

Warmteterugwinning met hybride ventilatiesysteem

Dit artikel beschrijft een afstudeeronderzoek aan de TU Delft naar de mogelijkheden om de energiekosten van een kantoorgebouw uit de jaren zeventig terug te dringen. Hierbij is onderzocht of een decentraal mechanisch ventilatie systeem vervangen kan worden door een decentraal natuurlijk ventilatie systeem inclusief warmteterugwinning. Op basis van CFD-simulaties is een ontwerp gemaakt voor dit nieuwe systeem. Het ontwerp is gerealiseerd en getest in een windtunnel. Het ontworpen model heeft een capaciteit van 50 m³/h en een warmteterugwinrendement van 85%.

Ir. R.D. (Reinier) Scholten, moBius consult bv; dr.ir. P.J.W. (Peter) van den Engel, TU Delft/Deerns Nederland b.v.; dr.ing. T. (Tillmann) Klein, TU Delft

In veel kantoren wordt op dit moment gebruik gemaakt van één enkel systeem voor zowel verwarming, koeling als ventilatie (HVAC). Deze HVAC-systemen zijn verantwoordelijk voor 52% van het energiegebruik van een kantoorgebouw [1] en zijn veelal gebaseerd op het 'One size fits all' principe. Er is dus één systeem voor het gehele gebouw. Voor de gebruikers van het gebouw zijn dan vaak alleen de kleding en het gedrag een mogelijkheid om persoonlijke aanpassingen doen aan het comfort [2]. Deze systemen voldoen niet altijd aan de hedendaagse comforteisen en gebruiken veel energie. Bij het renoveren of upgraden van deze gebouwen worden veel alternatieven onderzocht. Een decentraal mechanisch

ventilatiesysteem kan een goed alternatief zijn om zowel het comfort als het energiegebruik te verbeteren. Deze systemen gebruiken echter nog steeds veel ventilatorenergie [1]. Een natuurlijk ventilatiesysteem zou hiervoor een goed alternatief zijn. Een natuurlijk ventilatiesysteem heeft als een van de voordelen dat de natuur de drijvende kracht voor de ventilatie is, waardoor energie kan worden bespaard. De gebruikers van gebouwen met een natuurlijk ventilatiesysteem hebben een grotere acceptatiegrens [3]. Zo worden bij natuurlijke ventilatie temperaturen tussen de 18°C en 25°C geaccepteerd, terwijl dit bij een mechanisch systeem tussen de 20°C en 24°C ligt (figuur 1).

Het nadeel van een natuurlijk ventilatiesysteem is dat er geen mogelijkheid is tot warmteterugwinning in de winter. Door de voordelen van zowel natuurlijke- als decentrale mechanische ventilatiesystemen te combineren ontstaat er een nieuw type decentraal ventilatiesysteem. In het afstudeeronderzoek is een dergelijk systeem ontworpen, gerealiseerd en getest. Hierbij is er eerst gekeken naar de mogelijke drijvende krachten.

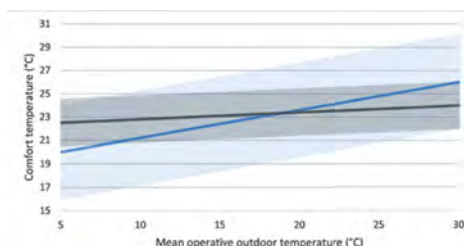
Aan de hand daarvan zijn handberekeningen en CFD-simulaties uitgevoerd en vergeleken met de literatuur. Met behulp de resultaten is uiteindelijk een nieuw ventilatiesysteem ontworpen en getest.

DRIJVENDE KRACHTEN

Er zijn twee verschillende manieren om ventilatiesystemen aan te drijven; mechanisch en natuurlijk. Mechanische ventilatiesystemen maken gebruik van ventilatoren om het benodigde drukverschil te creëren. Het drukverschil in natuurlijke ventilatiesystemen tussen de inlaat en de uitlaat kan door verschillende factoren tot stand komen (formule 1). Hierbij zijn Δp_{cp} en Δp_{wind} externe factoren en is de Δp_{temp} een interne factor in het kantoor.

