

Typologieën van hybride ventilatie in scholen

Dit artikel is het resultaat van een onderzoek naar het dichten van de 'kloof' tussen architecten en deskundigen op het gebied van installaties. Het dichten van deze kloof is noodzakelijk om het mogelijk te maken om zowel een beter binnenklimaat als een interessante architectonische omgeving te creëren. Vooral voor scholen met een natuurlijke luchttoevoer dient in een vroeg stadium van het ontwerp- of aanbestedingsproces een aantal fysische basisprincipes van tochtpreventie te worden gecontroleerd. Voor de meest voorkomende architectonische problemen zouden ontwerpen voor de luchttoevoer eenvoudig toegankelijk moeten zijn. Het grootste gedeelte van de voorgestelde ontwerpmogelijkheden is beoordeeld aan de hand van metingen en CFD-simulaties. Voor scholen met een natuurlijke luchtafvoer (overdruksysteem) worden de resultaten gepresenteerd van een test die op locatie is uitgevoerd. Dit systeem kan zelfs worden toegepast in bestaande scholen met enkel beglaasde ramen en een monumentale gevel.

- door dr.ir. P.J.W. van den Engel*

In Nederland en in andere Europese landen neemt het ventilatievoud in scholen toe om gezondheidsproblemen bij leerlingen te voorkomen. De minimale luchttoevoer in Nederland volgens het Bouwbesluit bedraagt voor verblijfsgebieden ca. 7 l/s (= ca. 25 m³/h) per leerling. Als gevolg van de hoge bezettingsgraad (doorgaans 1 persoon per 2 m² = 3,5 l/sm²) heeft het voorkomen van tocht veel aandacht nodig. Architecten hebben voor scholen ontwerpconcepten over ventilatie nodig die klaar zijn voor gebruik, vanwege:

- een gebrek aan kennis over tochtpreventie;
- individuele architectonische meningen;
- een laag budget.

In Nederland is een onderzoeksproject gestart om mogelijkheden te ontwerpen voor natuurlijke, mechanische of hybride ventilatie. Deze systemen voor nieuwe of gerenoveerde scholen zullen worden besproken in ISSO-publicatie 89 "Binnenklimaat Scholen" die in voorbereiding is en kunnen in de nabije toekomst worden geïntegreerd in een REHVA-publicatie waarin gezonde worden scholen behandeld. In de ISSO-publicatie zullen ook hogere ventilatievouden worden besproken: 30 m³/h en 40 m³/h per leerling = 4,2 – 5,6 l/sm².

Hybride ventilatie kan verschillende betekenissen hebben. Over het algemeen is het opgebouwd uit een lage druk ventilatiesysteem dat, wanneer dat nodig is, kan worden ondersteund



Dr.ir. P.J.W. van den Engel

door ventilatoren. Echter, een natuurlijke luchttoevoer in combinatie met een mechanische afvoer of een natuurlijke luchtafvoer in combinatie met een mechanische toevoer kan ook als hybride worden beschouwd.

Soms dient de installatietechnicus ontwerpvoorstellen te maken voor de architect. Aan de andere kant kunnen architecten de creativiteit van de installatietechnicus stimuleren om een specifieke oplossing te vinden voor een specifiek probleem.

METHODEN

De methoden die zijn gebruikt gedurende het onderzoek en de onderwerpen die zijn besproken met architecten zijn:

- onderzoek van fysische principes;
- architectonisch onderzoek;
- metingen van de luchtstroming.

* Deerns raadgevende ingenieurs, Technische Universiteit Delft, sectie Climate Design
Vertaling van "Typologies of Hybrid Ventilation in Schools", door ir. P.M. Briggen, afgestudeerd bij de unit Building Physics & Systems van de TU Eindhoven.



Mogelijkheden voor luchttoevoer zonder gebruikmaking van een verlaagd plafond.

- FIGUUR 1 -

a. Onderzoek van fysische principes

Het onderzoek levert een verscheidenheid van mogelijkheden om met luchtstromingen en warmtetransport om te gaan:

Menging van koude lucht

Menging van koude lucht met de omringende warme lucht om tocht te voorkomen, met of zonder een verlaagd plafond.

