

WARMTETERUGWINNING MET EEN HYBRIDE VENTILATIE SYSTEEM IN KANTOORGEBOUWEN



ir. R.D. (Reinier) Scholten,
moBius consult



dr.ir. P.J.W. (Peter) van
den Engel, TU Delft/
Deerns Nederland



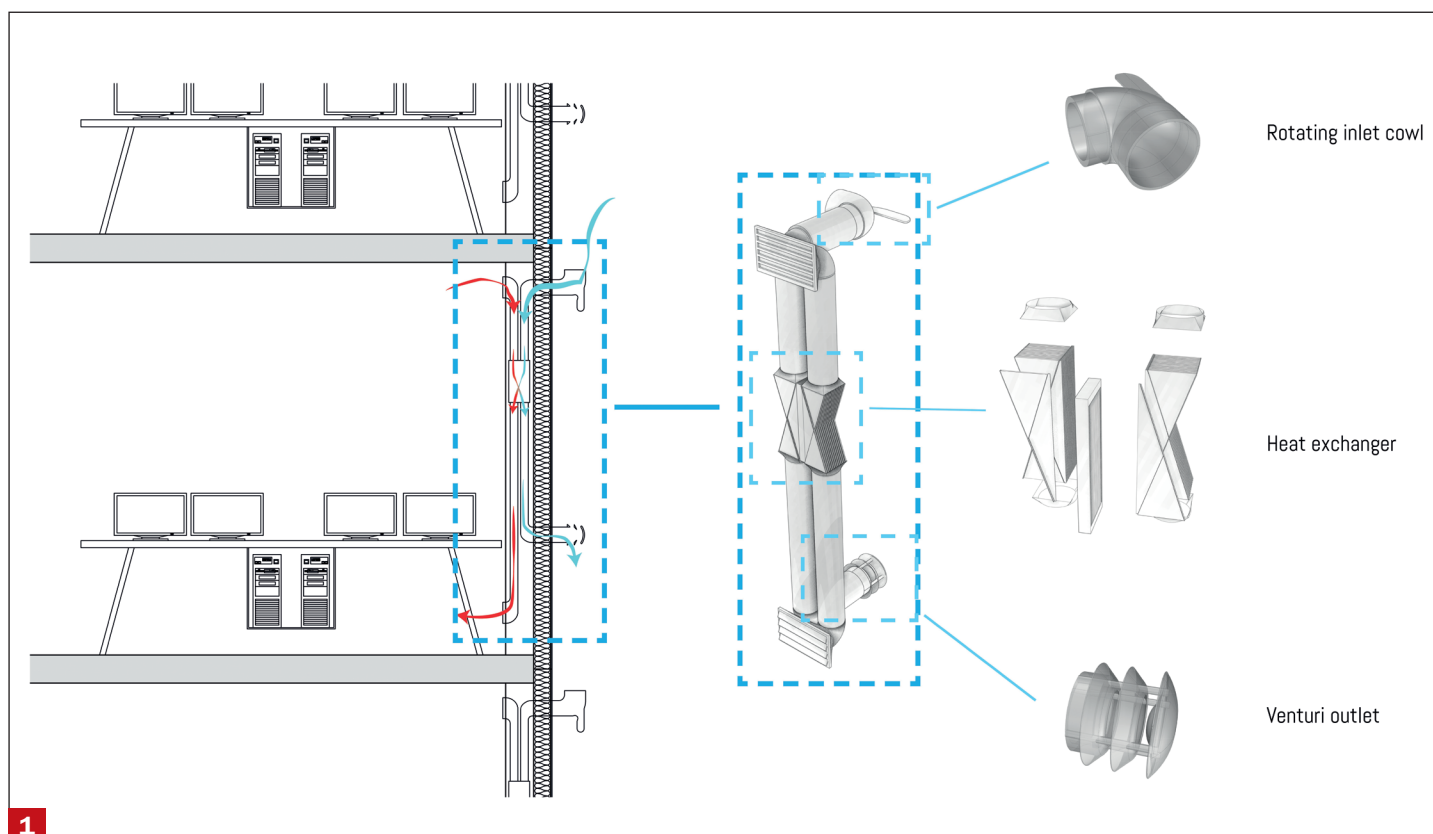
dr.-Ing. T. (Tillmann)
Klein, TU Delft

Dit artikel beschrijft een afstudeeronderzoek aan de TU Delft (faculteit Bouwkunde, afdeling Building Technology) waarbinnen een hybride ventilatiesysteem is ontwikkeld. Op basis van CFD-simulaties is een ontwerp gemaakt voor dit nieuwe systeem. Het ontwerp bestaat uit een smalle box die aan de binnenzijde of in de gevel geplaatst kan worden. De box heeft een toe- en een afvoerap op de gevel. De drijvende kracht voor het systeem is voor 60% van de tijd de wind langs de gevel. Het ontwerp is op schaal gerealiseerd en getest in een windtunnel. Het ontworpen model heeft een capaciteit van 50 m³/h en een rendement van 85%.

