringen van verbruikte lucht uit andere ruimten wordt tegengegaan;
- betere beheersing van de ventilatie dan bij natuurlijke ventilatie;
- kleinere toe- en afvoeropeningen nodig dan bij natuurlijke ventilatie;
- nachtventilatie op eenvoudige wijze te realiseren;
- behandeling toevoerlucht mogelijk.

Nadelen mechanische aanvoer en natuurlijke afvoer:

- hogere investeringen dan bij natuurlijke ventilatie;
- hogere exploitatiekosten;
- extra voorzieningen nodig (afhankelijk van het gekozen systeem);
- geluidsoverlast door ventilator en hoge luchtsnelheden in de kanalen;

- gezondheidsaspecten (lucht uit vervuilde kanalen, roosters e.d., wordt de ruimte ingeblazen);
- de drukhiërarchie van de ruimte gaat een rol spelen.

De ontwikkelingen van dit systeem lopen parallel aan die van natuurlijke aan- en afvoer.

MECHANISCHE AANVOER EN AFVOER

Een systeem geschikt voor situaties waarin warmteterugwinning een forse energiebesparing oplevert, of waar vanwege omgevingsvariabelen geen natuurlijke ventilatie mogelijk is, of speciale eisen aan de luchtvochtigheid e.d. worden gesteld. Bij keuze voor luchtverwarming/koeling ligt de combinatie met mechanische ventilatie voor de hand.

De laatste jaren is de discussie over de ventilatievorm nogal toegespitst op energiebesparingen met behulp van HR-wtw ventilatie (gebalanceerde ventilatie met warmteterugwinning). De energievoordelen zijn onmiskenbaar, maar zoals door diverse partijen wordt benadrukt [24+25] staat hiertegenover een forse investering. De prestaties HR-wtw zijn inmiddels in de praktijk uitgebreid gemeten en geëvalueerd [26]. Hieruit blijkt dat het rendement in de praktijk ongeveer 10 procent lager is dan de volgens NEN 5138 gemeten waarde. Verdere toesteloptimalisatie door de fabrikanten is nog noodzakelijk.

Voordelen van mechanische ventilatie:

- gecontroleerde luchtverversing;
- warmteterugwinning;
- luchtbehandeling (verwarming, koeling, bevochtiging, droging);
- nachtventilatie op eenvoudige wijze te realiseren;
- geen problemen bij de geluidwering van de gevel.

Nadelen van mechanische ventilatie:

- relatief hoge investeringen;
- relatief hoge exploitatie- en onderhoudskosten;
- bouwkundige voorzieningen nodig (schachten, vrije ruimten in verlaagde plafonds en voorzieningen in gevels/dak);
- geluidsoverlast door ventilator en hoge luchtsnelheden in de kanalen;
- gezondheidsaspecten (lucht uit vervuilde kanalen, roosters e.d. wordt

- de ruimte ingeblazen);
- komt in het algemeen niet tegemoet aan de gebruikerswens van te openen ramen (in verband met kostenaspect en verstoring van het systeem).

Belangrijkste nieuwe ontwikkelingen [22]:

- verbetering effectiviteit van warmterugwinning;
- vermindering elektriciteitsverbruik ventilatoren, (gelijkstroommotoren in plaats van wisselstroommotoren);
- vraaggestuurde ventilatoren;
- verbetering benutting warmte;
- regeling debieten op vertrekniveau.

COMBINATIE- OF HYBRIDESYSTEMEN

De ventilatie in een gebouw kan ook worden gerealiseerd door een combinatie van de eerder genoemde systemen zogenaamde 'hybridesystemen'. Hybride ventilatiesystemen kunnen worden beschreven als systemen die een prestatie ten aanzien van binnenluchtkwaliteit en comfort realiseren, door gebruik te maken van zowel natuurlijke als mechanische ventilatie [22]. Een hybride ventilatiesysteem is een systeem dat afhankelijk van de beschikbaarheid van de natuurlijke krachten aanvullend gebruik kan maken van hulpventilatoren. Het overschakelen van natuurlijke ventilatie naar mechanische ventilatie geschiedt door middel van een intelligente regeling waarbij de luchtkwaliteit en het comfort wordt bewaakt [11].

Volledig mechanische ventilatie heeft, door combinatie met recirculatie en warmterugwinning, vooral voordelen bij een uitgebreid geconditioneerd binnenklimaat.

Volledig natuurlijke ventilatie heeft vooral voordelen gedurende het tussenseizoen. De wens van gebruikers om de ramen te kunnen openen, heeft op die periode betrekking.

Het is waarschijnlijk dat in de winterperiode mechanische ventilatie meer comfort oplevert dan natuurlijke ventilatie. Het is dan ook denkbaar om de voorzieningen voor mechanische ventilatie te dimensioneren op de wintersituatie luchtverversing en de extreme zomersituatie (koeling). In het tussenseizoen, en 's nachts in de zomer, wordt gebruik gemaakt van natuurlijke ventilatie (temperatuurbeheersing). Gedurende de zomermaanden behoeven de recirculatie en de warmterugwinning

niet te functioneren.

Door de mechanische voorzieningen op de lagere ventilatiebehoefte af te stemmen, zullen de afmetingen en daarmee de kosten geringer kunnen zijn. Door in de zomer 's nachts op natuurlijke wijze te ventileren wordt in deze periode op het energiegebruik van de ventilator bespaard. Besparingen op de kosten van de mechanische voorziening moeten worden afgewogen tegen de extra kosten voor de natuurlijke ventilatievoorzieningen in de gevel, daarbij rekening houdend met het verhoogde comfort.

KEUZECRITERIA

De keuze voor het ventilatiesysteem is afhankelijk van de benodigde ventilatie en de functionele eisen die door de gebruikers van een ruimte gesteld worden aan het geluidsniveau en het thermisch binnenklimaat. Daarnaast gelden nog een aantal andere keuzecriteria:

Geluidsniveau.

Door de gebruikers van een gebouw worden afhankelijk van de taken die in een ruimte moeten worden uitgevoerd, eisen gesteld aan het maximale niveau van stoorgeluid. In het algemeen worden hierbij maxima gesteld aan zowel het geluid van installaties als aan het geluid dat van buiten in de ruimte doordringt.

Thermisch binnenklimaat.

De gebruikers zullen eveneens eisen stellen aan de thermische behaaglijkheid in de ruimten in zomer- en winterperiode. Om tochtverschijnselen te voorkomen moet bij een ventilatievoud van meer dan 3, extra aandacht aan de ventilatievoorzieningen worden besteed. Bij een ventilatievoud van meer dan 5 in de zomerperiode, is alleen mechanische ventilatie toepasbaar.

Contact met buiten.

Veel gebruikers van gebouwen geven de voorkeur aan te openen ramen. Voor de gebruiker is het voordeel van te openen ramen de invloed die hij op het binnenklimaat kan uitoefenen en het directe contact dat met buiten mogelijk is.