Onderzoek op de Technische Universiteit Delft [1] toont aan dat het mogelijk is om tocht ($3,5 \text{ l/sm}^2$) te voorkomen door middel van natuurlijke luchttoevoer zonder een verlaagd plafond. Als de lucht direct onder het plafond wordt toegevoerd met een Archimedes-getal van 0,001 (Figuur 1, II) zal de DR-waarde maximaal 20 % bedragen. Wanneer de lucht wordt toegevoerd met een brede luchtinlaat met dezelfde afmeting als de breedte van de ruimte is het echter ook mogelijk om een acceptabel thermisch comfort te bewerkstelligen met andere Archimedes-getallen. Als de snelheid laag (figuur 1, I) of erg hoog is (figuur 1, III) zal de luchtsnelheid boven de vloer toenemen. Betonkernactivering en (vloer)verwarming kan – tot een bepaald niveau – tocht-risico's compenseren door hogere lokale operationele temperaturen nabij de vloer.

De integratie van de luchttoevoer nabij het plafond vraagt veel aandacht [2 en 4], vanwege het feit dat de smalle inlaatgleuf dicht onder het plafond dient te liggen.

In de situatie waarbij gebruik wordt gemaakt van een verlaagd plafond zijn er meer mogelijkheden voor tochtpreventie en is de integratie van een luchttoevoer in de gevel eenvoudiger [4].

Een afvoer via een dubbel raam

Er bestaat geen informatie over de gecombineerde prestatie van een luchtuitlaat en een dubbel raam. De thermische kwaliteiten van het raam en van de luchtstromingen zijn geanalyseerd aan de hand van CFD-simulaties. Het afvoersysteem is getest in de politieacademie in Apeldoorn, door gedurende het stookseizoen metingen te verrichten aan de luchtstroming en de drukverschillen.

Verwarmingssystemen

De meest voorkomende verwarmingssystemen zijn: een radiator onder ramen, vloerverwarming of betonkernactivering en voorverwarming van de lucht bij de luchtinlaat. Het is erg belangrijk om het verschil in karakteristieken van de convectiestroming van radiatorenverwarming en vloerverwarming te begrijpen. Het belang hiervan is bepaald met behulp van CFD-simulaties (Phoenics, Flair).

b. Architectonisch onderzoek

Twee systemen zullen worden besproken:

1. Systemen met natuurlijke luchttoevoer, mechanische afvoer en een aantal combinaties met verlaagde plafonds voor drie verschillende geveltypologieën (positie van ramen).
Na analyse van de meest voorkomende geveltypologieën zijn ontwerpprincipes ontwikkeld voor architecten om de ontwerpprocesen te ondersteunen.
2. Een systeem van natuurlijke lucht-afvoer via een dubbel raam en mechanische luchttoevoer voor monumenten.
Voor bestaande gebouwen is een ontwerp-mogelijkheid ontwikkeld waarin fysische, esthetische, prakti-

sche en economische eisen worden gecombineerd.

c. Metingen van de luchtstroming en CFD-simulaties

De werking van de voorgestelde natuurlijke luchttoevoer- en afvoersystemen is gemeten of gesimuleerd. De prestatie van het afvoersysteem is beoordeeld met behulp van de volgende vergelijkingen:

De maximale luchtsnelheid door een uitlaat met een erg lage luchtweerstand is [1]:

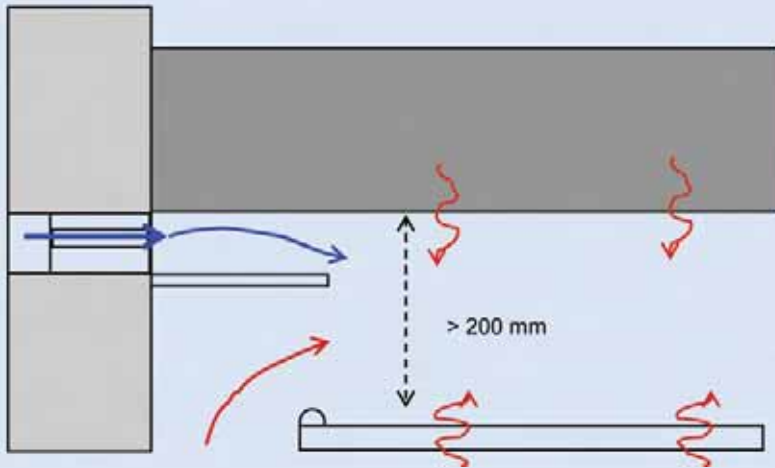
$$U_{\max} = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P}{\rho}} \quad (1)$$

Waarin U_{\max} de maximale luchtsnelheid is (m/s), ΔP het drukverschil (Pa) en ρ de volumieke massa van lucht (kg/m^3).