DOEL VAN HET ONDERZOEK

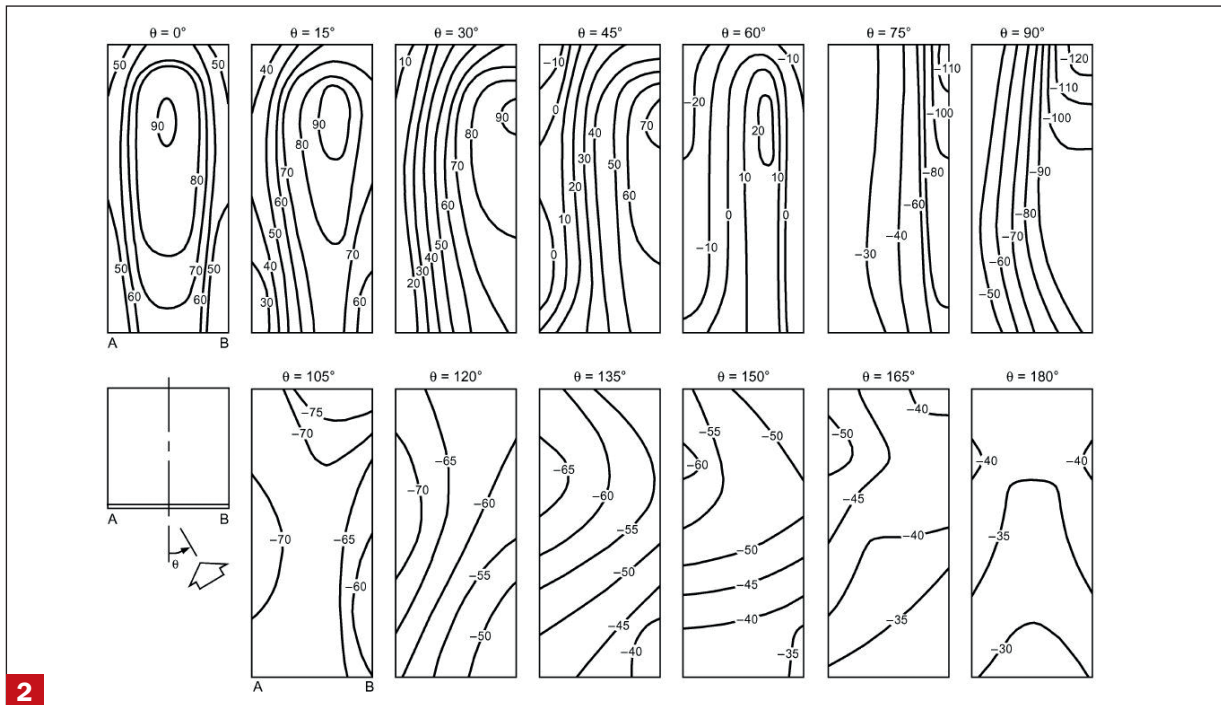
Het doel van het onderzoek is het reduceren van het energieverbruik in kantoren. Nu wordt in kantoren vaak één centraal mechanisch ventilatiesysteem toegepast, meestal met warmteterugwinning. Vooral in oudere kantoren staat gedurende de gebruikstijd van het gebouw dit systeem altijd aan om het gehele gebouw te ventileren. Een mogelijkheid om hier energie op te besparen is het gebruik van decentrale ventilatiesystemen die alleen worden aangezet

voor dat deel van het gebouw dat in gebruik (verhuurd) is. Deze decentrale systemen verbruiken echter nog veel ventilatorenergie [1]. Bij toepassing van natuurlijke ventilatie wordt veel minder ventilatorenergie gebruikt. Warmteterugwinning is dan echter vaak niet mogelijk. Dit afstudeeronderzoek heeft als doel om een ontwerp te maken voor een decentraal hybride systeem om de voordelen van natuurlijke ventilatie en decentrale mechanische ventilatiesystemen te combineren.



1

Het nieuwe decentrale hybride ventilatiesysteem



2

Cp waarden op de gevel zoals aangegeven in ASHRAE [3]

ONTWERPBESCHRIJVING

Het ontwerp van het decentrale ventilatiesysteem bestaat uit een aantal elementen, figuur 1. De toevoerkap op de gevel, een uitlaat op de gevel en de box met de warmtewisselaar en ventilatieroosters. De toevoerkap en de uitlaat worden beide op de gevel geplaatst. De toevoerkap bestaat uit een roterende kap welke door middel van een windvaan altijd met de opening in de wind gedraaid staat. Hierdoor wordt de wind het systeem in geblazen. Voordat de lucht de kantoorruimte wordt ingeblazen gaat het langs een FiwiHex warmtewisselaar. De warmtewisselaar met een rendement van ongeveer 85%, warmt de lucht op door middel van de retourlucht uit dezelfde kantoorruimte. De afzuiging van de binnenlucht vindt plaats middels een venturikap die ook op de gevel van de kantoorruimte is geplaatst. Deze kap zuigt door middel van een onderdruk de lucht uit de kantoorruimte en voert deze af naar buiten. Deze lucht zal eerst langs de warmtewisselaar gaan om zijn warmte af te geven aan de toevoerlucht. Het systeem met de ventilatieroosters en de warmtewisselaar zit in een smalle box die door zijn geringe dikte van ongeveer 0,20 m zeer eenvoudig aan de binnenzijde van de gevel kan worden geplaatst of geïntegreerd kan worden in een nieuw gevelpaneel.