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

De eerste factor is de winddruk op de gevel als gevolg van de dynamische windbelasting Δp_{cp} . Deze winddrukcoëfficiënt is bekend als de C_p -waarde en is afhankelijk van verschillende factoren zoals windrichting, geometrie en de omgeving [5]. De waarde varieert per locatie



-Figuur 1- Acceptatiegrens van een mechanisch (grijs) en natuurlijk (blauw) ventilatie systeem [3]

op de gevel. Bij een decentraal systeem zitten de inlaat en de uitlaat zo dicht bij elkaar dat deze verschillen echter zeer klein zijn. De tweede factor is het drukverschil, dat een gevolg is van wind parallel langs de gevel Δp_{wind} . 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 [6]. 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. Deze snelheid is als richtlijn gebruikt voor de simulaties. De laatste factor is het drukverschil als gevolg van interne temperatuurverschillen Δp_{temp} in het kantoor. Dit temperatuurverschil is het verschil tussen de temperatuur op hoogte van de inlaat en die van de uitlaat van het ventilatiesysteem in het kantoor. Daarnaast is het temperatuurverschil tussen binnen en buiten ook van invloed: de koudere buitenlucht drukt de warmere binnenlucht weg.

■ DRUKWEERSTAND

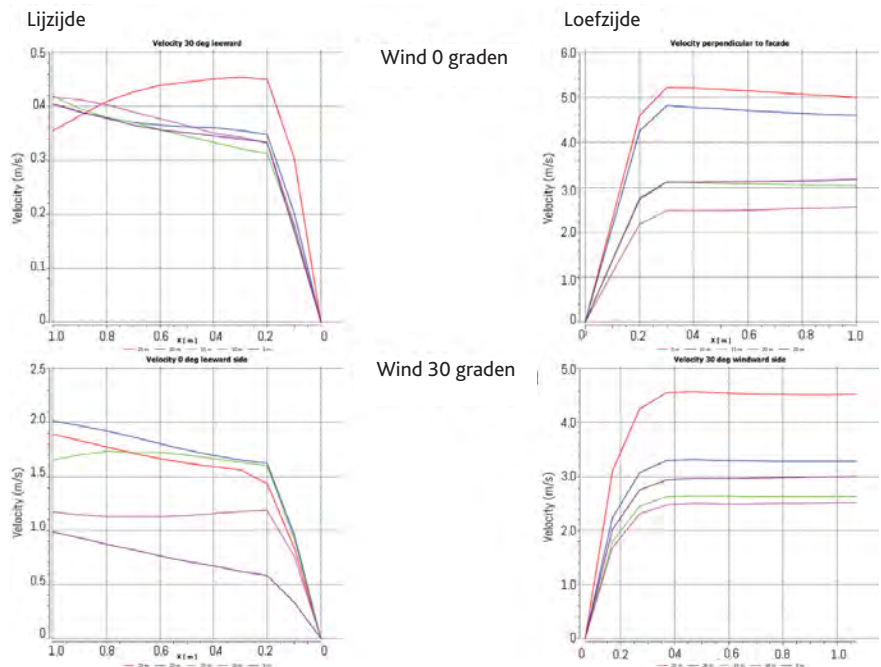
Om de ventilatiecapaciteit te behalen moet eerst de drukweerstand van het ventilatiesysteem worden overwonnen. Hiervoor is een minimale windsnelheid nodig. De windsnelheid die minimaal nodig is voor de werking van het ventilatiesysteem is afhankelijk van de drukweerstand van het systeem en kan worden berekend met de D'Arcy-Weisbach-formule [7]. Deze formule (2) maakt gebruik van een dimensieloos wrijvingsgetal (λ) en de representatieve lengte van het totale systeem (l_{rep}).

$$\Delta p = \lambda * l_{rep} / d * \rho / 2 * v^2 \quad (2)$$

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

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-programma Ansys Fluent gebruikt. Er is uitgegaan van een typisch jaren 70 kantoorgebouw met afmetingen van 75 m x 16 m x 30 m [8]. In het programma is dit gebouw in een open omgeving geplaatst en in hoeken van 0°, 30°, 60° en 90° graden in de wind gezet. Een driedimensionaal grid is geplaatst in de omgeving. Dit grid verdicht naar een grootte van 0,2 m vlakbij de gevel van het gebouw.