Voorbeeld: De maximale luchtsnelheid bij 4 Pa en 20 °C zal 2,6 m/s zijn. De gemeten luchtsnelheid van het systeem kan worden gedeeld door de maximale luchtsnelheid; dit levert de efficiëntie van de luchtdoorlaat op, $\epsilon_{\text{luchtdoorlaat}}$ (-):

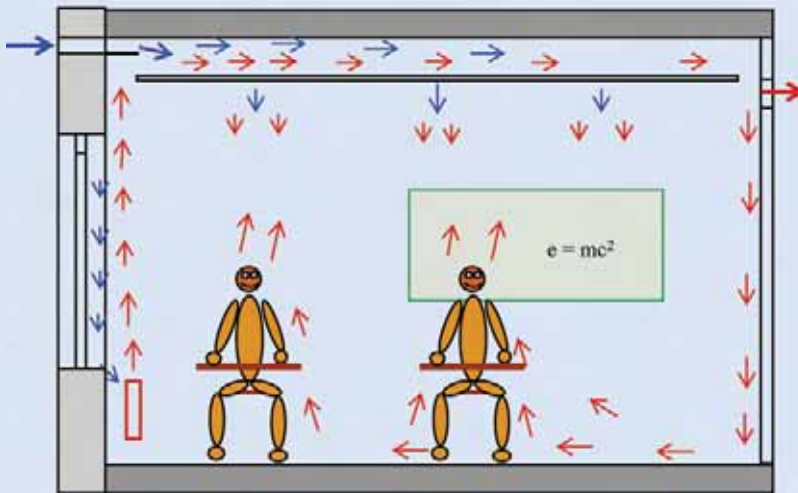
$$\epsilon_{\text{luchtdoorlaat}} = \frac{U_{\text{gemeten}}}{U_{\max}} \quad (2)$$

De luchtsnelheid wordt met een hittedraad anemometer (Envic AFT-1D, 0 tot 10 m/s, 3 % tolerantie) gemeten in de opening van het luchtafvoersysteem. Het drukverschil wordt aan beide kanten van het raam gemeten (SETRA 267, +50 tot -50 Pa, 1 % tolerantie). De metingen zijn verricht met een interval van 1 minuut.



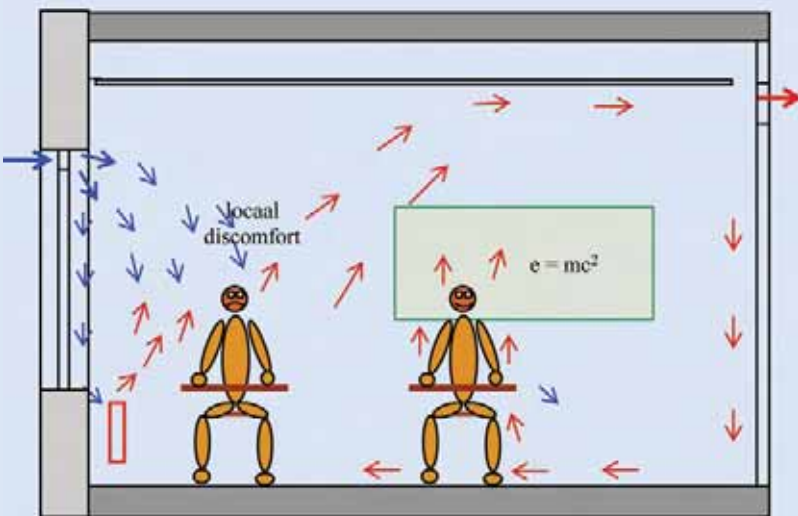
Weergave van enkele fysische principes van tochtpreventie en bevordering van menging van koude en warme luchtstromen, gebruikmakend van een "gebruikelijke" luchttoevoer.

- FIGUUR 2 -



Weergave van de fysische principes en comfortkwaliteiten van het systeem in figuur 2. Tocht wordt voorkomen door het verlaagde plafond. Koude neerwaartse luchtstromen via de luchttoevoer worden voorkomen door een "spoiler" die verbonden is aan de luchtinlaat.