In het afstudeeronderzoek is een dergelijk systeem ontworpen, gerealiseerd en getest. Hierbij is er eerst gekeken naar de mogelijke drijvende krachten. Aan de hand daarvan zijn handberekeningen en CFD-simulaties uitgevoerd en vergeleken met de literatuur. Met behulp van de resultaten is uiteindelijk een nieuw ventilatiesysteem ontworpen en getest.

DRIJVENDE KRACHTEN

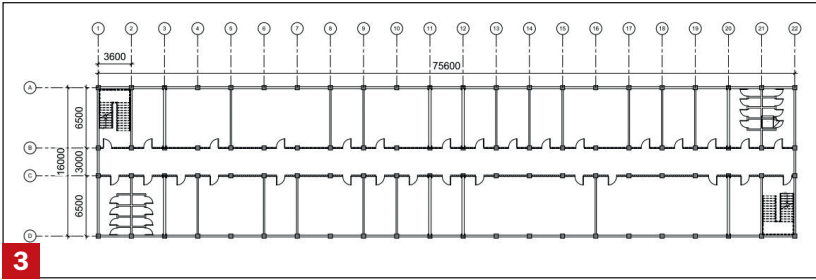
Het drukverschil in natuurlijke ventilatiesystemen tussen de in- en de uitlaat kan door verschillende factoren tot stand komen, formule (1).

$$\Delta p_{\text{totaal}} = \Delta p_{cp} + \Delta p_{\text{wind}} + \Delta p_{\text{temp}} \quad (1)$$

Hierbij zijn Δp_{cp} en Δp_{wind} externe factoren en de Δp_{temp} is een interne factor in het kantoor. Er is onderscheid gemaakt tussen de externe factoren Δp_{cp} , op grote schaal (omgevingsfactoren), en Δp_{wind} , die voornamelijk ter plaatse van de inlaat en uitlaat gelden ten behoeve van het beperken van de rekentijd. Op grote schaal worden eerst invloeden van de vorm van het gebouw op de windrichting bekeken en daarna op kleinere schaal de invloed van bijvoorbeeld het gevelreliëf op de windsnelheden ter plaatse van de inlaat en uitlaat.

De eerste factor is de winddruk op de gevel als gevolg van de dynamische wind belasting (Δp_{cp}). Deze winddrukcoëfficiënt is bekend als de Cp waarde en is afhankelijk van verschillende factoren zoals windrichting, geometrie en de omgeving [2]. De waarde is afhankelijk van de richting van de wind en varieert per locatie op de gevel zoals is te zien in figuur 2. Bij een decentraal natuurlijk ventilatie systeem zitten de inlaat en de uitlaat echter dicht bij elkaar, zodat in de praktijk deze verschillen zeer klein zijn.

De tweede factor is het drukverschil dat een gevolg is van wind parallel langs de gevel (Δp_{wind}). Onderzoek wijst uit dat vlak bij de gevel altijd een luchtstroom is die zich parallel aan de gevel bevindt ten gevolge van het afbuigen van de wind [4]. Die wind kan met behulp van kappen op de in- en uitlaat als drijvende kracht worden gebruikt om drukverschil te creëren. Onderzoek wijst uit dat de gemiddelde windsnelheden aan de gevel ongeveer 40% zijn van de windsnelheid in het open veld [5]. Dit betekent dat de gemiddelde windsnelheid langs de gevel 2,4 m/s is bij een windsnelheid in het open veld van 6 m/s. Dit komt ongeveer 70% van de tijd voor. Deze snelheid is als richtlijn gebruikt voor de simulaties en gebruikt om de simulaties te vergelijken met de literatuur.



Plattegrond van onderzocht kantoorgebouw

De laatste factor is het drukverschil als gevolg van interne temperatuurverschillen (Δp_{temp}) in het kantoor. Dit temperatuurverschil is het verschil tussen de temperatuur ter hoogte van de inlaat en die van de uitlaat van het ventilatiesysteem in het kantoor. Deze waarde is als constante aangenomen om praktische redenen. De complexiteit van de simulaties nemen onevenredig toe als dit aspect ook mee zou worden genomen. Er is aangenomen dat de lucht met 18°C zal worden ingeblazen en de lucht ter plaatse van het afzuigrooster 22°C is. Bij een temperatuurverschil van 4°C zal een drukverschil van 0,4 Pa ontstaan bij een hoogteverschil van 2 m.

