

Ontwerpeisen leiden naar hybride ventilatie

Ventilatie blijkt in de praktijk vaak niet te voldoen aan eisen van het Bouwbesluit. Ook gebruiken de bewoners de ventilatievoorzieningen onvoldoende, met als gevolg energieverlies of een slechte luchtkwaliteit en soms een combinatie van die effecten. Praktijkonderzoek levert een nieuw programma van eisen voor ventilatievoorzieningen die passen in gezonde en energiezuinige woningen en waarmee bewoners goed overweg kunnen. Hybride ventilatie kan aan eisen voor de verschillende behoeften van overdag en 's nachts, in de zomer en in de winter tegemoet komen. De eisen worden in ontwerpregels voor woningen vertaald.

door dr.ir. Evert Hasselaar*

Dr.ir. Evert Hasselaar



Als gebruikers een ideale situatie zouden kunnen kiezen, dan zou de binnenluchtkwaliteit vanzelf goed zijn, zonder te hoeven ingrijpen. In gesloten ruimten met tal van bronnen van verontreiniging gaat dat helaas niet op: er moet bewust worden geventileerd om vochtige en vervuilde lucht af te voeren en verse buitenlucht toe te voeren. Ventilatie is zelfs de hoeksteen van binnenluchtkwaliteit, om zowel het gebouw, de inrichting als de gebruikers voor bederf te behoeden. Ventileren is intrinsiek problematisch: het gaat gepaard met luchtstroming en soms tocht, eventueel met geluidhinder, de verversing werkt fysisch niet optimaal en ten slotte zijn er energiekosten. De talrijke oplossingen voor toevoer, circulatie en afvoer hebben ieder weer andere voordelen en nadelen. De probleemstelling is: ventileren is een noodzakelijke functie vol tegenstrijdigheden, dat om compromissen en optimalisatie vraagt. Het doel is het ontwikkelen van ontwerpeisen die ondersteunen bij het kiezen tussen

tegenstrijdige wensen en verschillende gebruiksbehoeften erkennen.

De vraagstellingen zijn:

1. Wat is te leren van ervaringen met verschillende ventilatiesystemen in de praktijk?
2. Tot welk programma van eisen voor woningventilatie leiden die ervaringen?
3. Welke bestaande of nieuwe ventilatieconcepten lijken optimaal aan eisen te voldoen?

METHODE

Er zijn relatief weinig onderzoeksgegevens over nieuwe ventilatiesystemen. Daarom worden beoordelingscriteria uitgediept, die vervolgens worden uitgewerkt tot ontwerpeisen. Het onderzoeksmateriaal komt uit de internationale literatuur en uit praktijkcases. De criteria zijn ontleend aan een zevental onderzoeken en de resultaten van een discussie tussen experts. In het project Ecobuild Research zijn in de jaren 1999 tot 2003 ideeën en toepassingen ontwikkeld voor verschillende ventila-

tiesystemen, inclusief hybride ventilatie [1,2]. In de jaren na die studies zijn diverse nieuwe producten op de markt gekomen. "Ventilatie in de praktijk" [3] is productinformatie van talrijke systemen gekoppeld aan ervaringen in de praktijk. Het onderzoek "De schimmel voorbij. Aanpak van vochtproblemen in complexen met geshunte natuurlijke ventilatiekanalen" [4] is een evaluatie van 12,5 jaar buurtactie rondom het vervangen van collectieve natuurlijke ventilatie door collectieve (stap 1) en individuele mechanische ventilatie (stap 2) in Amsterdam. Het proefschrift van de auteur is mede gebaseerd op meer dan 500 woninginspecties en analyse van een databestand met 333 individuele cases, waarin het gebruik van ventilatievoorzieningen goed gedocumenteerd is [5]. De interviewreeks "Bewonersgedrag en balansventilatie" geeft inzicht in gebruikseisen [6]. De "Inventarisatie

* Onderzoeksinstituut OTB van TU Delft, Onderzoeker gezond en duurzaam renoveren

woninggerelateerde gezondheidsklachten in Vathorst" [7] levert inzicht in verschillen in gezondheidsperceptie per ventilatiesysteem. De expertdiscussie betrok specialisten op het gebied van binnenmilieu en bouwregelgeving bij commentaar op de herziening van de ventilatienorm NEN 1087. Deze studies en de expertdiscussie hebben criteria opgeleverd voor het beoordelen van ventilatiesystemen. Deze criteria zijn in een programma van eisen vertaald. Het programma is op zijn beurt de basis voor een ontwerpverkenning van hybride ventilatie.