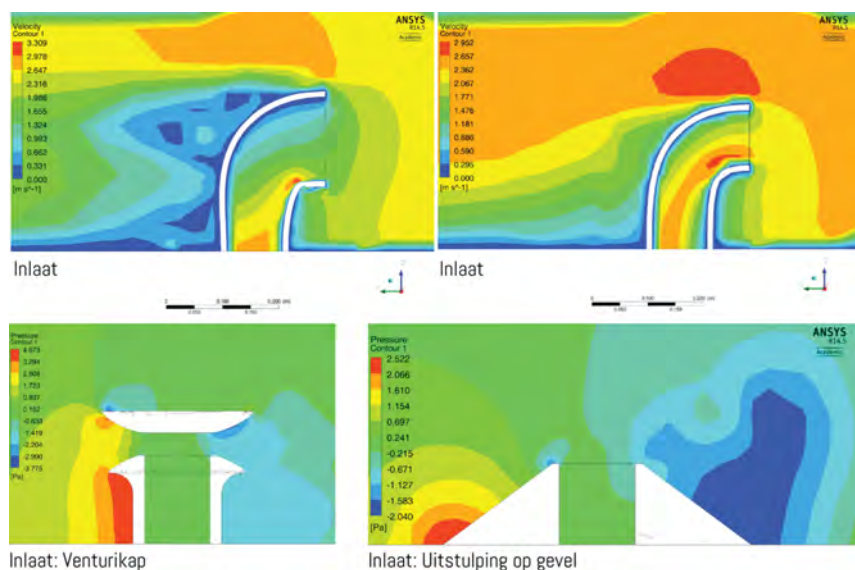


-Figuur 2- Windsnelheden in de eerste meter van het gebouw op 5 verschillende hoogtes bij invalshoeken van 0 en 30 graden ten opzichte van de gevel

De windsnelheden in de eerste meter van de gevel zijn bepaald op vijf lijnen loodrecht op de gevel. Deze lijnen zijn geplaatst op hoogten van 5 m, 10 m, 15 m, 20 m en 25 m. De resultaten laten zien dat aan de zijzijde van het gebouw de windsnelheid zeer laag is op het moment dat de wind onder een hoek van 0° de gevel raakt (figuur 2). De snelheden worden hoger naarmate de hoek van de wind groter wordt. In de grafieken is te zien dat de windsnelheden aan de zijzijde niet de benodigde snelheid van 2,47 m/s halen. Op basis van de 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.

■ CFD-SIMULATIES BIJ GEVEL

Het ventilatiesysteem heeft aan de gevel zowel een inlaat als een uitlaat nodig. Bij de uitlaat en de inlaat moet ervoor 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 in zodat de opening naar de windrichting toe staat. 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



-Figuur 3- Snelheden in de draaikappen voor de inlaat (boven) en de drukverschillen gecreëerd door de venturikap (linksonder) en de uitstulping (rechtsonder) op de gevel

venturikap met verschillende diameters en configuraties, een uitstulping van de gevel en varianten op een open pijp. Uit de simulaties (figuur 3) van de uitlaat blijkt dat het venturisysteem en de uitstulping op de gevel niet significant van elkaar verschillen. Het venturisysteem heeft echter als voordeel dat het bescherming biedt tegen wind die loodrecht op de gevel staat. Bij de uitstulping zou de wind dan direct in de uitlaat van het systeem blazen en het ventilatiesysteem ontregelen. Voor het definitieve ontwerp is daarom gekozen voor de venturikap. Vanwege het kleine verschil in de simulatie tussen de uitstulping op de gevel en de venturikap, is er

het kantoor is een typologisch gebouw van uit de jaren zeventig gebruikt [8]. In het midden loopt een centrale gang over de hele lengte van het gebouw met een breedte van 3 m. Aan beide zijden van de gang zijn kantoren gesitueerd met een diepte van 6,5 m en een breedte van 3,6 m of een veelvoud hiervan. Voor de simulaties is uitgegaan van een breedte van 3,6 m. In het kantoor zijn werk-plekken geschikt voor vier mensen inclusief apparatuur. De minimum ventilatie-eis is 100 m³ verse lucht per uur. Voor de snelheid van de wind is 6 m/s aangehouden. Deze snelheid staat gelijk aan windkracht 4 en komt gedurende de periode september tot april voornamelijk uit

moet er dus gebruik worden gemaakt van twee decentrale ventilatiesystemen per kantoor om de gestelde eis van 100 m³/h te realiseren.

WARMTEWISSELAAR

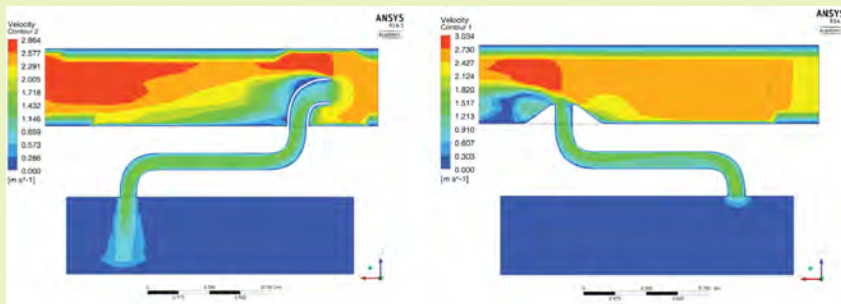
Er is onderzocht hoe warmteterugwinning bij dit systeem kan worden toegepast. Hiervoor zijn verschillende systemen geanalyseerd. Er is gekeken naar enthalpie-, platen- en kruis-stroomwarmtewisselaars. De systemen zijn getoetst aan de randvoorwaarden. Dit zijn met name het formaat en de drukweerstand. Door de afmetingen, 25 cm x 40 cm x 15 cm, en de lage drukweerstand van 4 Pa bij 100 m³/h, is gekozen om de FiwiHex-warmtewisselaar toe te passen [9]. Deze warmtewisselaar gebruik matjes van koperdraad in de warmtewisselaar om het transmissieoppervlak zo groot mogelijk te maken.