DRUKWEERSTAND

Om de ventilatiecapaciteit te behalen moet eerst de drukweerstand van het ventilatie systeem worden overwon-

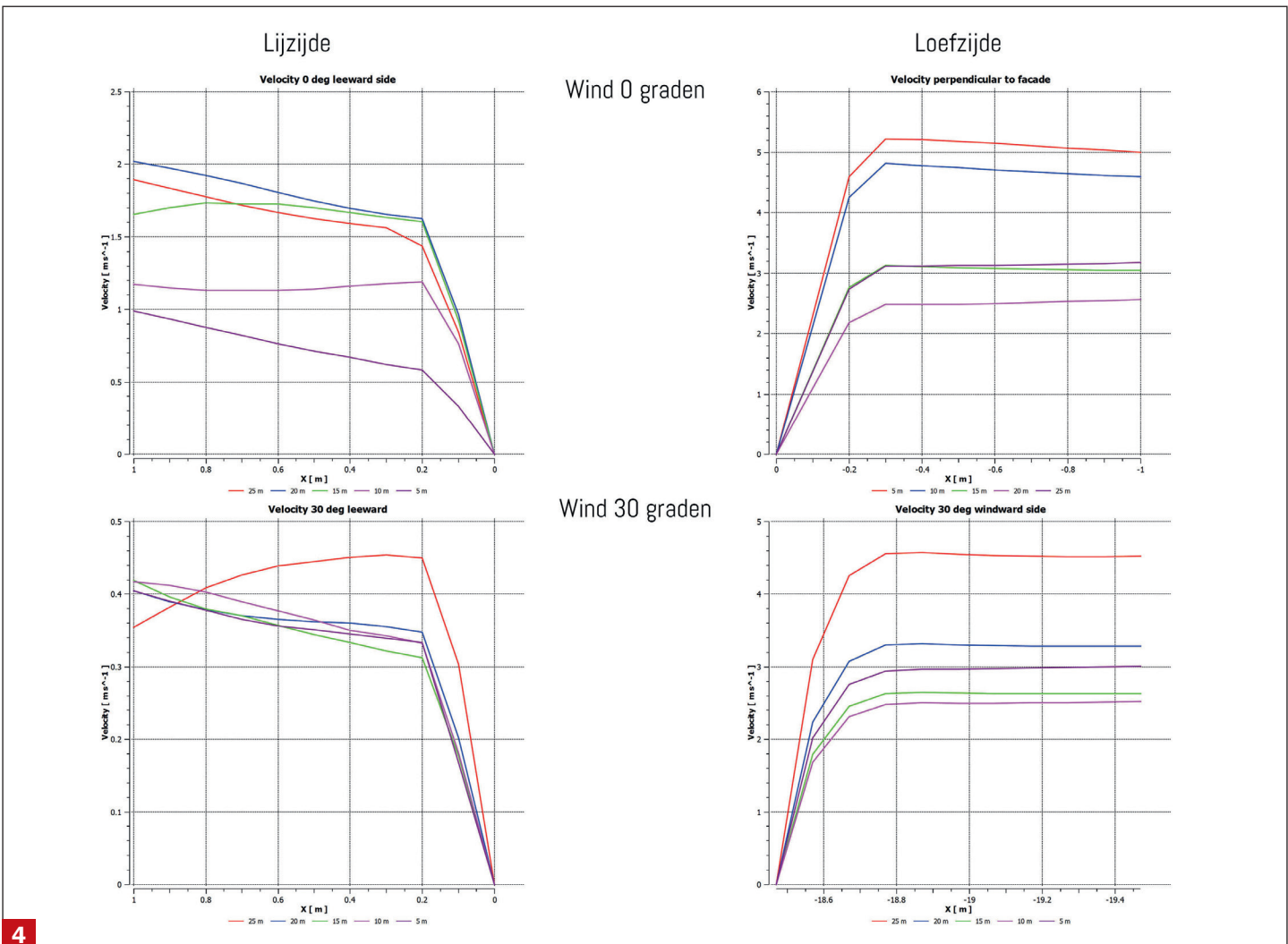
nen. De windsnelheid die minimaal nodig is voor de werking van het ventilatiesysteem is afhankelijk van de drukweerstand van het systeem en kan worden berekend met de D’Arcy-Weisbachformule [6]. Deze formule, formule (2), maakt gebruik van een dimensieloos wrijvingsgetal (λ) en de representatieve lengte van het totale systeem (l_{rep}). Hierbij worden alle elementen in het systeem, zoals bijvoorbeeld bochten, uitgedrukt in een representatieve rechte buis met een gelijke weerstand. Voor dit wrijvingsgetal is uitgegaan van een turbulente stroming.