RESULTATEN

Problemen met ventilatievoorzieningen

Zonder uitvoerig op de achtergronden in te gaan, worden uit de rapportages bevindingen opgetekend, die voor veel lezers herkenbaar zullen zijn. Het gaat om de kenmerken van toepassing, gebruik en beheer, niet om een weergave van de kwaliteit van de ventilatie in de woningvoorraad.

NATUURLIJKE TOEVOER EN AFVOER

Natuurlijke ventilatie is moeilijk te regelen, omdat de werking afhankelijk is van de wind en het temperatuurverschil tussen binnen en buiten. Wanneer de lucht op natuurlijke wijze door kanalen naar binnen wordt gebracht, wat vaak het geval is in passief-huis ontwerpen, zijn er in de praktijk veel problemen met het afzuigvolume door te kleine kanaaldiameters, weerstand van roosters, ongelukkig geplaatste uitmonding op het dak en vervuiling van de kanalen. Echter, omdat het systeem geen lawaai produceert, geen hulpenergie vergt en in combinatie met gebruik van ramen goed past bij intuïtief woongedrag, draagt het systeem bij aan goede luchtkwaliteit, met meer volume dan individuele mechanische ventilatie onder praktische omstandigheden. Natuurlijke ventilatie voldoet vooral 's nachts optimaal.

De regelbaarheid in het gebied van 0-25 % van de luchttoevoeropening in de gevel, werkt in de praktijk vaak niet. De uitzetknip van het klepraampje is vaak versleten en draai-kiep ramen missen een kierstand regeling. De netto doorlaat van roosters loopt snel terug door vervuiling, zodat het luchtvolume drastisch vermindert. Bij

de ventilatievoorzieningen in de gevel speelt inbraakrisico een grote rol: veel ramen blijven uit angst voor inbraak dicht, ook als men thuis is. Een rooster voldoet wat dat betreft goed. De controle blijft lastig, onder meer omdat tocht al vaak wordt geassocieerd met veel frisse lucht.

MECHANISCHE AFZUIGING

De mechanische afzuiging neemt in de loop van de tijd af door ontregeling van ventielen, slijtage van lagers, vervuiling van de waaier en van kanalen. Het verval is in de orde van 10 % per jaar gemiddeld (Ginkel 2001), zodat periodiek herstel van capaciteiten en vervanging van motor en waaier nodig is. De praktijk is dat vervanging pas bij uitval gebeurt, na 15 tot 20 jaar. Doordat de bewoners de ventilatorbox vanwege geluidhinder steeds minder gebruiken, neemt de levensduur toe. Bewoners weten niet hoeveel wordt afgezogen en wat het energie-effect is, zodat men afgaat op het geluid, op adviezen van onderhoudsmonteurs of geen gebruikt meer maken van de afzuiging omdat zij onvoldoende effect ervaren.

GEBALANCEERDE VENTILATIE

De problemen van mechanische afzuiging doen zich in de praktijk vaak dubbel voor bij gebalanceerde ventilatie. Vaak is de laagstand bijna permanent in gebruik, omdat tocht en lawaai een hogere stand belemmeren. In veel woningen wordt de geringe ventilatie met open ramen gecompenseerd, maar soms ontbreken gebruiksvriendelijke compensatiemogelijkheden en dan ontstaan vooral klachten. Als een systeem goed is aangelegd en stand twee zonder hinder kan worden gebruikt, dan draagt het systeem bij aan goede doorspoeling van iedere ruimte, weliswaar met een relatief laag ventilatievolume.

Waardering door bewoners

Bij 500 woningbezoeken zijn bewoners geïnterviewd en de woningen geïnspecteerd. De resultaten wijzen op geringe verschillen in de perceptie van verschillende ventilatiesystemen. Ieder systeem kent 25-30 % klagers, de reden tot klagen verschilt. De heftigheid waarmee over bijvoorbeeld gebalanceerde ventilatie wordt

geklaagd lijkt minder met het systeem zelf te maken te hebben als met het gebrek aan invloed op de luchtkwaliteit of zelfs de mate waarin men het juiste advies krijgt bij klachten [5]. Een onbeantwoorde vraag is in hoeverre luchtkwaliteit een rol speelt in de perceptie.