- FIGUUR 3 -



Weergave van lokaal thermisch discomfort door het systeem in Figuur 7b.

- FIGUUR 4 -

RESULTATEN

a. Fysische principes

Wanneer een verlaagd plafond wordt toegepast zijn er andere mogelijkheden om tocht te voorkomen (figuur 2). In een dergelijke situatie wordt de warme lucht van de ruimte en de warmte van het betonnen plafond gebruikt om de toegevoerde koude lucht te verwarmen. Het verlaagde plafond heeft een groot oppervlak, waardoor er meer tijd is voor het mengen van de koude lucht met de warme lucht.

De praktijk laat zien dat veel discussie met architecten nodig is om deze mogelijkheid te integreren in het specifieke ontwerp. Over het algemeen is het noodzakelijk om tochtproblemen zichtbaar te maken voor architecten, zodat het tochtprobleem wordt benadrukt (figuur 4).

b. Architectonisch onderzoek

Een aantal van de meest voorkomende natuurlijke luchttoevoersystemen dat wordt gebruikt door architecten in Nederland is weergegeven in de figuren 5, 6 en 7.

Een voorbeeld hoe architecten deze kennis zouden kunnen integreren in hun ontwerpdetails is weergegeven in figuur 8.

c. Metingen van de luchtstroming en CFD-simulaties

De resultaten zijn ontwerp mogelijkheden voor:

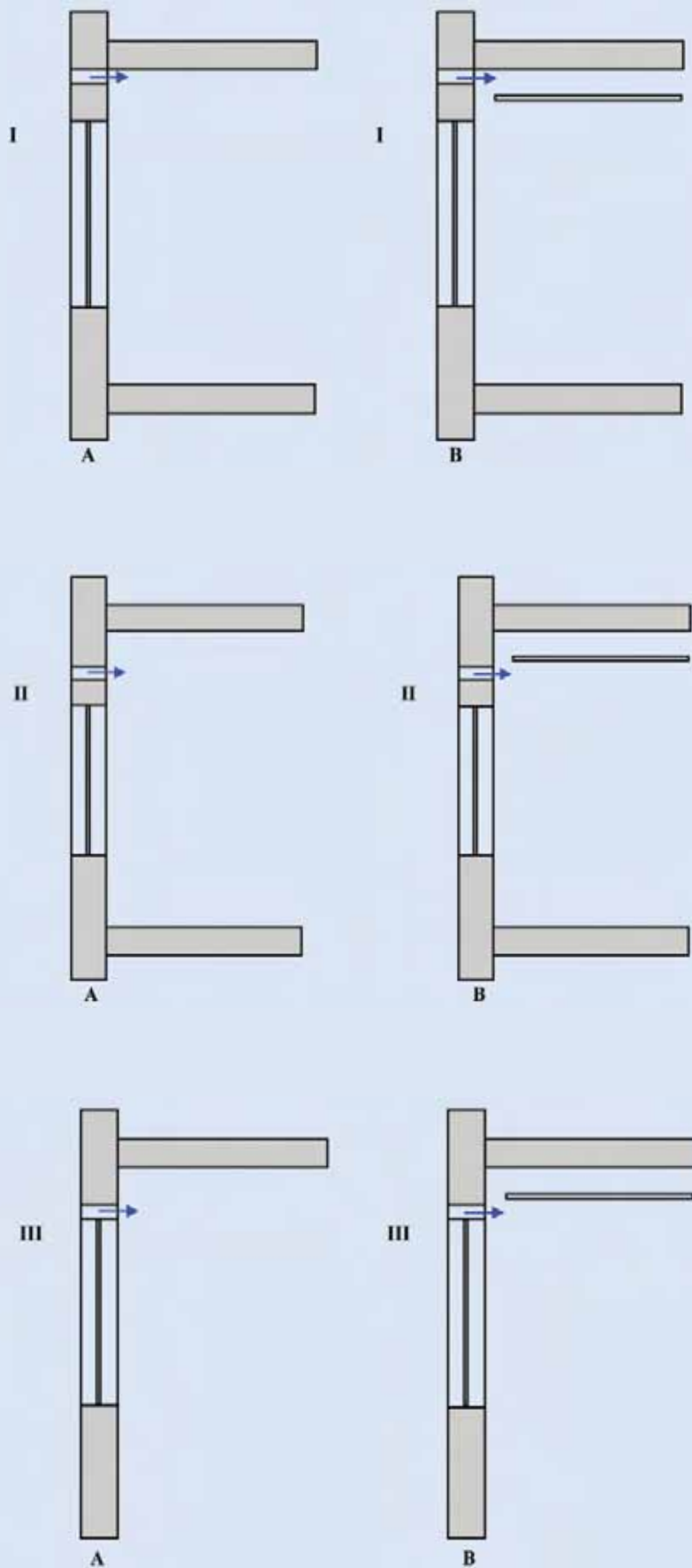
- een zelfregelend natuurlijk luchtafvoersysteem;
- verlaagde plafonds, gerelateerd aan thermische en akoestische parameters;
- betonkernactivering en radiatorenverwarming.