$$\Delta p = \lambda * \frac{l_{rep}}{d} * \frac{\rho}{2} * v^2 \tag{2}$$

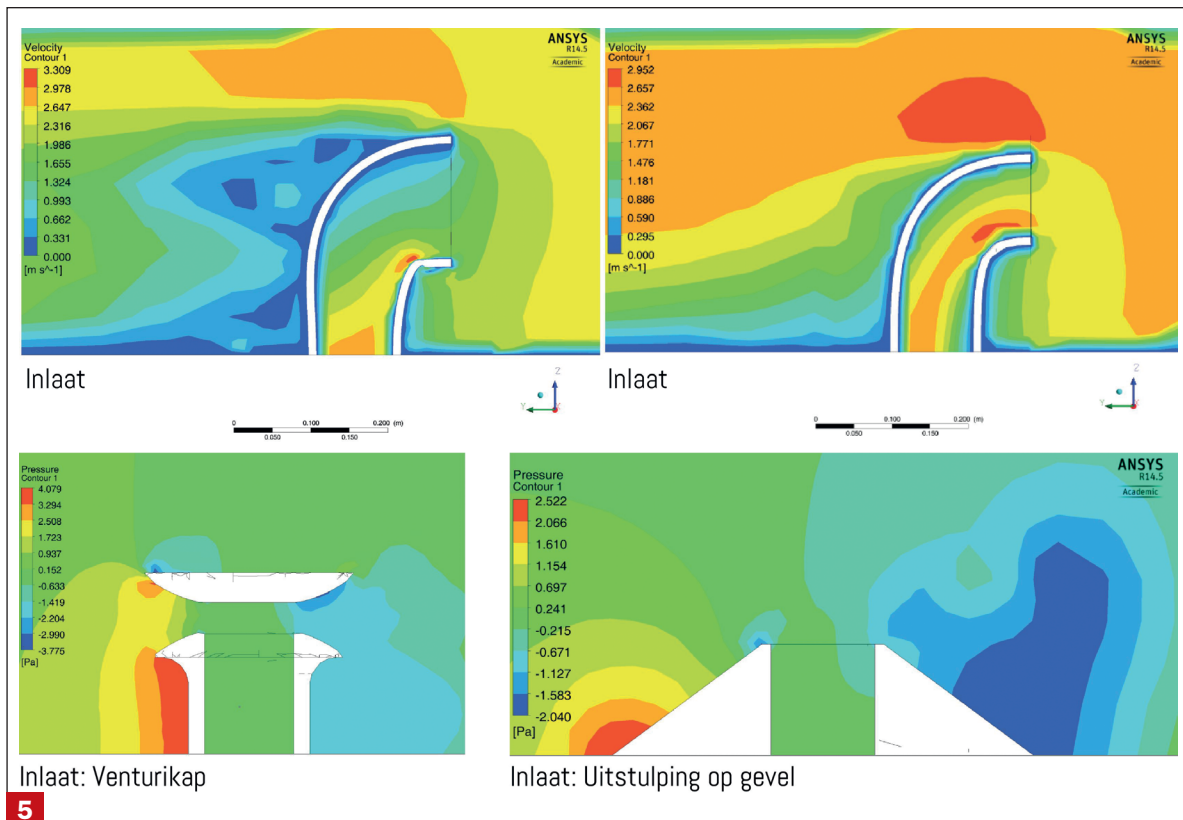
Met behulp van deze formule is de totale drukweerstand van het systeem 3,71 Pa. De minimale luchtsnelheid die benodigd is om deze druk te realiseren is 2,47 m/s.

CFD-SIMULATIES WIND RONDOM HET GEBOUW

De windsnelheid rondom een gebouw hangt af van de vorm van het gebouw en de windrichting. In het gebied direct aan de gevel zijn er variaties. Om de exacte windsnelheid rondom het gebouw aan de gevel te bepalen zijn CFD-simulaties uitgevoerd. Voor de simulatie is het CFD-pakket AnsysFluent gebruikt met een laminair rekenmodel. Uit onderzoek is gebleken dat kantoorpanden uit de jaren ‘70 het grootste percentage hebben van de leegstaande kantoorgebouwoorraad [7]. Er is daarom uitge-



Windsnelheden in de eerste meter van de gevel



5 Snelheden in de inlaat (boven) en de drukverschillen bij de venturikap (linksonder) en de uitstulping (rechtsonder)

gaan van een typologisch kantoorgebouw met afmetingen van 75 m lang, 16 m breed en 30 m hoog, zie figuur 3 [8].

In het programma is dit gebouw in een open omgeving geplaatst en in hoeken van 0°, 30°, 60° en 90° in de wind gezet. De meetpunten zijn geplaatst in het midden van het gebouw omdat hier aan zowel de loef- als lijzijde de laagste snelheden waren. Op de hoeken van het gebouw zullen de windsnelheden hoger zijn en door turbulentie van richting kunnen verschillen. Hier is bij het ontwerp van de inlaat en de uitlaat van het ventilatiesysteem rekening mee gehouden door gebruik te maken van een draaikap en een venturikap. Deze systemen hebben geen preferente richting bij windrichtingen parallel aan de gevel.