Geluidbelasting.

Bij een hoog geluidsniveau van externe geluidsbronnen, geluidbelasting op de gevel (55 dB(A), zullen bij natuurlijke

ventilatie geluidwerende voorzieningen in de gevel moeten worden aangebracht. Bij een geluidbelasting van meer dan 65 dB(A) is natuurlijke ventilatie nauwelijks meer mogelijk.

Luchtvervuiling.

In de directe omgeving van industrieterreinen, autowegen e.d. is in verband met luchtvervuiling natuurlijke ventilatie soms niet wenselijk.

Gebouwhoogte.

Bij gebouwen hoger dan 15 à 20 meter neemt de winddruk toe, waardoor de luchtverversing bij natuurlijke ventilatie steeds moeilijker regelbaar wordt. Om tochtverschijnselen te voorkomen zal bij natuurlijke ventilatie meer aandacht moeten worden besteed aan de regelbaarheid en uitvoering van de ventilatievoorzieningen.

Gebouwdiepte en ligging van de ruimte.

Bij ruimten dieper dan 6 m en bij inpandige ruimten, zal met natuurlijke ventilatie in het algemeen onvoldoende doorstroming van de ruimte plaatsvinden. [27]. Bij diepe ruimten die wel aan een gevel zijn gelegen, is het mogelijk de doorstroming te verbeteren door horizontale kanalen aan te brengen als verbinding tussen loef- en lijzijde. Door het aanbrenge van ventilatieopeningen in binnendeuren e.d. kan de doorstroming eveneens worden verbeterd.

Specifieke eisen van de ruimte.

Indien het gebruik van de ruimte specifieke eisen stelt aan de luchtvochtigheid (bibliotheken), de luchtzuiverheid (laboratoria), of de luchtstroming, ligt mechanische ventilatie meer voor de hand.

Kosten.

Voorzieningen voor natuurlijke ventilatie zijn in het algemeen goedkoper dan de benodigde voorzieningen voor mechanische ventilatie. Naarmate er bij de natuurlijke ventilatie meer speciale bouwkundige voorzieningen nodig zijn, i.v.m. geluidbelasting, hoge windsnelheden, diepe ruimten, e.d., zal het prijsvoordeel steeds kleiner worden.

Architectonische uitstraling.

Bij de keuze van de voorzieningen voor natuurlijke of mechanische ventilatie, zijn afmeting van de voorziening, plaatsing van de voorziening en uitvoeringsvorm van belang. Bij de vorm-

geving van de voorziening kan worden gekozen voor het integreren in de gevelstructuur of andere gebouwdelen, het accentueren als decoratie of voor het oog verbergen.

Inbraakbeveiliging.

Inbraakveilige roosters zijn een noodzaak op de beganegrond en 1^e verdieping.

Bouwtechnische kwaliteit.

De kwaliteit dient minimaal te voldoen aan het gekozen algemene niveau.

Benodigd onderhoud.

Dit dient minimaal te zijn, dus zo weinig mogelijk bewegende delen.

Toegankelijkheid voor reiniging.

Aangezien vervuiling de capaciteit kan verminderen of de luchtkwaliteit bedreigen, is eenvoudig te realiseren onderhoud noodzakelijk.

Brandveiligheid.

De invloed van rookvermindering of zuurstoftoevoer bij brand door het ventilatiesysteem;

Thermische kwaliteit.

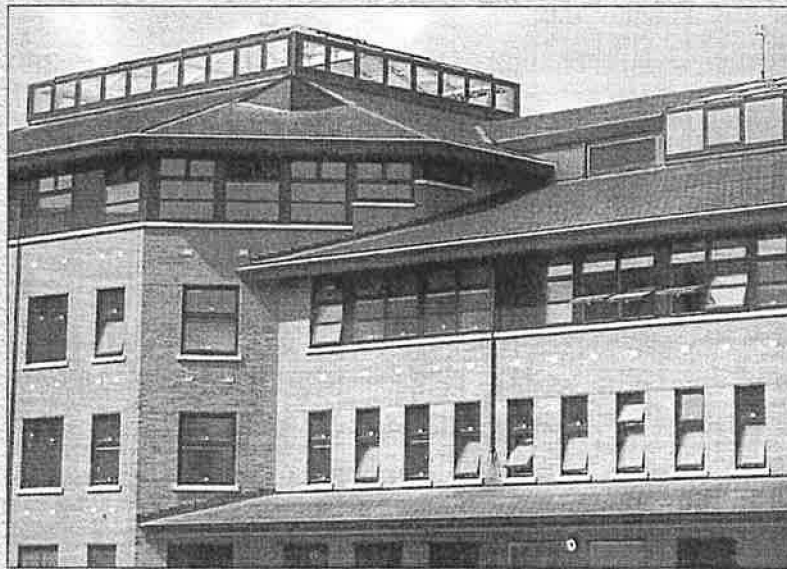
Voor wat betreft de thermische isolatie zijn de eisen die gelden voor alle delen van de gebouwschil van toepassing.

Regelbaarheid.

Het grootste nadeel van ongeregeld natuurlijk ventileren zijn de enorme fluctuaties in het debiet met als gevolg tochtklachten. Begrensd natuurlijk ventileren is al een stuk beter, maar betreft alleen een maximaal begrenzing, dus bij geen wind geen ventilatie.

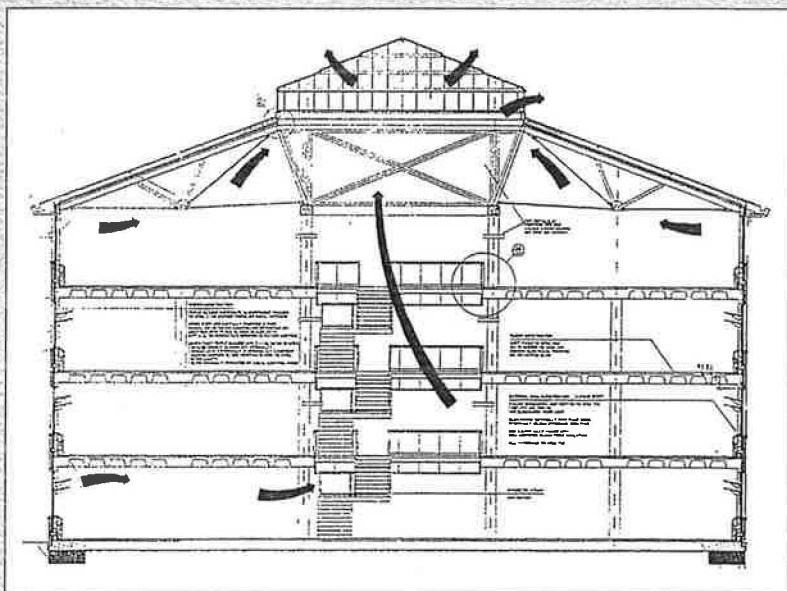
Bij geregelde natuurlijke ventilatie wordt niet alleen gebruik gemaakt van het principe van de winddruk en zuiging van de wind op gebouwgevel en daken, maar ook van opstijgende lucht. Een regelaar is gekoppeld aan een lokaal meteostation. Binnen meet het systeem op verschillende plaatsen de temperatuur en buiten worden windsnelheid, windrichting en neerslag gemeten. De meetgegevens worden vertaald naar regelcommando's om de dak- en gevelroosters te besturen. Hiermee kan een geregelde natuurlijke ventilatie worden gerealiseerd. Door de thermische trek is er zelfs bij geen wind, nog beperkte werking (zie voorbeeld in kader 4).