Een voorbeeld van een zelfregelend natuurlijk luchtafvoersysteem

Voor een monumentaal gebouw – de politieacademie in Apeldoorn – is een luchtafvoersysteem getest. In dit geval is een zelfregelend ventilatierooster gecombineerd met een dubbel raamsysteem (figuur 9).

Een aantal voordelen:

- vermindering van de hoeveelheid ventilatiekanalen in het gebouw;
- vermindering van energie die benodigd is voor de ventilatoren;
- voorkoming van koudeval door toe-



Voorbeelden van bouwkundige randvoorwaarden en natuurlijke luchttoevoer waarbij naar een specifieke oplossing moet worden gezocht om tocht te voorkomen. Bij de varianten II en III A en B vraagt dit nog om een aanvullend ontwerp.

- FIGUUR 7 -

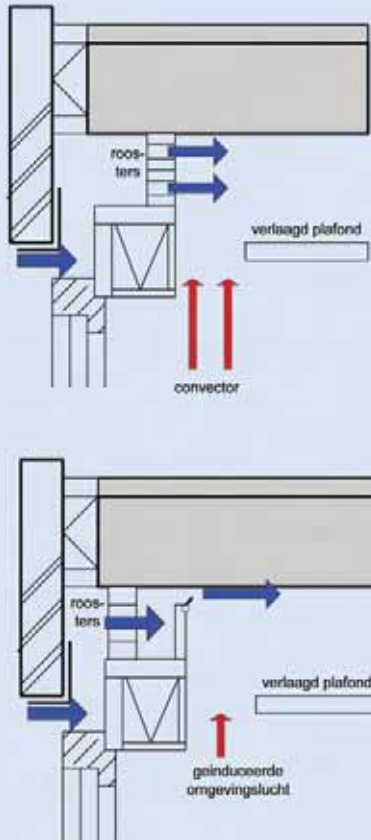
- name van de temperatuur van het glas aan de binnenzijde;
- vermindering van infiltratie van koude buitenlucht.

De CFD-simulaties laten zien dat een hoge positie van de afvoer het meest geschikt is om koudeval te voorkomen: de temperatuur van het raam aan de ruimtezijde stijgt, en de koude lucht die zich tussen de ramen in bevindt kan niet de ruimte instromen.

Het zelfregelende systeem voorkomt dat de wind de luchtstroming te veel beïnvloedt. Daarnaast is het warmteverlies door ventilatie klein wanneer de ventilator voor de luchttoevoer is uitgeschakeld (figuur 10 en tabel 1)

Tabel 1 laat zien dat systeem 1 efficiënter is in vergelijking tot systeem 2. De belangrijkste reden daarvoor is dat het oppervlak van de kleinste opening in systeem 1 groter is dan in systeem 2, en dat de aerodynamische eigenschappen van systeem 1 beter zijn dan die van systeem 2. Zelfs de efficiëntie van systeem 1 kan echter worden verbeterd door scherpe randen van de inlaat en uitlaat en scherpe bochten te voorkomen en door een glad kanaal te creëren zonder verstoringen die wervels kunnen veroorzaken. In dat geval kan een efficiëntie van de luchtstroming van meer dan 83 % worden bereikt [5].