Bewoners hechten veel waarde aan een klimaat dat vanzelf goed is, zonder te hoeven ingrijpen. Zodra de behoefte afwijkt van de omstandigheden, grijpt de bewoner naar snelwerkende en robuuste middelen. Daarbij gaat het vaak om bijna instinctieve handelingen, gebaseerd op een lange ervaring met talrijke omstandigheden in het bewuste vertrek. Hoe meer fijne ingreepmogelijkheden er zijn, des te beter de bewoner leert om te gaan met de controlemogelijkheden van het binnenklimaat en hoe beter een basiskwaliteit wordt bereikt en de noodzaak om in te grijpen vermindert. De wens dat een klimaat vanzelf goed is, leidt niet tot het uitgangspunt dat techniek handelingen van de bewoners overneemt. De stelling dat bewoners dom zijn en dat daarom de technieken "smart" moeten zijn, past niet bij de creativiteit van bewoners in het aanpassen van hun omgeving aan wisselende behoeften. Ook de veronderstelling dat bewoners moeten worden voorgelicht over het juiste gebruik van technieken, kan verhullen dat die technieken niet hanteerbaar zijn. Vaak ontaard het niet effectief zijn van die voorlichting in het toedelen van problemen aan bewonersgedrag. De beoordelingscriteria die daarom worden ontleend aan ervaringen met bewonersgedrag zijn:

- a. ventilatiesystemen ondersteunen het leereffect van bewoners en dit vergt een specifieke gebruiksvriendelijkheid;
- b. de controlehandelingen zijn voor bewoners merkbaar, hetzij door snelle verandering van de luchtkwaliteit of door het eenduidig aflezen van de veranderde instelling, zodat de bewoner weet dat binnen een voorspelbare tijd de nieuwe conditie is bereikt;
- c. omdat vanwege verschillen in eisen en gedrag een optimaal systeem lastig te realiseren is, is er een hoge vrijheidsgraad in de keuze van voorzieningen voor toevoer en afvoer, zodat bij onvoldoende functioneren van de ene voorziening er compen-

Overzicht programma van eisen

functioneel	technisch	gebruik
uit schone bron	geluidsniveau tot 28-32 dB(A)	permanente basisventilatie
uit schone voorziening	geen tocht	regelen naar behoefte
goed bedienbaar	toevoer per vertrek	basis ook bij afwezigheid
effect voorspelbaar	afvoer per vertrek	twee uur hoog na douche
keuzemogelijkheden	balansventilatie alleen bij verwarmen	veel open tijdens slapen
inbraakveilig	afzuigkap in keuken	vuilverspreiding voorkomen
afgestemd op functie/vertrek	spuivoorziening per kamer	filters tweewekelijks schoon
nachtkoeling natuurlijk	extra bij inpandige badkamer	inregelen per drie jaar
feedback bewoners vragen	ventilator vervangen na acht jaar	kanalen schoon per vijf jaar

Gebruikseisen.

- TABEL 1-

satiemogelijkheden beschikbaar zijn.

d. om tegemoet te komen aan het verlangen dat het klimaat vanzelf goed is, volgt het criterium dat een onhoorbare, niet voelbare, basisventilatie zorgt voor afvoer van de permanent geïmitteerde vervuiling en;

e. het ventilatievolume per kamer is afgestemd op de aanwezige bronnen. Dit criterium volgt ook uit het feit dat een woning niet kan worden beschouwd als een goed geroerd vat, maar dat de luchtkwaliteit van de woonkamer of van slaapkamers worden beïnvloed door specifieke omstandigheden;

f. van belang is ook, ventilatiesystemen op intuïtief gedrag van bewoners af te stemmen. Omdat indicatoren voor dit fenomeen ontbreken, bepalen bewoners in de praktijk of hun intuïtief gedrag leidt tot een goede controle van een ventilatiesysteem. Om dat te ontdekken dienen systemen getoetst en met inbreng van bewoners te worden verbeterd. Naarmate het isolatieniveau van woningen toeneemt, groeit de behoefte aan koeling. Het is niet te verwachten, dat bewoners tijdens het slapen een luidruchtig mechanisch systeem op de hoogste stand zetten om te koelen. Bij nachtelijke koeling werkt natuurlijke trek en eventueel dwarsventilatie ondersteunend.