Een voorbeeld van een gebouw met geregelde natuurlijke ventilatie is het Anglia Polytechnic University (APU) Learning Resource Centre, Chelmsford, Esser, England. Het gebouw omvat 6000m² vloeroppervlak, bestaande uit een bibliotheek met uitgebreide studie- en computerfaciliteiten, onderwijsruimten en kantoorfuncties. Naast de eisen volgens de bouwregelgeving was het doel een 'environmental sensitive' gebouw te ontwerpen. De opdrachtgever wilde eenvoudige systemen, robuuste afwerking en beperkte energie- en onderhoudskosten. De ramen worden aangestuurd door het gebouwbeheersysteem. De afmetingen van de ramen verschillen per verdieping om een gelijkmatige luchttoevoer te bewerkstelligen.



Polytechnic University

-Foto 1-



Schema luchtbeweging door het gebouw

-SCHEMA 1-

De duur van de nachventilatie wordt bepaald aan de hand van temperatuurmetingen. Bovendien zijn er CO₂ metingen om extra ramen open te sturen voor het geval de ventilatie voor de aanwezige personen onvoldoende zou zijn. Het project is onderzocht in het kader van het Europees THERMIE Monitoring project [28].

-KADER 4-

Geregelde natuurlijke ventilatie kan een aantrekkelijk alternatief zijn naast mechanische en natuurlijke ventilatie [29+30+31+32] is de meest uitgebreide

vorm met zelfs beperkte werking als er geen wind of thermische trek is. Nadeel is dat de luchtstromen door onderdrukregeling niet controleerbaar zijn. Een

variant hierbij bestaat uit gestuurde zelfregelende roosters met toerengeregelde mechanische afvoer. Hierbij wordt met behulp van ventilatieprogramma's op basis van een aantal voorgeprogrammeerde gebruikspatronen geprobeerd een constante balans tussen aanvoer en afvoer in stand te houden [33].

Energiegebruik.

Eén van de nadelen van natuurlijke ventilatie was het ontbreken van de mogelijkheid voor warmteterugwinning en dien ten gevolge een verhoogd energiegebruik. In het werkpakket 3.3 Heat Recovery van het Europees Navent onderzoeksprogramma heeft het Noorse Building Research Institute onderzoek verricht naar de mogelijkheden tot warmteterugwinning bij natuurlijke ventilatie [34]. De resultaten van dit onderzoek zijn positief. Een warmteterugwinningspercentage van 50% is praktisch gemeten met minimaal benodigd ventilatievermogen of zelfs geen afzuigventilator. De verwachting is dat bij verdere optimalisatie het rendement kan stijgen tot 60% bij een drukval van ongeveer 50 Pa [36]. Ook in een ander Europees onderzoeksprogramma SAVEHEAT wordt de mogelijkheid van warmteterugwinning bij natuurlijke ventilatie, onderzocht hier door het toepassen van heat-pipes [37].

Betrouwbaarheid

Betrouwbaarheid wordt gedefinieerd

als "de waarschijnlijkheid dat het ventilatiesysteem minstens de bepaalde minimum luchtdebieten levert bij alle voorkomende klimaat- en windcondities". Diverse studies hebben aangetoond dat specifiek raamventilatie gedurende circa 10% tot 20% van de gebruikstijd niet voldoet. Het is daarom wenselijk bij zuiver natuurlijke ventilatiesystemen in het ontwerp stadium een computersimulatie uit te voeren [17]. Hiermee kan worden bepaald in hoeveel procent van de werktijd het systeem statistisch zal voldoen en onder welke omstandigheden er problemen te verwachten zijn. Het ventilatiemodel wordt voorgesteld door een weerstandsnetwerk. De drukken op verschillende plaatsen in het gebouw worden voorgesteld door punten die verbonden worden door een weerstand, waardoor een (lucht)stroom stroomt. Een uitgebreide beschrijving is te vinden in [38+14].

Thermische geïnduceerde luchtbewegingen zijn relatief eenvoudig te bepalen als het temperatuurverschil bekend is. De wind is echter onvoorspelbaar. Uit windstatistieken blijkt dat windsnelheden van 4 tot 6 m/sec. uit zuidelijke en westelijke windrichting het meest voorkomen. Slechts 6% van de tijd is de windsnelheid minder dan 2 m/sec. Gedetailleerde gegevens zijn te vinden in [39]. Een andere onzekerheid is de lokale windsituatie. Deze is afhankelijk van het gebouw en de omringende bebouwing. De winddruk

kan daarbij worden bepaald door vuistregels, via computerprogramma's of door kostbaar windtunnelonderzoek. TNO Bouw biedt hiervoor diverse mogelijkheden [30].

Ook specifieke ventilatiegedrag van ventilatie-openingen verdient zorg. Zo heeft TNO in het verleden ondermeer het ventilatiegedrag van een open raam onderzocht. De ventilatie door een open raam is afhankelijk van de plaatselijke turbulentie-intensiteit en het frequentiespectrum. Hierdoor kunnen afwijkingen ontstaan die vermoedelijk een verlaging van de ventilatie tot gevolg hebben [16]. Voorzichtigheid is altijd geboden.

In tabel 2 zijn een aantal ventilatieconcepten weergegeven met hun score op de afzonderlijke onderdelen in navolging van [40].