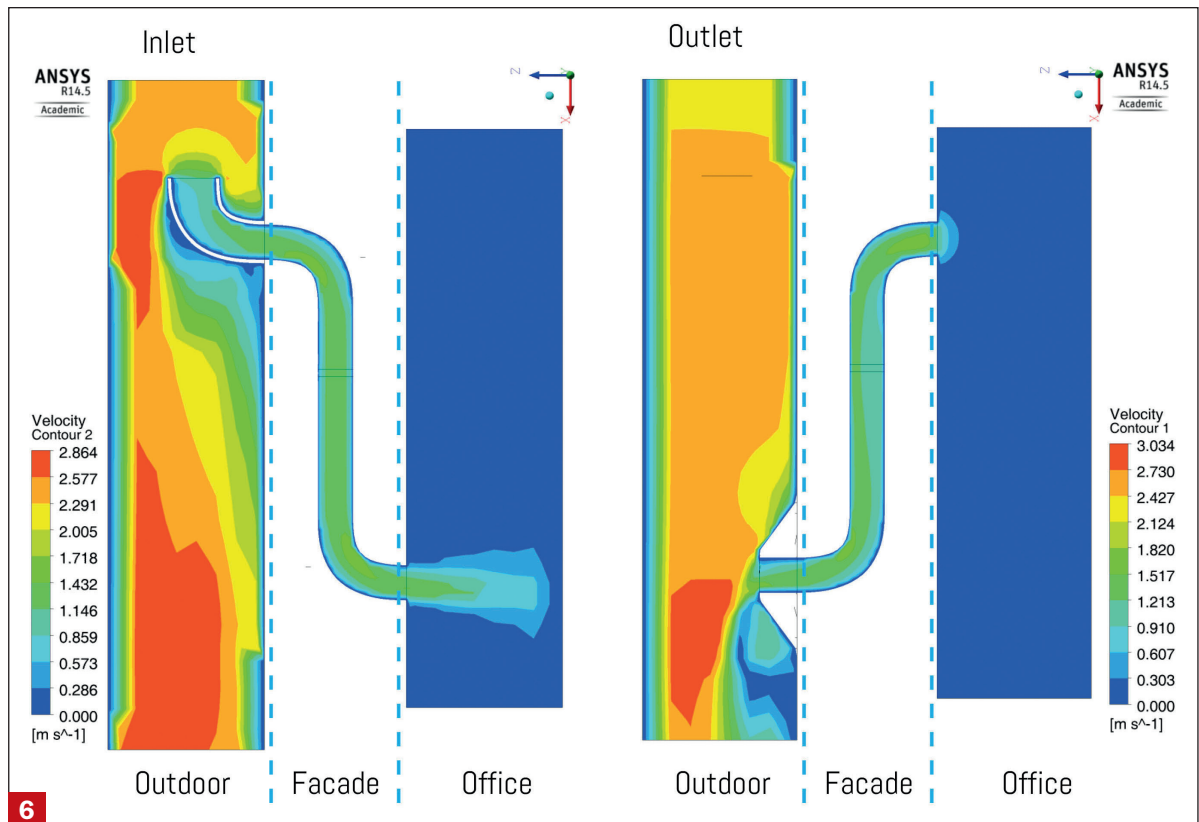
De windsnelheden in de eerste meter van de gevel zijn bepaald op vijf lijnen loodrecht op de gevel op 5 m, 10 m, 15 m, 20 m en 25 m hoogte. De resultaten laten zien dat aan de lijzijde van het gebouw de windsnelheid zeer laag is op het moment dat de wind onder een hoek van 0° de gevel raakt, figuur 4. De snelheden worden hoger naarmate de hoek van de wind groter wordt.

In de grafieken is te zien dat de windsnelheden aan de lijzijde niet de benodigde snelheid van 2,47 m/s halen. Op basis van deze simulaties is geconcludeerd dat een volledig natuurlijk systeem niet altijd voldoende ventilatie kan waarborgen. Daarom zal bij de inlaat en uitlaat een mechanische back-up ventilator geplaatst moeten worden. Het systeem is dan niet meer geheel natuurlijk en wordt een hybride ventilatiesysteem. De weerstand van de toe te voegen ventilator is niet meegenomen in verband met het doel van het onderzoek om te kijken naar de mogelijkheden van een natuurlijk decentraal ventilatiesysteem.

CFD-SIMULATIES BIJ GEVEL

Het ventilatiesysteem heeft aan de gevel zowel een inlaat als een uitlaat nodig. Bij de uitlaat en de inlaat moet er voor gezorgd worden dat er lucht zowel in als uit het systeem wordt geleid. Voor de inlaat zal de wind die langs de gevel gaat, door middel van een kap het ventilatiesysteem in worden geleid. Om dit mogelijk te maken wordt er gebruik gemaakt van een draaikap. De draaikap staat altijd tegen de windrichting zodat de opening naar de windrichting toe staat. De weerstand en bijvoorbeeld de benodigde luchtsnelheid voor het roteren van de kap zijn niet meegenomen in dit onderzoek en zijn in de aanbevelingen meegenomen om dit bij de productontwikkeling verder uit te zoeken. Hierdoor wordt de luchtstroom in het systeem geleid. Om de draaikap te dimensioneren is met diverse verhoudingen de diameter van het ventilatiesysteem (110 mm) en de grootte van de opening gesimuleerd. Voor de uitlaat op de gevel zijn eveneens een aantal varianten gemaakt. Deze varianten bestaan uit een venturikap met verschillende diameters en configuraties, een uitstulping van de gevel en varianten op een open pijp.