Het reukvermogen van bewoners is goed ontwikkeld, terwijl 15 % van de bewoners luchtweggevoelig zijn; g. verse lucht komt daarom uit een schone inlaat en van een schone

bron, die niet wordt vermengd met uitlaat- of afvoergassen, stank uit afvoerkanalen of riool ontluchting en vochtige stofnesten. Lucht dat zo goed mogelijk de normale buitencondities behoudt, wordt het best gewaardeerd. Deze kwaliteit wordt zeer subtiel beleefd en de kwaliteitscriteria zijn onbekend. In de literatuur worden wel verbanden gelegd met ionenhuishouding, grootte en aard van de aerosolen, statische oplading, vochtigheid en temperatuur. Frisheid wordt met een lagere temperatuur geassocieerd. Hoewel lucht via een filter en kanalen minder stof zal bevatten, kan opgehoopt stof in vlagen vrijkomen en wordt juist stoffigheid ervaren. Door verandering in de samenstelling kan de lucht door onbekende oorzaken minder prettig aanvoelen. Verandering van de relatieve vochtigheid treedt altijd op. Irriterende effecten door fijnstof met allergenen of agressieve gassen worden abusievelijk geassocieerd met droge lucht, terwijl dezelfde effecten ook bij hoge luchtvochtigheid optreden.

Samengevat zijn de criteria:

- geen hinder door geluid of tocht;
- inbraakveilig;
- leereffect door controle of aflezen van het (verwachte) effect van bediening;
- hoge vrijheidsgraad door keuze uit meerdere voorzieningen voor toevoer en afvoer;
- basisventilatie per kamer afgestemd op de permanente vervuillingsbronnen;

- gebruik en beleving door bewoners, bepaalt of een systeem goed is: feedback is belangrijk;
 - nachtelijke koeling via natuurlijke trek en via dwarsventilatie;
 - verse lucht uit een schone voorziening en van een schone inlaatplek.
- Op basis van de beoordelingscriteria van systeemkenmerken worden ontwerpeisen van ventilatiesystemen geformuleerd.

Capaciteitsterugval is een gegeven, waarmee rekening moet worden gehouden via overwaarde bij oplevering en via reinigen en inregelen in de gebruikperiode. De capaciteit moet aan de wettelijke eisen blijven voldoen.

Verse lucht moet bij voorkeur ongemerkt binnenkomen. Hiervoor zijn verschillende oplossingen denkbaar: spreiding van toevoerlucht over spleet-roosters, lucht voorverwarmen, lucht goed en snel mengen met de ruimtelucht. Als door aanwezigheid van meer personen de ventilatiebehoefte toeneemt, vergroot dat de blootstelling aan geluid en tocht. Door te zorgen dat bij afwezigheid van personen geabsorbeerd vocht en chemische verbindingen worden afgevoerd, komen bewoners thuis in een schoner binnenmilieu. Dat vereist permanente basisventilatie. De basis is afhankelijk van de kierdichtheid van een ruimte, niet van het totale gebouw. De basisventilatie zal in een woonkamer met twee gevels en grote kierlengte zonder nadere voorzieningen groter zijn dan in een slaapkamer met een enkel

raamkozijn. Vraagsturing kan juist worden ingeschakeld als niemand aanwezig is, zodat comfortproblemen door optoeren van mechanische ventilatie wordt voorkomen.

Regelbaarheid is de hoeksteen vanuit bewonersbeleving gezien. In de regelkeuzes wordt rekening gehouden met seizoenen en het verschil per dag - nacht en indien thuis - afwezig. Er zijn meerdere instellingen beschikbaar in het "bijna dicht" gebied. Vraagsturing houdt in dat meer wordt geventileerd naarmate de vervuilingsgraad hoger is. Dit wordt per vertrek beoordeeld en niet alleen op basis van aanwezige mensen, maar ook van andere vervuilingbronnen. De menselijke vervuiling is waarschijnlijk wel maatgevend in slaapkamers met twee personen, zodat CO₂ sensorsturing hier naar verwachting voldoet. In andere kamer of bij afwezigheid zijn de vervuilingbronnen niet CO₂-gerelateerd en zal CO₂ sensorsturing waarschijnlijk niet voldoen. Dwarsventilatie voldoet aan de eis van toevoer en afvoer, mits een ruimte aan twee gevels met een opening grenst. De overstroomvoorziening via een kier onder de deur voldoet niet aan de afvoereis, omdat in de praktijk de doorlaat bij een kleine kier, opstaande vloerbedekking of een kleedje te klein is, voornamelijk bij geringe drukverschillen. Een rooster in de deur of wand met een grotere doorlaat dan 70 cm² of een bedienbare opening (klepraam of rooster) boven de deur zijn regelbaar en aanpasbaar aan behoefte van grotere ventilatievolumes.