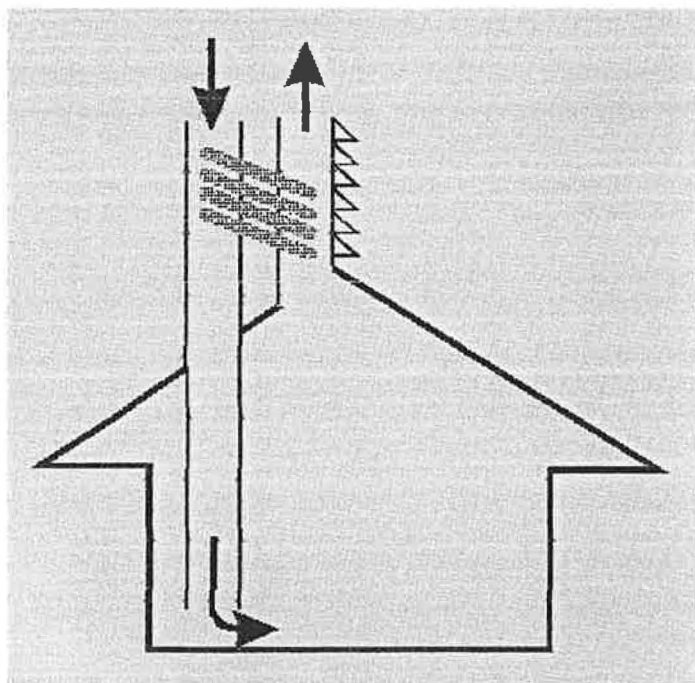
VENTILATIEVOORZIENINGEN

Voor ventilatie dienen in het ontwerp een aantal bouwtechnische voorzieningen te worden opgenomen.

Deze bestaan uit:

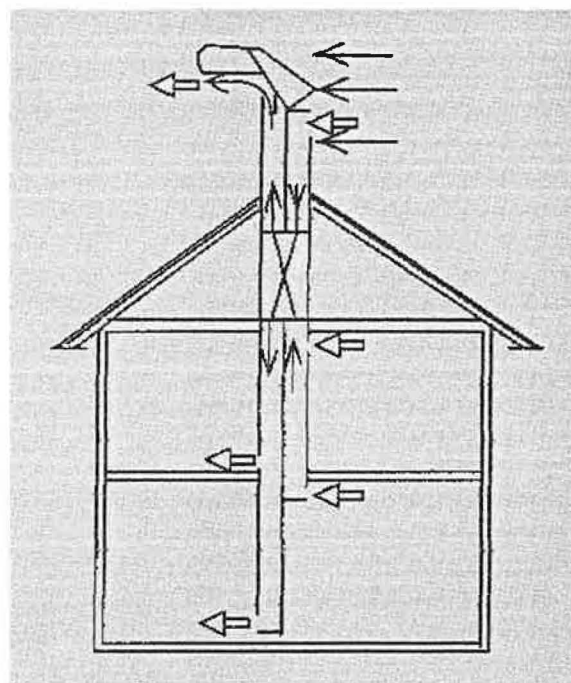
- voorzieningen in gevel en dak;
- kanalen als overstroombmogelijkheid;
- schachten en vrije ruimten boven verlaagde plafonds.

Natuurlijke ventilatie vindt hoofdzakelijk via de gevel plaats. Onder 'ventilatievoorzieningen' worden klepraampjes, ventilatieroosters e.d. verstaan. Omdat



SAVEHEAT concept

-FIGUUR 1-



NatVent concept

-FIGUUR 2-

Toevoer ventilatielucht	Natuurlijk	Natuurlijk	Mechanisch	Mechanisch	Mechanisch	Natuurlijk/ Mechanisch	Natuurlijk/ Mechanisch
Afvoer ventilatielucht	Natuurlijk	Mechanisch	Mechanisch	Mechanisch	Natuurlijk		
Warmterugwinnig	Niet	Niet	Niet	Wel	Niet	Niet	Wel
Energiegebruik	+/-	--	--	+	--	-	+
Geluidsniveau	++	+	-	-	-	+/-	+/-
Thermische behaaglijkheid	--	--	++	++	++	+/-	+/-
Contact met buiten	++	++	--	--	--	+	+
Geluidbelasting	--	--	++	++	++	+/-	+/-
Luchtvervuiling	--	--	++	++	++	-	-
Gebouwhoogte	--	--	++	++	++	-	-
Gebouddiepte	--	-	++	++	+	-	-
Specifieke ruwte-eisen	--	--	++	++	+	-/+	-/+
Kosten	++	+	-	--	-	-	--
Architect, uitstraling	++	+	--	--	-	+	++
Inbraakbeveiliging	--	--	++	++	+	--	--
Bouwtechnische kwaliteit	--	--	++	++	+	--	--
Benodigd onderhoud	--	--	+/-	+/-	+	-	-
Toegankelijkheid reiniging	-	-	+	+	+	+	+
Brandveiligheid	--	+	++	++	--	++	++
Thermische kwaliteit	-	-	+	++	+	-	-
Regelbaarheid	--	-	++	++	+	++	++
Comfort	--	-	++	++	+	++	++
Betrouwbaarheid	--	-/+	++	++	+	++	++

Ventilatie

-TABEL 2-

deze voorzieningen ook zijn bedoeld voor ventilatie gedurende de wintermaanden, moeten er eisen worden gesteld aan de afmetingen van de ventilatie-openingen en de plaats van de voorzieningen in de gevel.

Voor de natuurlijke toevoer van ventilatielucht kan ook gebruik worden gemaakt van zelfregelende roosters (continu-debiet-roosters). Deze functioneren op basis van het drukverschil tussen binnen en buiten. Naarmate de winddruk op de gevel toeneemt, verkleint het rooster automatisch zijn doorlaatopening. Hierdoor zal het ventilatie-debiet niet toenemen bij een hogere windsnelheid. Bij toepassing van deze roosters dient men er rekening mee te

houden dat het beschikbare drukverschil bij natuurlijke ventilatie zeer gering kan zijn (1 Pa.). Voor het goed functioneren van het rooster is het noodzakelijk dat de regeling werkt in het gebied van 1 Pa tot ca. 40 Pa.

UITVOERINGEN

Bij ventilatieroosters kan onderscheid worden gemaakt tussen handelsproducten en voorzieningen die in het werk zijn vervaardigd. Handelsproducten zijn hoofdzakelijk roosters en roosters met suskasten. Deze voorzieningen worden het meest toegepast in open geveldelen. Het voordeel van deze fabrieksmatig vervaardigde ventilatievoorzieningen is dat ze in het algemeen

laboratorium-getest zijn. De door de producent aangegeven luchtdoorlaat zal in de praktijk ook realiseerbaar zijn. De producten zijn per element verkrijgbaar, of per lengte-eenheid.

Een goede ventilatievoorziening die op natuurlijke wijze lucht van buiten naar binnen brengt, is niet zo maar een profiel of een samenstelling van profielen. Het is een complex geheel van componenten en voorzieningen, die samen een goed bruikbaar eindproduct vormen. Langdurige ontwikkelingen en vele tests resulteren in een verantwoord eindproduct met specifieke eigenschappen, en in varianten met een eigen herkenning en product- en merknamen. Zoals bij veel merkproducten blijft

aanpassing aan veranderende eisen geboden en is continue productinnovatie noodzakelijk. De stichting Natuvent ziet hierop toe [25]. De stichting Natuvent geeft voorlichting over het op juiste wijze toepassen van en omgaan met natuurlijke ventilatie in woningen en gebouwen, met de nadruk op ventilatioosters voor het toevoeren van verse lucht.