Uit de simulaties van de uitlaat blijkt dat het venturisyysteem en de uitstulping op de gevel niet significant van elkaar verschillen, figuur 5. Voor het definitieve ontwerp is gekozen voor de venturikap. Een venturisyysteem heeft namelijk als voordeel dat het bescherming biedt tegen wind die nog loodrecht op de gevel staat voordat hij door de gevel wordt afgebogen. Bij de uitstulping zou de wind dan direct in de uitlaat van het systeem blazen en het ventilatiesysteem ontregelen. Vanwege de complexiteit van de venturikap en de extra rekentijd die dit met zich meebrengt, is er in de vervolg simulaties voor de uitstulping op de gevel gekozen.



6 CFD-simulaties in Ansys-Fluent

CFD-SIMULATIE VOLLEDIG SYSTEEM

Na de definitieve keuze van de gevel-kappen is het volledige ventilatiesysteem gesimuleerd. Voor de simulaties is uitgegaan van een kantoor met een diepte van 6,5 m en een breedte van 3,6 m. In het kantoor zijn werkplekken geschikt voor 4 mensen inclusief apparatuur. De minimum ventilatie-eis is 100 m³ verse lucht per uur indien de vuistregel van 25 m³/h per persoon wordt aangehouden. Voor de snelheid van de wind is 6 m/s in het vrije veld aangehouden welke vergelijkbaar is met een windkracht 4.

De windsnelheid langs de gevel is in de simulatie 2,4 m/s op 0,2 m afstand van de gevel. Bij deze simulatie is gebruik gemaakt van een k-epsilon rekenmethode. In de simulatie is een gemiddelde windsnelheid in het systeem van 1,5 m/s gerealiseerd, figuur 6, bij een afgesloten binnenruimte. Bij een diameter van 110 mm van de interne kanalen zal er dan een debiet van 50 m³/h behaald worden welke door Ansys is bepaald aan de hand van de snelheid over de hele diameter. Bij deze condities moet er dus gebruik worden gemaakt van twee decentrale ventilatiesystemen per kantoor om de gestelde eis van 100 m³/h bij een bezetting van 4 personen per kantoor van 23,6 m².

WARMTEWISSELAAR

Er is onderzocht hoe warmteterugwinning bij dit systeem kan worden toegepast. Hiervoor zijn verschillende systemen geanalyseerd. Er is gekeken naar enthalpie-, platen- en kruisstroomwarmtewisselaars. De systemen zijn getoetst aan de randvoorwaarden. Dit zijn met name het formaat en de drukweerstand. Door de afmetingen van 0,25 m breed, 0,40 m hoog en 0,15 m dik, en de lage drukweerstand van 4 Pa bij 100 m³/h, is gekozen om de FiwiHex-warmtewisselaar toe te passen [9]. Deze warmte-

wisselaar gebruikt matjes van koperdraad in de warmtewisselaar om het transmissieoppervlak zo groot mogelijk te maken. De weerstand van het WTW systeem is in de CFD simulaties gemodelleerd door een element in het kanaal te plaatsen met een vergelijkbare weerstand als die van het WTW systeem.

PROTOTYPE

Om de gegevens van de simulaties te valideren is het ventilatiesysteem in een schaal van 1 op 1 nagebouwd. Dit model is in een windtunnel en in het laboratorium van DPA Cauberg-Huygen in Zwolle getest. Om het systeem in de windtunnel toe te kunnen passen zijn de inlaat en de uitlaat van het ventilatiesysteem naast elkaar in de tunnel geplaatst. Het kantoor is met een simpele U-bocht gesimuleerd, zie figuur 7 en 8. Er is gekozen om een zuigende ventilator te gebruiken om een gelijke laminaire luchtstroom over de gehele doorsnede van de windtunnel te genereren. Deze luchtstroom is ter plaatse van de inlaat van de windtunnel gemeten en het toerental van de ventilator is aangepast om dezelfde luchtsnelheid te verkrijgen als in de CFD-simulaties.