De capaciteit in de badkamer verdubbelt bij ventilatie met binnenlucht. Met buitenlucht is vochtafvoer in de stookperiode gemiddeld dubbel zo effectief als met vochtige warme binnenlucht. Om kooklucht en vocht in de keuken snel af te voeren, voordat het zich verspreidt door de woning, is een afzuigkap voorzien. In het stookseizoen wordt weliswaar de kookwarmte niet teruggewonnen, maar daar staat een schonere wisselaar met hoger rendement tegenover. Tijdens piekventilatie gelden geringe eisen aan het geluidsniveau, omdat bewoners dit niveau gedurende 30-45 minuten blijven te accepteren.

Vanwege de energiezuinige en tochtvrije werking in de stookperiode is gebalanceerde ventilatie met warmte-

terugwinning het uitgangspunt. Vraagsturing lijkt gezien de basis eis niet veel extra bij te dragen, maar kan in de slaapkamers extra garantie bieden tegen lage ventilatievolumes.

De geluidsproductie van voorzieningen in verblijfsruimten dient tot 28 dB(A) 's nachts en 32 dB(A) overdag beperkt te blijven. Niveaus worden gerelateerd aan het achtergrondgeluid.

Ontwerp voor een hybride ventilatiesysteem

Door bouwkundige voorzieningen en installaties op elkaar af te stemmen en de ventilatie, verwarming en koeling regelbaar te maken, kan een comfortabel en gezond binnenmilieu ontstaan, met laag energiegebruik. Natuurlijke - en balansventilatie worden gecombineerd. Als referentiekader wordt uitgegaan van een eengezinswoning met individuele installaties.

NATUURLIJKE TOEVOER

De gevel wordt voorzien van inbraakveilige klepraampjes en/of roosters per kamer: de woonkamer heeft roosters en een buitendeur, de keuken een draairaam, rooster(s) en een inbraakveilig klepraam en de slaapkamers een draairaam en klepraam, waarbij een rooster vanwege de kleine doorlaat niet nodig is. Zelfregelende toevoer-roosters worden niet nodig geacht, omdat de natuurlijke voorzieningen goed regelbaar zijn, in het bijzonder in het gebied van 0-25 % van de nominale doorlaat. Bovendien wordt ervan uitgegaan dat in de stookperiode de ramen dicht zijn (wat de praktijk leert), waarbij automatisch de gebalanceerde ventilatie met warmterugwinning de ventilatie overneemt. Grote ramen kunnen op architectonisch vernieuwende wijze worden voorzien van schermen en schuifjaloezieën, om voldoende luchtdoorlaat voor nachtventilatie te bereiken.

NATUURLIJKE AFVOER

Omdat er bij warm en windstil weer weinig natuurlijke trek is, dient de toe- en afvoer naar behoefte te worden verbeterd. Drie mogelijkheden zijn voorhanden: gebruik van een trappenhuis of speciaal aangebrachte grote schacht om in de zomernachten voldoende afvoer in (vooral) slaapkamers



en eventueel ook de woonkamer te realiseren, ten tweede door de afvoer en eventueel ook de toevoer mechanisch te ondersteunen en ten slotte door dwars-ventilatie te verbeteren. Een generieke oplossing maakt gebruik van het trapgat als trekgat, naast de natuurlijke kanalen van keukens en badkamer. Het dakraam van de bovenetage wordt op afstand motorisch bedienbaar en biedt een grote opening, zonder verhoogd risico van inbraak en inregenen. Koeling met buitenlucht in de zomernachtsituatie gaat via een royaal open raam of roostersysteem van minstens 0,5 m², in combinatie met een overstroomopening van eveneens 0,5 m², verbonden aan de afvoer via het trappenhuis naar het dakraam of opening op zolder.

GEBALANCEERDE VENTILATIE

Verbetering van de huidige producten en toepassingen in de praktijk omvat geluidwering van de bron, automatische sturing in de slaapkamers op basis van CO₂, verlaging van luchtweerstand van apparaat en kanalen, regelbare (of vermeden) ventielen, hogere debieten in de slaapkamers en hogere piekafzuiging. Omdat balansventilatie een wintersysteem is (beweringen dat het systeem topkoeling geeft gaat slechts op voor de perioden dat het buiten warmer is dan binnen) en de behoeften als de regelmogelijkheden 's nachts en overdag verschillen, heeft ieder vertrek sturingsmogelijkheden, die voldoen aan de eisen in de zomer en de winter, overdag en tijdens de slaap. Zodra de verwarmingsthermostaat ingeschakeld is geweest, wordt de gebalanceerde ventilatie 24 uur aange-

zet. Dan worden kleppen in natuurlijke kanalen automatisch dichtgezet. Als door goede isolatie en warmterugwinning de warmtebehoefte laag is, kan de woning worden verwarmd met alleen ventilatielucht en is een apart verwarmingssysteem niet meer nodig (vanwege bewonersbehoefte aan snelle individuele aanpassing is flexibele lokale verwarming in de woonkamer wenselijk).