Handelsproducten die in elementvorm worden geleverd hebben vaste afmetingen. De gewenste doorlaat wordt verkregen door meerdere elementen te plaatsen. Nadeel van stapsgewijze vergroting van de doorlaat is, dat de aangebrachte voorzieningen vaak overgedimensioneerd zijn.

Producten die per lengte-eenheid worden geleverd, zijn op elke willekeurige maat te verkrijgen. Voordeel van dit type voorziening is dat deze beter in de bestaande bouw kunnen worden aangebracht en exact op de gewenste behoefte kunnen worden afgestemd.

In het werk vervaardigde voorzieningen worden vooral toegepast in dichte gedeelten. Het integreren van deze voorzieningen in de bouwkundige constructie, kan kostenbesparend zijn. Bij geluiddempende systemen kan de betrouwbaarheid wat betreft luchtdoorlaat en geluidsisolatie problemen geven. Veel van de voorkomende problemen hebben betrekking op de mogelijkheid om de systemen te reinigen en/of onderdelen te vervangen. Veel aandacht dient te worden besteed aan de berekening, detaillering en uitvoering van de voorziening.

VENTILATIE-OPENINGEN

Voor de bepaling van de grootte van de ventilatie-openingen voor de temperatuurbeheersing wordt geadviseerd om per 15 m² vloeroppervlak een ventilatieoppervlak van 1 m² aan te houden [2]. Dit wordt meestal gerealiseerd door ramen die door de gebruiker kunnen worden geopend. Het luchtdebiet wordt bepaald door de kleinste afmeting van de doorlaatopening. Deze doorlaatopening wordt loodrecht op de stroomrichting gemeten. Dit is de (netto) doorlaat van de ventilatievoorziening.

Voor de bepaling van de vereiste doorlaat van de ventilatie-opening, wordt

Ruimtefunctie	Ventilatie-debiet m ³ (m ² ,NO.h)	Benodigde Netto doorlaat m ² (m ² NO)
Kantoor	5	0,0014
Kantoorruimte	10	0,0028
Vergaderen	20	0,0056

Netto doorlaat per netto vloeroppervlak [2]

-TABEL 3-

uitgegaan van een gemiddelde luchtsnelheid van 1 m/s in de doorlaatopening. Een doorsnede van 1 m² is goed voor de aanvoer of afvoer van een debiet van 1 m³/s(=3.600 m³/h).

Suskasten en andere voorzieningen die de vrije toevoer van lucht bemoeilijken, worden gemeten bij een drukverschil over de voorzieningen van minder dan 60 N/m² (Pa), bij een luchtsnelheid van 5 m/s in de doorlaat. Indien het drukverschil groter wordt voordat een luchtsnelheid van 5 m/s wordt bereikt, is de meetkundige oppervlakte van de voorziening niet meer maatgevend. De volumestroom wordt in die situatie bepaald uit de meetgegevens bij een luchtweerstand van 60 Pa. Deze volumestroom wordt gedeeld door 5 m/s, wat de fictieve netto doorlaat oplevert.

De afmeting van een ventilatie-opening moet tenminste 15 mm bedragen bij in het werk gemaakte, en 4 mm bij fabrieksmatig vervaardigde openingen. Onderdelen met kleinere openingen (b.v. gaas e.d.) mogen alleen worden toegepast indien deze:

- goed te reinigen zijn;
- met eenvoudige handgrepen te verwijderen zijn;
- ter plaatse van het gaas een doorlaat heeft die minstens twee maal zo groot is als de netto-doorlaat.

Indien geen geluidseisen van toepassing zijn, zal het totale buitenoppervlak van de ventilatievoorziening ongeveer viermaal zo groot zijn als de meetkundige doorlaat. De factor vier is een gemiddelde van de doorlaat van gebruikelijke ventilatievoorzieningen en hun werkelijk buitenoppervlak.

Bij suskassen is de verhouding van totaal buitenoppervlak en netto doorlaat veel ongunstiger. Indien hoge geluidseisen worden gesteld, gecombineerd met een hoge ventilatie-eis, zal de om-

vang van de voorziening snel toenemen. Hierdoor wordt een groot, niet transparant, oppervlak in de gevel in beslag genomen. Indien een ruimte aan twee tegenover elkaar staande gevels grenst, dient in elk van beide gevels tenminste de helft van de voor die ruimte benodigde netto doorlaat van de ventilatie-openingen te worden aangebracht. In tabel 3 staan enkele voorbeelden van de benodigde netto doorlaat van ventilatie-openingen per m² netto vloeroppervlak, afhankelijk van de ruimtefunctie.

PLAATS VENTILATIE-OPENING IN DE GEVEL

De keuze van de plaats van de ventilatie-opening in de gevel moet zodanig zijn dat toechthinder zoveel mogelijk wordt vermeden. Om een te grote luchtsnelheid in de verblijfszone te voorkomen dient de onderzijde van de opening(en) tenminste 1,80 m boven de vloer te zijn aangebracht, tenzij aan de hand van meetresultaten wordt aangetoond dat een luchtsnelheid van 0,25 m/s gedurende de zomerperiode en 0,15 m/s gedurende de winterperiode niet wordt overschreden (zie NEN-ISO 7730).

Bij het plaatsen van roosters en suskassen binnen puien moet er rekening mee worden gehouden dat deze door hun hoge plaatsing de toetreding van daglicht beperken. Voor de temperatuurbeheersing in de zomersituatie is de plaats van de voorzieningen uit het oogpunt van behaaglijkheid van minder belang.

ONTWERPAANBEVELINGEN, BOUWKUNDIG

- Maximaliseer windgedreven ventilatie door de nok van het gebouw optimaal in de richting van de zomer-

windrichting te zetten.

- Probeer gebouwen die worden ontworpen voor gebruik van natuurlijke ventilatie zo smal mogelijk te houden.
- Voorzie het gebouw van een boven luchtafvoorziening, deze werkt zowel op thermisch geïnduceerde ventilatie als bij windgedreven ventilatie.
- Zorg voor voldoende mogelijkheden voor interne luchtbewegingen.
- Zorg voor hal of atriumventilatie.
- Ga na of nachtventilatie zinvol is.

NACHTKOELING

Een van de belangrijke argumenten om natuurlijke ventilatie toe te passen is de mogelijkheid van nachtkoeling. Op dit gebied heeft Nederland een onderzoekstraditie [42+43+44+45+46] met veel erkenning in het buitenland [47]. Vandaar ook dat deelgenomen wordt aan het NatVent project, een consortium van negen partners uit zeven landen, bedoeld om de barrières rond het gebruik van natuurlijke ventilatie te slechten en oplossingen aan te dragen [48].