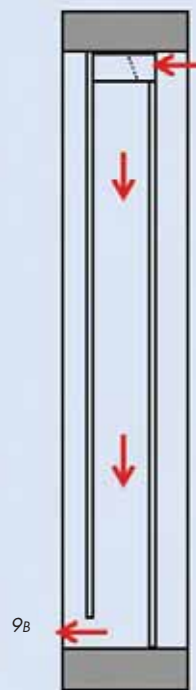
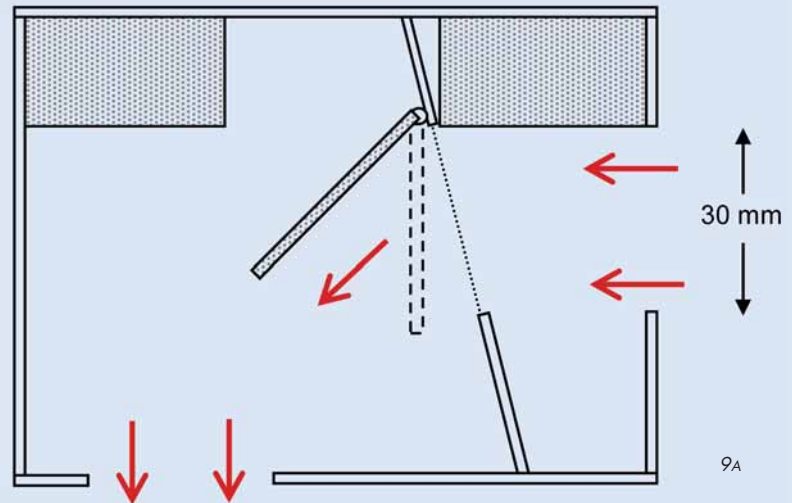
Bij latere validatiemetingen met een druk-volumeopstelling van systeem 1 bleek dat de werkelijke volumestroom 47 % lager is dan gemeten is met de luchtsnelheidsmeter. De vermoedelijke oorzaak van het verschil is contractie van de luchtstroom in de doorstroombopening en de invloed van turbulentie op de meetkop. Dit betekent dat de efficiëntie van de luchtdoorlaat bijna de helft lager is dan in tabel 1 is weergegeven. In het geval van de Politieacademie is vervolgens besloten om niet alle lucht via de ramen, maar ook deels naar de gang en het atrium af te voeren, zoals overigens oorspronkelijk de bedoeling was. Het voorbeeld maakt duidelijk dat wat betreft verbetering van de aerodynamische eigenschappen bij luchtafvoervoorzieningen al gauw veel te winnen valt. Deze trend was jarenlang te zien bij luchttoevoerroosters.



Twee detailleringvoorbeeld van een luchttoevoer. De toegevoerde lucht kan worden getransporteerd door de zone boven een verlaagd plafond (systeem III B, figuur 7).

- FIGUUR 8 -

Als er geen convector onder het ventilatiooster aanwezig is heeft het onderste ontwerpvoorbeeld de voorkeur, omdat hier minder kans aanwezig is dat koude buitenlucht nog langs de gevel naar beneden kan vallen.



Weergave van het principe van een zelfregelende luchtafvoer (systeem 1, tabel 1) en een afbeelding met de afvoer aan de bovenzijde van het raam.

- FIGUUR 9A, 9B, 9C -

Verlaagde plafonds, gerelateerd aan thermische en akoestische parameters

Om de juiste nagalmtijd en een goede spraakverstaanbaarheid te realiseren is het noodzakelijk om 25 % absorptie te creëren op het gehele binnenoppervlak van een klaslokaal. Met betrekking tot de luchtkwaliteit dient de vloer voorzien te zijn van een glad oppervlak en dient een groot gedeelte van de wanden en het plafond beschikbaar te zijn voor toepassing van akoestische materialen. Akoestische elementen kunnen verse lucht verspreiden. Zij dienen het warmtetransport niet te hinderen en het schoonmaken van deze elementen

dient mogelijk te zijn. Op dit moment is er een database van ontwerp mogelijkheden beschikbaar en is er een berekeningsmodel ontwikkeld om de akoestische eigenschappen van een klaslokaal te voorspellen [6].