DISCUSSIE

Het ontwerp zoals hierboven beschreven is in vereenvoudigde vorm in de Ecobuild woningen van ECN in Petten toegepast: in de testwoning was geen afzonderlijk natuurlijk ventilatiesysteem aanwezig, maar werd de afvoer van de balansventilatie gebruikt in combinatie met natuurlijke toevoer en trek door het trappenhuis, met automatisch bedienbare klepramen boven de binnendeuren. Vooral de trek via het trappenhuis kan bij deze oplossing een grote luchtstroming bewerkstelligen, met voldoende volume om nachtkoeling effectief te maken (ventilatievoud minstens 2,5). Bovendien levert dit “kanaal” de nodig trek om in slaapkamers met twee personen voldoende natuurlijke ventilatie te realiseren.

De studie is kwalitatief van aard. De nadruk ligt op begripsvorming en overdracht van kennis en ervaring met ventilatiesystemen in de praktijk. De kennis wordt in deze studie gebruikt om een andere benadering van woonhuisventilatie te bespreken, dat door functionele, technische en gebruikseisen kan voldoen aan energiezuinigheid, bewonerstevredenheid en gezond binnenmilieu. De interpretatie van de resultaten vergt echter een kritische houding.

De voordelen van hybride ventilatie zijn zowel benoembaar in termen van milieukwaliteit, comfort, gezondheid en energiebesparing. In het bijzonder op hulpenergie, onderhoudskosten en afschrijving van de ventilatorunit wordt via het ontworpen systeem op kosten bespaard:

De kosten van hulpenergie en de onderhoudskosten voor de balansventilatie worden globaal gehalveerd. De technische levensduur verdubbelt en dat geeft een verlaging van de initiële huur. De besparing op energie- en exploitatiekosten levert een initiële

investeringsruimte die hoger is dan de kosten, zodat het aantrekkelijk is om uit te gaan van hybride ventilatie op basis van volledig natuurlijke ventilatie en daarnaast balansventilatie met warmterugwinning.

CONCLUSIE

De ontwerpisen wijzen op de noodzaak van grote flexibiliteit in keuze van voorzieningen, in toetsing van de ontwerpqualiteit per vertrek en in een systeem dat een verschillend gebruik mogelijk maakt in de zomer en de winter, en tevens verschillend overdag en 's nachts, tenminste als de bewoners ervoor kiezen om de nacht als onverwarmde periode te beschouwen. Hybride ventilatie is een aantrekkelijk systeem, dat veel comfort geeft in zomer en winter en ten opzichte van de gebruikelijke gebalanceerde ventilatie veel (hulp)energie bespaart. 

REFERENTIES

1. Hasselaar E., 1999, *Vier ventilatiesystemen vergeleken*, Onderzoeksinstituut OTB, Delft;
2. Römer J.C., Jong M.J.M., Bakker E.J., Van Helden W.G.J., Maassen W, Berben J., 2002, *Vergelijking tussen numerieke gebouwsimulaties en experimentele gegevens op woningniveau*, Petten, ECN;
3. Hasselaar E., 2002, *Ventilatie in de praktijk*, Onderzoeksinstituut OTB, Delft;
4. Hasselaar E., en J. Custers, 2004, *De schimmel voorbij. Aanpak van vochtproblemen in complexen met gehunte natuurlijke ventilatiekanalen*, Olympus Groep, Amsterdam;
5. Soldaat K., 2007, *Bewonersgedrag en balansventilatie*, Onderzoeksinstituut OTB, Delft en Habiforum, Gouda;
6. Van Ginkel J.T., 2007, *Inventarisatie woninggerelateerde gezondheidsklachten in Vathorst*, Onderzoeksinstituut OTB, Delft;
7. Hasselaar E., 2006, *Health performance of housing, indicators and tools*, PhD thesis, TU Delft;