Op basis van dynamische simulaties met het simulatie programma SIMULINK, alsmede uitgebreide meetprogramma's, zijn enkele eenvoudige ontwerprichtlijnen opgesteld:

- nachtventilatie is alleen effectief bij gebouwen met gemiddelde tot zware thermische bouwmassa;
- bij gebouwen met lage thermische bouwmassa is het niet toepasbaar;
- open plafond en binnenwanden van steen zijn noodzakelijk;
- goede buitenzonwering moet wor-

den toegepast;

- bij het gebruik van dwarsventilatie kan aan de behaaglijkheid worden voldaan met 2% effectieve ventilatie openingen per vloeroppervlakte als de interne warmte belasting niet meer is dan 30W/m². Een percentage ventilatie-openingen van 1% bij een interne warmtebelasting van 30W/m² leidt tot discomfort (200 uur boven de 25°C).

Dat onderzoek heeft geleid tot een eenvoudige grafisch ontwerp hulpmiddel.

Nachtkoeling zorgt voor een beter thermisch comfort in de zomer maanden. Vaak stroomt er 's nachts al voldoende koele buitenlucht naar binnen om overdag de temperatuur in een gebouw aanvaardbaar te houden. De debieten die hiervoor benodigd zijn liggen ongeveer tien keer hoger dan voor de basisventilatie.

De afmetingen van de roosters, benodigd voor nachtkoeling, zijn veel groter, waardoor bijv. het volledige glas van een raam wordt vervangen door een rooster. Hiervoor zijn handelsproducten op de markt [49].

CONCLUSIE

Natuurlijke ventilatie is een krachtig middel, om de gratis mogelijkheden die de natuur ons biedt, voor de beheersing van het binnenklimaat [50]. Maar zoals bij alle middelen dient de inzet gepast en met deskundigheid te geschieden. Ondoordacht een "eco"-trend volgen kan een benauwend klimaat veroorzaken. Gelukkig kan door karakteristieke kenmerken van de ver-

FUNDAMENTEEL

Bij natuurlijke ventilatie zijn er twee effecten die drukverschil veroorzaken: wind en temperatuurverschil. Wind veroorzaakt een positieve druk in de windrichting op het gebouw aan de loefzijde en een negatieve druk aan de lijzijde. Een vergelijking voor het luchtdebiet door de wind veroorzaakt is [41]:

$$Q_{wind} = K \cdot A \cdot v$$

$$Q_{wind} = \text{luchtdebiet (m}^3/\text{h)}$$

$$A = \text{netto oppervlak luchtopeningen (m}^2)$$

$$v = \text{windsnelheid (m/h)}$$

K = coëfficiënt van effectiviteit van de luchtstroming. Deze varieert van 0,4 voor een opening onder een hoek van 45° tot bijvoorbeeld 0,8 als de wind onder een hoek van 90° het gebouw raakt.

De windsnelheid V is de windsnelheid op de beschouwde locatie en wordt afgeleid uit de snelheid bij het dichtstbijzijnde weerstation, die meestal op 10 m hoogte wordt gemeten. Een benaderingscorrectie voor verschillen in hoogte en omgeving is [14]:

$$v = v_m \cdot k \cdot Z^\alpha$$

$$v = \text{windsnelheid bij gebouwhoogte (m/s)}$$

$$v_m = \text{windsnelheid in het open veld bij een standaard hoogte van 10 m. (m/s)}$$

$$Z = \text{gebouwhoogte (m)}$$

$$k, \alpha = \text{constanten afhankelijk van de omgeving, zie onderstaand overzicht.}$$

omgeving coëfficiënt	k	α
open terrein	0,68	0,17
gebied met weinig windhinder	0,52	0,20
landelijk gebied	0,35	0,25
stad	0,2	0,33

Voorbeeld:

Bereken de windsnelheid voor een gebouw van 8 meter hoog gesitueerd in een landelijke omgeving met een gemiddelde weerstation windsnelheid van 6 m/s;

$$v = 6 \cdot 0,35 \cdot 8^{0,25} = 3,5 \text{ m/s}$$

Een vergelijking voor het luchtdebiet veroorzaakt door een temperatuurverschil tussen binnen en buiten is:

$$Q_{\Delta\theta} = 421,1 \cdot A \cdot [h (\theta_i - \theta_o)]^{1/2}$$

met $Q_{\Delta\theta}$ = luchtdebiet tgv. temperatuurverschil (m³/h)

$$A = \text{vrije doorlaat oppervlak (m)}$$

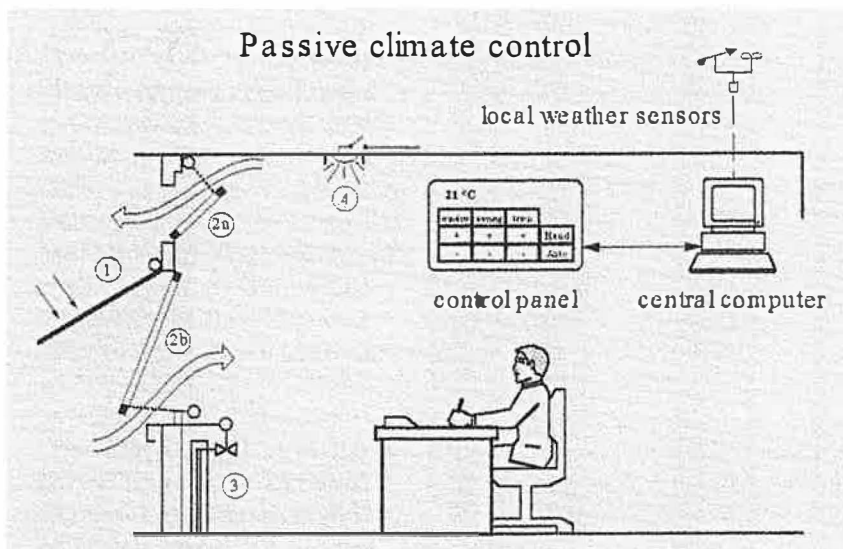
$$h = \text{verticale afstand tussen luchtinlaat en uitlaat (m)}$$

$$\theta_i = \text{gemiddelde binnentemperatuur (°C)}$$

$$\theta_o = \text{gemiddelde buitentemperatuur (°C)}$$

Het totale luchtdebiet is het resultaat van beide effecten. Voor gebouwen wordt een gemiddelde kwadrantmethode gebruikt om het gecombineerde effect te kwantificeren [41+14].