Om de meetafwijkingen als gevolg van drukverliezen te minimaliseren zijn er op meerdere plekken in de kanalen metingen gedaan. Het systeem is met twee verschillende windsnelheden langs de gevel getest en vergeleken met de CFD-simulaties. Uit deze vergelijking tussen de meetwaarden en de CFD simulaties blijkt dat de waarden in de CFD-simulaties 20% hoger zijn dan de waarden uit de praktijktest. Mogelijk wordt dit veroorzaakt doordat de testopstelling gebruikt maakt van PVC-elementen voor de kanalen. De variabele interne diameter en de scherpe bochten van deze PVC-elementen kunnen meer turbulentie veroorzaken wat tot grotere drukweerstand leidt. Des-

alnettemin is de overeenkomst tussen de simulatie en de praktijk zeer goed.

In verband met de complexiteit van het ANSYS-model is er vanuit gegaan dat de ruimte luchtdicht is uitgevoerd. Hierdoor is zowel in het rekenmodel als in de testopstelling uitgegaan van een 'directe' verbinding tussen de toegen afvoer.

CONCLUSIE EN AANBEVELINGEN

Centrale hybride ventilatiesystemen kunnen worden toegepast om mechanische ventilatie systemen te vervangen. Omdat het aandeel van de ventilatoren van mechanische systemen 11% van het totale energieverbruik van een gebouw kan zijn, is het ontworpen hybride systeem een goed alternatief. Door de beperkte afmetingen van de box met de WTW is het systeem eenvoudig te plaatsen op bestaande gevels of te integreren in nieuwe gevelelementen.

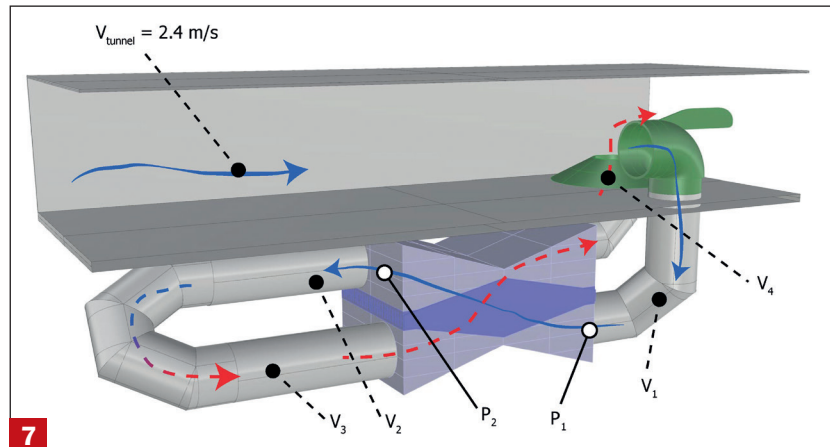
De volgende aspecten moeten nog nader worden onderzocht:

- De exacte windsnelheid langs de gevel van een gebouw. In dit onderzoek is ervan uitgegaan dat het gebouw een gladde gevel heeft. Maar wat gebeurt er met de windsnelheid op het moment dat er bijvoorbeeld ruwe gevelelementen of verschillende dieptes in de gevel worden gebruikt?
- De inlaat en uitlaat op de gevel. Op dit moment zijn het nog simpele uitstekende elementen op de gevel. Nagaan moet worden hoe deze beter in de gevel kunnen worden geïntegreerd.
- De aanpassingsmogelijkheden van het systeem gedurende de zomermaanden. Een bypass-systeem om de warmtewisselaar heen en mogelijkheden voor dwars- en nachtventilatie zijn opties. ■

BRONNEN

- ▶ [1] Pérez-Lombard, L., Ortiz, J. & Pout, C., *A review on buildings energy consumption information*. Energy and buildings, 40(3), pp 394-398, 2008
- ▶ [2] Bronsema, B., *Earth, wind & fire: Natuurlijke air-conditioning*, Promotieonderzoek, TU Delft, 2013
- ▶ [3] ASHRAE, (2005), *Airflow around buildings*, ASHRAE Handbook: Fundamentals
- ▶ [4] Jensen True, J. P., (2003), *Openings in wind driven natural ventilation*, (PhD), Aalborg University, Aalborg
- ▶ [5] Stathopoulos, T. & Baskaran, B.A., *Computer simulation of wind environmental conditions around buildings*, Engineering Structures, 18(11), pp 876-885, 1996

- ▶ [6] Recknagel, H., Sprenger, E. & Schramek, E., *Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik; einschließlich Warmwasser- und Kältetechnik*, Oldenbourg, Munchen, 1995
- ▶ [7] Bak, R.L., *Kantoren in Cijfers 2013, Statistiek van de Nederlandse kantorenmarkt*, NVM Business, Zeist, 2013
- ▶ [8] van Meijel, L. & Bouma, T., *Kantoorgebouwen in Nederland 1945-2015, Cultuurhistorische en typologische quickscan*, Rijksdienst voor het cultureel erfgoed, Amersfoort, 2013
- ▶ [9] Vision4Energy, *Fiwihex*, bekeken op 11 september 2014, <http://www.vision4energy.com/>



7 Meetpunten van de test setup



8 Testopstelling

BIJNA JE SCRIPTIE AFGEROND?

Schrijf een artikel in Bouwfysica

redactie@nvbv.org