VLOER- OF RADIATORENVERWARMING EN CFD-SIMULATIES

Figuur 11 laat zien dat het voorkomen van koudeval bij een toepassing van een natuurlijke luchttoevoer veel eenvoudiger is voor radiatorenverwarming dan voor vloerverwarming of beton-

kernactivering. Daarnaast is het bij toepassing van radiatorenverwarming eenvoudiger om de menging van koude en warme lucht boven een verlaagd plafond te bevorderen. Als er geen radiator beschikbaar is, kan verwarming van het plafond – zoals betonkernactivering – ook noodzakelijk zijn. Aan de tegenovergestelde zijde van de gevel bestaat er echter altijd

een risico voor koudeval. Dit kan worden verminderd door – bijvoorbeeld – een luchtdoorlatend plafond te realiseren aan de tegenovergestelde zijde van de gevel.

| | System 1 | | | | System 2 | | | |
|--------------------|--------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------------|--------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|
| | Air velocity (m/s) | Pressure difference (Pa) | Flow (m ³ /h) | Air flow efficiency (-) System | Air velocity (m/s) | Pressure difference (Pa) | Flow (m ³ /h) | Air flow efficiency (-) |
| average | 1,89 | 5,49 | 282 | 62 % | 1,50 | 6,20 | 207 | 47 % |
| standard deviation | 0,13 | 0,73 | 19 | | 0,11 | 0,72 | 15 | |
| maximum | 2,28 | 21,07 | 340 | | 1,86 | 27,91 | 256 | |
| minimum | 0,06 | 2,01 | 9 | | 0,05 | 2,10 | 7 | |

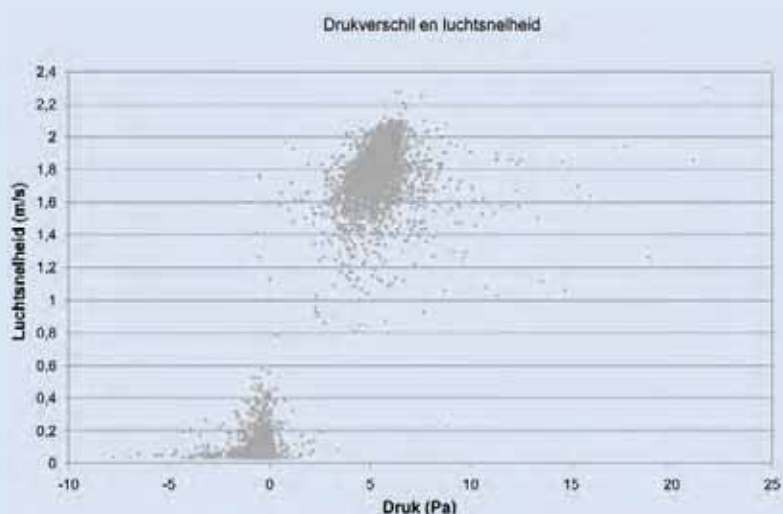
Vergelijking van twee natuurlijke luchtafvoersystemen (1,72 m lang, opening ca. 1,38 m lang) met een terugslagklep gecombineerd met een dubbel raamsysteem. De metingen van systeem 1 en 2 zijn op hetzelfde moment verricht in een ander raam in hetzelfde klaslokaal (Apeldoorn, 17-25 november 2005).

- TABEL 1 -

| | Air flow | Heat recovery | Heating and cooling | Fan energy |
|--------------------|-----------------------------|---|--|------------|
| Natural air supply | Max. 3.5 l/sm ² | Heat pump on air exhaust | Heating and cooling with water | Very low |
| Natural exhaust | 3.5 - 6.3 l/sm ² | Aquifer preheats and cools the supplied air | Heating with water and air, cooling with air | Low |

Vergelijking van natuurlijke luchttoevoer en natuurlijke afvoer.

- TABEL 2 -



Meetresultaten van luchtafvoersysteem 1.

- FIGUUR 10 -

DISCUSSIE


Wanneer natuurlijke luchttoevoer- en afvoersystemen worden vergeleken, hebben beide systemen verschillende mogelijkheden en kunnen beide systemen energie-efficiënt zijn. In tabel 2 is een aantal karakteristieken van beide systemen vergeleken.

Tabel 2 laat zien dat met een systeem van natuurlijke afvoer grotere luchtvo-

lumentromen kunnen worden toegevoerd dan met een systeem van natuurlijke luchttoevoer zonder dat er een tocht risico ontstaat. Dit is mogelijk door gebruik te maken van het juiste luchttoevoersysteem en door daarnaast gebruik te maken van de gang als afvoer.

Als natuurlijk toegevoerde lucht wordt voorverwarmd kunnen grotere luchtvo-
lumentromen mogelijk zijn, maar

dit is tot nu toe niet getest.