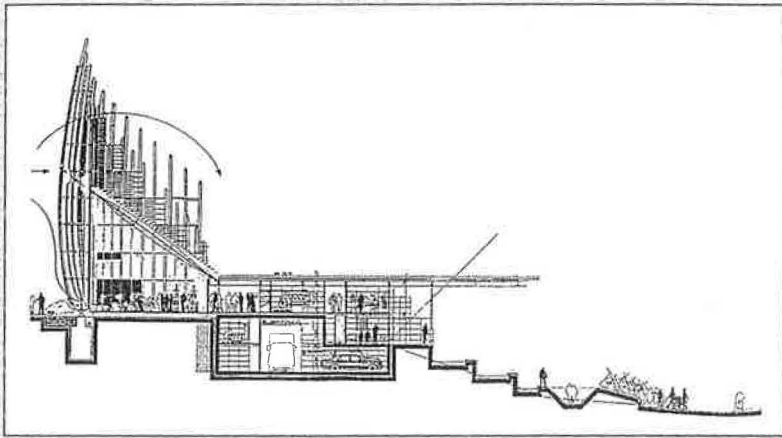
$$\text{Totaal } Q_{ventilatie} = [(Q_{wind})^2 + (Q_{\Delta\theta})^2]^{1/2}$$



Voorbeeld van gecontroleerde natuurlijke ventilatie

-FIGUUR 3-

-KADER 5-



Een mooi voorbeeld van integratie van een natuurlijk ventilatieconcept en architectuur is het cultuurcentrum 'Jean-Marie Tjibaou; Nieuw Caledonië.

Het in 1998 opgeleverde cultuurcentrum Jean-Marie Tjibaou werd door Frankrijk aan Nieuw Caledonië aangeboden als pleister op de wond van honderden jaren van uitbuiting als franse kolonie.

De landschappelijke omgeving waar het complex gebouwd wordt is indrukwekkend. Vandaar ook dat de **situering tot hoofduitgangspunt van de architectuur** geworden. Het **dunbevolkte schiereiland is zeer tegenstrijdig van karakter. Een kant van het eiland richt zich naar de stormachtige zee, terwijl de andere zijde aan uitermate rustige wateren van de lagune grenst. Het zoeken naar de identiteit van Nieuw Caledonië** vormde de inspiratie voor een ordening van een zich repeterend element over de kam van een heuvel, precies zoals dat in de traditionele dorpen ook gebeurt. Er is een opdeling in drie hutgroepen gemaakt, die elk een andere functie bezitten. Ze bestaan uit een combinatie van laagbouw, dat zich richt naar de lagune, en hogere hutten die direct gebruik maken van de passaatwinden die vanaf zee komen.

Uitgangspunt voor de architectuur is het verbinden van moderniteit en de huidige technologie met de natuur en de traditie.

De High-tech constructie verbindt moderne met traditionele, veelal plaatselijke, bouwmaterialen. De drager bestaat uit verticale stijlen van gelamineerd kernhout van grenen waaraan verbindingdelen zijn gemonteerd van gegoten staal. De staande licht gekramde dragers van grenenhout zijn om de 2,25m met horizontale stalen buisprofielen verbonden en diagonaalsgewijs gestabiliseerd. De staalconstructie die ontstaat is uitermate stabiel zodat wervelstormen geen probleem vormen.

De wandopbouw is twee-schalig. De binnenste schaal van lijmhout is waterdicht terwijl de buitenste schaal bestaat uit houten lamellen ter wering van de zond. Door het schoorsteeneffect wordt, in de ruimte tussen de twee schalen, de warme lucht afgevoerd.

De exacte vorm van de schalen komt direct voort uit een uitgebreid windtunnel onderzoek naar natuurlijk ventilatie bij deze extreme wind- en bezonningsomstandigheden. Het klimaat concept kon eenvoudigweg op een windrichting worden ontworpen. Het berust op het volgende:

- bij een zwakke wind verzameld zich hete lucht onder de hutten waarna deze door de 'schoorsteen-spouw' afgezogen wordt. Tegelijkertijd ontstaat er een luchtstroming, in de hutten, die het thermische comfort verhoogt'
- bij een middelsterke wind worden er delen van de façade aan de windkant geopend. Hierdoor kan de wind, zij het sterk afgeremd, door het gebouw stromen;
- bij een sterke wind worden de openingen aan de windzijde mechanisch gesloten. De schoorsteenwerking geldt weer zodat de hete lucht wordt afgezogen.

Dankzij het schermachtige bovenste deel van de buitengevel wordt in de bovenste helft van de hut, boven de verblijfsruimten, **een onderdruk geschapen. De stroming van de wind wordt door dit scherm afgeleid waardoor in het bovenste deel van de hut een nuttige luchtcirculatie op gang komt. De overgang tussen 'schoorsteeneffect' en gebruik van wind door openingen in de gevel wordt eenvoudigweg gestuurd door een anemo-windmeter.**

schillende opties een goede afweging worden gemaakt of ze bij het specifieke gebouw en zijn gebruik passen. Het ventilatiesysteem moet nauwkeurig op de bouwkundige kwaliteit en eigenschappen van het gebouw worden afgestemd om tot een optimaal resultaat te komen met betrekking tot energiezuinigheid en gezondheid [12].

LITERATUURLIJST

1. Haanstra J.H.W., *Natuurlijke Ventilatie*, afstudeerscriptie TH-Rijswijk, 16 mei 1997, Concept rapport TVVL Natuurlijke Ventilatie 06/1997.
2. RGD, Rijksgebouwendienst, *Ventilatie van gebouwen, Bepaling van de benodigde luchtverversing, keuze aspecten natuurlijke ventilatie versus mechanische ventilatie*, Directie Advisering en Onderzoek en ontwikkeling, TKZ 14142.02, januari 1991, Techniek en Kwaliteitszorg, 's-Gravenhage.
3. Adam O.C.G., Dongen J.E.F. van, Gids W.F. de, *Handboek Vocht en Ventilatie, Basis voor Ontwerp, Uitvoering en Beheer*, ISSO/SBR publicatie, Rotterdam, maart 2000.
4. ISSO, syllabus "Ventileren moet!", ISSO/TVVL-dag 7 december 1999 met medewerking van SBR, NOVEM en VROM, Rotterdam 1999.
5. Bogaard C. van de, *Ventileren en gezondheid*, TVVL magazine 04/2000.
6. Overveld M. van, *Bouwregelgeving en ventilatie*, TVVL Magazine 04/2000.
7. Gans R. de, *ISSO en SBR ventileren kennis*, TVVL Magazine, 04/2000.
8. Veld P.J.M. op 't, Gids W. de *Energie-efficiënt ventileren*. ISSO/SBR publicatie Rotterdam, augustus 1999.
9. Paassen A.H.C. van, *NatVent CD-Rom, informatie over natuurlijke ventilatie*, TVVL Magazine 04/2000.
10. Knoll B., *Ontwikkelingen in ventilatie*, TVVL Magazine 02/2000.
11. Gids W.F. de, *Ontwikkeling Ventilatiesystemen, Op weg naar hybride ventilatie*. Conferentieverlag, Nederlandse Duurzame Energie Conferentie, Noorwijkerhout, 25 en 26 November 1999.
12. Veld P.J.M. op 't, Slijper H.G., *Energie-efficiënt bouwen, Een kwalitatief hoogwaardig ventilatiesysteem is vereist*, TVVL Magazine 4/97.
13. Paassen A.H.C. van, Gröninger B.P., *Ontwerp en Regeling van koeling*