TESTOPSTELLING

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 de benodigde afmetingen van de windtunnel te verkleinen zijn de inlaat en de uitlaat van het ventilatiesysteem naast elkaar in de tunnel geplaatst. Hierdoor kan met een simpele U-bocht het kantoor worden gesimuleerd (figuur 5). Om de meetafwijkingen als gevolg van druk-verliezen 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 blijkt dat de waarden in de CFD-simulaties 20% hoger zijn dan de waarden uit de praktijktest. Mogelijk wordt dit veroorzaakt doordat de testopstelling gebruik 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. Desalniettemin is de overeenkomst tussen de simulatie en de praktijk zeer goed.

ONTWERPMOGELIJKHEDEN

Op de gevel zijn verschillende kappen geplaatst op de inlaat en de uitlaat. Door de turbulente zone direct aan de gevel moeten de kappen minimaal 10 cm van de gevel geplaatst worden. Voor de inlaat wordt er een draaikap toegepast en voor de uitlaat wordt de venturikap gebruikt. De venturikap zal onafhankelijk van de windrichting op de gevel een onderdruk creëren in de uitlaat van het ventilatiesysteem. De kappen worden op een minimale afstand van 1 meter van elkaar op de gevel geplaatst. Dit is gedaan om kortsluiting tussen de in- en



-Figuur 4- CFD simulaties in Ansys-Fluent. Lucht snelheid in het ventilatiesysteem met een windsnelheid aan de gevel van 2,4 m/s



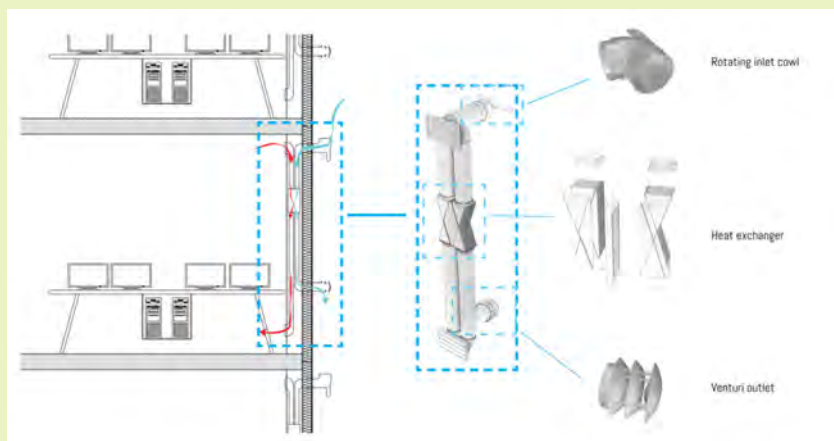
-Figuur 5- Test opstelling zoals toegepast in het laboratorium en de FiwiHex-warmtewisselaar (linksonder)

bij de overige simulaties voor de uitstulping op de gevel gekozen om de complexiteit van het model en de rekentijd te verkleinen.

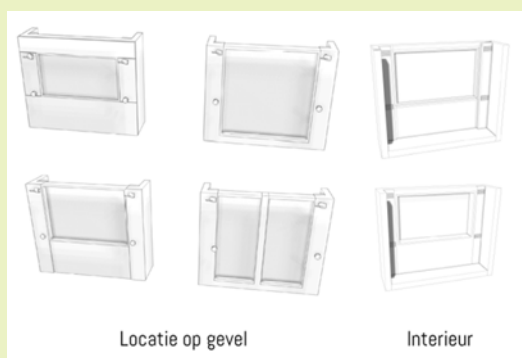
VOLLEDIGE CFD-SIMULATIE

Na de definitieve keuze van de kappen is het volledige ventilatiesysteem gesimuleerd. Voor

het zuidwesten. De windsnelheid langs de gevel is in de simulatie 2,4 m/s. In de simulatie is een windsnelheid in het systeem van 1,5 m/s gerealiseerd (figuur 5). Bij een diameter van 110 mm van de interne kanalen zal er dan een debiet van 50 m³/h behaald worden. Bij deze condities