1. Voor architecten en andere ontwerpers is het erg belangrijk om over een beknopte database van afbeeldingen en kennis te beschikken, om inzicht te verschaffen in comfortproblemen en mogelijke oplossingen.
2. Een integrale benadering van alle belangrijke fysische parameters "binnen" is zelfs voor veel voorkomende ontwerpproblemen noodzakelijk. 

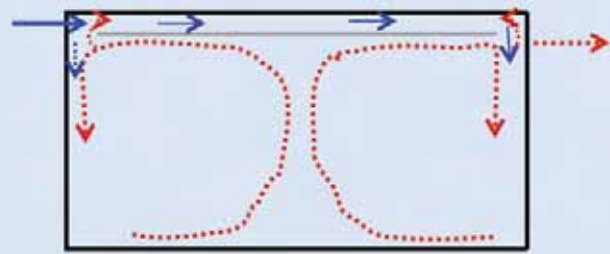
DANKBETUIGING

De auteur wil graag Theo Peters en Linda van Helvoort-Mascini bedanken voor hun hulp bij de metingen en de dataverwerking. Daarnaast wil hij graag de bedrijven Trox en Buva bedanken voor het ontwikkelen van natuurlijke afvoerprototypes.

REFERENTIES

1. Engel, P.J.W. van den. *Inducing vents and their effect on air flow patterns, thermal comfort and air quality*. 1995. Indoor air, An Integrated Approach. International workshop Australia. Handbook Elsevier Science (edited by L. Morawska, N.D. Bofinger and M. Maroni), pp 277-280.

2. Engel, P.J.W. van den. *Inducing air via the façade for better comfort*. 1993. Proceedings of the 6th International Conference on Indoor Air Quality and Climate - Indoor Air '93, Vol 5, pp 163-168.
3. Engel, P.J.W. van den, Zoon W.A.C. *Opportunities of hybrid ventilation in existing buildings*. Proceedings of the 21th Conference of Passive and Low Energy Architecture (PLEA 2004), pp 355-358 .
4. Engel, P.J.W. van den. 2005. *Healthy climate in schools due to Ventilation and slab heating*. Proceedings of Clima 2005, Lausanne.
5. Engel, P.J.W. van den. *Development of a floor ventilation channel* (research report Ubbink, the Netherlands). 1996.
6. Linde, J. van der. Engel, P. van den. Nijs, L. *Speech intelligibility in classrooms with concrete core activation* ("Sprakverstaanbaarheid in klaslokalen met betonkernactivering"). TVVL Magazine 2006-6



Vloerverwarming

- FIGUUR 11 A -



Radiatorverwarming

- FIGUUR 11 B -

GRADA International - Toekomstlaan 18 - 9160 Lokeren - België

GRADA INTERNATIONAL
FLEXIBILITY MEETS QUALITY

Grada International,
een Belgische producent en adviseur in luchtverdeeltechniek
met meer dan 45 jaar ervaring,
is sinds september 2007 ook in Nederland actief.

Onze kernpunten:

- Tien werkdagen levertermijn (af fabriek) voor projecten.
- Technisch hoogwaardig aan een uiterst concurrentiële prijs.
 - Een ijzersterk team met eigen fabriek in België.
 - EFD simulatie-pakket voor adviseurs en installateurs.
 - Voorraadhouder handelsonderneming Spirair te Nijkerk.

Kortom
Flexibility meets Quality
niet zomaar een slogan!

Wegens succes zoeken we
een dynamische medewerker binnendienst die snakt
naar uitdaging en resultaten. (regio Randstad)

- Je staat in voor het dagelijks beheer van de bestellingen en de contracten.
- Je behandelt de aanvragen van de klanten, analyseert hun behoeften en maakt offertes op.
- Door je klantgerichte en proactieve aanpak, optimaliseer je de relaties met onze klanten.

We zoeken een "doener" met een creatief denkvermogen en technisch inzicht! Een nuchtere en zelfstandige geest die snel geleerde zaken toepast in nieuwe situaties.

Snak jij naar uitdaging?

Aarzel niet en stuur je CV en motivatie door naar Bas Van Tooren.

06 15 87 42 24 – bas.van.tooren@grada.be

Meer informatie over deze functie vind je op www.grada.com