- met *Natuurlijke Ventilatie*, Verwarming & Ventilatie, januari 1999.
14. Air Infiltration and Ventilation Centre (AIVC) UK, proceedings of 17th AIVC Conference, "Optimum Ventilation and Air Flow in Buildings", Volume 1, held 17-20 september 1996, Gothenburg, Sweden.
 15. Vroon P.A., *Psychologische aspecten van ziekmakende gebouwen*, Rijksuniversiteit Utrecht, juli 1990.
 16. Crommin R.D., Vriens E.M.H., *Turbulente luchtuitwisseling door een open raam bij een schaalmodel*, *Klimaatbeheersing* 17 (1988) nr. 5 (mei).
 17. Bronsema B., *Natuurlijke ventilatie van kantoorgebouwen - een goed idee?* TVVL Magazine 09/1996.
 18. Paassen A.H.C. van, *Natuurlijke ventilatie beheersbaar maken met moderne regeltechniek - een goed idee?*, TVVL Magazine 12/1996.
 19. Techniplan adviseurs, Architectenbureau van den Broek en Bakema, *Kantoorgebouw Organon te Os, Onderzoek naar een energievriendelijk gebouw met comfortabele werkomstandigheden*, Novem LTGO, oktober 1997.
 20. Brouwer J., *Anorexia Flexis*, TVVL Magazine 5/1997.
 21. Quanjel E.M.C.J., *Analogieën, in Bouwwijs materialen en methoden voor toekomstige gebouwen*, redactie A. Venemans, Stichting Toekomstbeeld der Techniek, STT 59, 1997, Delwel Uitgeverij Den Haag.
 22. Veld P.J.M. op 't, Gids W. de, *Techniekinventarisatie ventilatie, Ontwikkelingen, trends en concepten*, Verwarming & Ventilatie, januari 2000.
 23. Hasselaar E., *Zuinig ventileren en gezonde woningen, Plaatsbepaling van nieuwe ontwikkelingen*, Koude & Klimaat, nummer 3, maart 2000.
 24. Koude & Klimaat, *Een nieuwe kijk op ventileren, Nieuw intelligent ventilatiesysteem verlaagd EPC*, nummer 3, maart 2000.
 25. NatuVent, *Omgaan met natuurlijke ventilatie*, Stichting NatuVent, Zoetermeer, mei 1995. NatuVent, *Natuurlijke ventilatie? Ja, natuurlijk*, publicatie van de Stichting NatuVent, Zoetermeer.
 26. Veld P.J.M. op 't, *HR-wtw in de praktijk*, Verwarming & Ventilatie, april 2000.
 27. Walker R.R., White M.K., *Single-sided natural ventilation- How deep an office?*, Building Services Engineering Research and Technology 13(4) 231-236 (1992).
 28. *Trend, Natural Ventilation-Controling the Future*, Application Guide: SD102545 Issue 1/0 1-12-'95.
 29. Cleef L.H.M., *Geregelde natuurlijke ventilatie: een aantrekkelijk alternatief naast mechanische en natuurlijke ventilatie*, Verwarming en Ventilatie, juli/augustus 1996.
 30. Knoll B., *Geregelde natuurlijke ventilatie; De werking van de regelaar*, Verwarming en Ventilatie, juli/augustus 1996.
 31. Debets C., "Ventostaat" beheerst luchtstromen, *Geregelde Natuurlijke Ventilatie*, Bouw Wereld 26 januari 1998.
 32. Mil R. van, *Flinke EPC-verlaging door zelfregelende ventilatie*, "Ventosysteem" in 2000 verkrijgbaar, Intech juni 1999.
 33. Koude & Klimaat, *Natuurlijke ventilatie versus mechanische ventilatie*, nummer 1, januari 2000.
 34. Air Infiltration Review, Volume 19, no. 2, March 1998, World Wide Web Edition, *European NatVent Project Nearing Completion*, www.aivc.org/natvent 98.html.
 35. Skaret E., Blom P., Hestad T. *Energy recovery possibilities in natural ventilation of office buildings*, Norwegian Building Research Institute, www.byggforsk.no/english/energy.htm
 36. Blom P., Brunzell J., *Natural ventilation System with heat recovery*, Norwegian Building Research Institute, CADDET Energy Efficiency Newsletter no. 4, 1999.
 37. Kofoed P., Saveheat, *Lab News no. 4*, juli 1996, Sulzer Infra Lab, www.irred.com/sulzer/infra/labnews4.htm.
 38. Paassen A.H.C. van, Gröningen B.P., *Koeling met regelbare ventilatieopeningen in de gevel, Dimensionering en regeling*, TVVL Magazine 4/99.
 39. Wieringa J., Rijkooort P.J., *Windklimaat van Nederland*, Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut, Staatsuitgeverij, Den Haag 1983.
 40. Simons C., *Duurzaam ventileren, Met of zonder installaties*, Bouw Adviseur, 115, 2000.
 41. ASHRAE, *Fundamentals handbook*, 1997, chapter 25.
 41. NAVY Whole Building Design Guide, *Natural Ventilation in Buildings*, www.psic.org/navy-wbdg/natvent-rp/natvent.rphtm.
 42. Paassen A.H.C. van, *Computer gestuurde raamsystemen voor de beheersing van het binnenklimaat met een laag energiegebruik*, Verwarming en Ventilatie, juli 1982, nr. 7.
 43. Paassen A.H.C. van, *Regeling van een passief klimaatbeheersingssysteem*, *Klimaatbeheersing* 17 (1998) nr. 12 (december).
 44. Paassen A.H.C. van, *Het raam als onderdeel van de klimaatinstallatie*, *Klimaatbeheersing* 19 (1990) nr 10 (oktober).
 45. Paassen A.H.C. van, Lute P.J., Lien S.H., *Het passief klimaatstelsel voor gebouwen met geringe belasting*, *Klimaatbeheersing* 20 (1991) nr 3 (maart).
 46. Lute P.J., *The use of predictions in temperature control in buildings*, promotieverslag, Fac. der werktuigbouwkunde en Maritieme Techniek, TU-Delft, 1992.
 47. Paassen A.H.C. van, Liem S.H., *Intelligent Night Cooling, NatuVent project*, WP3/A3.4, april 1998.
 48. *NatVent CD-ROM* Version 1.0, januari 1999.
 49. Rensen, *brochure Night Cooling, Intensieve natuurlijke ventilatie*, www.renson.be, 1999.
 50. Paassen A.H.C. van, *Natuurlijke ventilatie te weinig toegepast, Een opendeur, maar daardoor niet minder relevant*, IN Tech, juni 1998.
 51. Timmeren, A. van, *High-tech, low-tech, no-tech; Architectonische interpretaties van Duurzaam bouwen*, versie 2.02 januari 1999, TU Delft Faculteit Bouwkunde Bureau Bouwtechnologisch Milieu Technisch ontwerpen.