-Figuur 6- Principe en elementen van het nieuwe ventilatie systeem



-Figuur 7- Mogelijke gevelconfiguraties voor zowel de buitenkant (links) als in het interieur (rechts)

de uitlaat te voorkomen (figuur 6). Voor de regeling van het systeem kan gebruik worden gemaakt handmatig bediende roosters aan de binnenzijde van de gevel. In deze roosters kunnen bijvoorbeeld ook zelfregelende kleppen en CO₂-sensoren worden aangebracht om de invloed van windvlagen en drukverschillen op de luchtstroom te verminderen. Verder kan het systeem op verschillende locaties in de gevel worden geplaatst (figuur 7):

- door het ventilatiesysteem aan beide kanten van het kantoor te plaatsen, zijn er 2 ventilatiezones mogelijk;
- Door zijn kleine afmetingen (150 mm x 300 mm x 1200 mm) kan het ventilatiesysteem worden geïntegreerd in nieuwe gevelelementen;
- een externe installatiebox kan tegen de binnenkant van de bestaande gevel worden aangebracht.

Tijdens het onderzoek is het systeem toegepast op een kantoor met een eenzijdige oriëntatie. Het ventilatiesysteem kan ook worden toegepast in een kantoor met een open werkomgeving. Doordat het hybride systeem aan de lijzijde wordt ondersteund door ventilatoren is het mogelijk om aan beide zijden van het gebouw een gelijke luchtstroming te creëren in het kantoor. CFD-simulaties tonen aan dat de twee stromingen elkaar in het midden van het

kantoor tegenkomen en dan afbuigen.

BREEAM

Met het nieuwe ventilatiesysteem kunnen voor de Breeam-certificering een aantal punten worden gescoord. Zo kunnen er met het toepassen van het decentrale hybride ventilatiesysteem punten worden gescoord in de categorie gezondheid bij HEA 9: interne luchtkwaliteit (2 punten) en HEA 10: thermisch comfort (2 punten). In categorie HEA 10 kunnen in principe beide punten worden behaald door de grotere temperatuuracceptatie als gevolg van natuurlijke ventilatie [3]. Ook in de categorieën ENE 1: CO₂-emissie reductie (1 tot 15 punten) wordt een positief effect op de punten bereikt, onder andere door het toepassen van een hoog rendement warmtewisselaar en de individueel instelbare en bemeterde ventilatievoorziening.

CONCLUSIE

Decentrale hybride ventilatiesystemen kunnen worden toegepast om mechanische ventilatiesystemen te vervangen. Omdat het aandeel van de ventilatoren van mechanische systemen 11% van het totale energiegebruik van een gebouw kan zijn, is op dat gebied nog veel voordeel te behalen. Met het ontworpen decentrale hybride ventilatiesysteem zou de ventilatie-energie terug kunnen worden

gebracht tot meer dan de helft. Een bijkomend voordeel van het nieuwe hybride ventilatiesysteem is de besparing op extra verwarming en koeling doordat de gebruikers een groter acceptatie gebied hebben met betrekking tot de temperatuur.

AANBEVELINGEN

Dit afstudeeronderzoek laat zien dat het volgende nog moet 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. Nagegaan 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. Brager, G.S. & de Dear, R., A standard for natural ventilation. Ashrae, 2000
3. de Dear, R. & Brager, G.S., Developing an adaptive model of thermal comfort and preference. Ashrae, 104(1), pp 145-167, 1998
4. Bak, R.L., Kantoren in Cijfers 2013. Statistiek van de Nederlandse kantorenmarkt, NVM Business, Zeist, 2013
5. Bronsema, B., Earth, wind & fire: Natuurlijke airconditioning. Promotieonderzoek, TU Delft, 2013
6. Stathopoulos, T. & Baskaran, B.A., Computer simulation of wind environmental conditions around buildings. Engineering Structures, 18(11), pp 876-885, 1996
7. Recknagel, H., Sprenger, E. & Schramek, E., Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik; einschließlich Warmwasser- und Kältetechnik. Oldenbourg, Munchen, 1995
8. van Meijel, L. & Bouma, T., Kantoorgebouwen in Nederland 1945-2015. Cultuurhistorische en ty-pologische quickscan. Rijksdienst voor het cultureel erfgoed, Amersfoort, 2013
9. Vision4Energy, Fiwhex, bekeken op 11-9-2014, <http://www.vision4energy.com/>