

Effectiviteit balansventilatie in woningbouw

Twee belangrijke prestatie-indicatoren voor de effectiviteit van een ventilatiesysteem zijn de ventilatiecapaciteit en de ventilatie-efficiëntie. De ventilatiecapaciteit wordt in principe bij de initiële inregeling bepaald, maar kan gedurende de gebruiksfase nog sterk beïnvloed worden door bijvoorbeeld de gebruikers. Ventilatie-efficiëntie is de efficiëntie waarmee vers toegevoerde ventilatielucht een ruimte doorspoelt. Onderzocht is of deze twee aspecten in de praktijk een potentieel probleem zijn bij balansventilatie in de woningbouw.

Ir. W.M.P. (Jeffrey) van der Pluijm, LBP|SIGHT; ir. G. (Gert) Boxem, dr.ir. M.G.L.C. (Marcel) Loomans, prof.dr.ir. J.L.M. (Jan) Hensen, Technische Universiteit Eindhoven

De steeds geringere mate van luchtdoorlatendheid van de woningschil vergroot het belang van effectieve woningventilatie.

Daarnaast vergroot de trend van duurzaam en energiezuinig bouwen het belang van energiezuinige ventilatiesystemen.

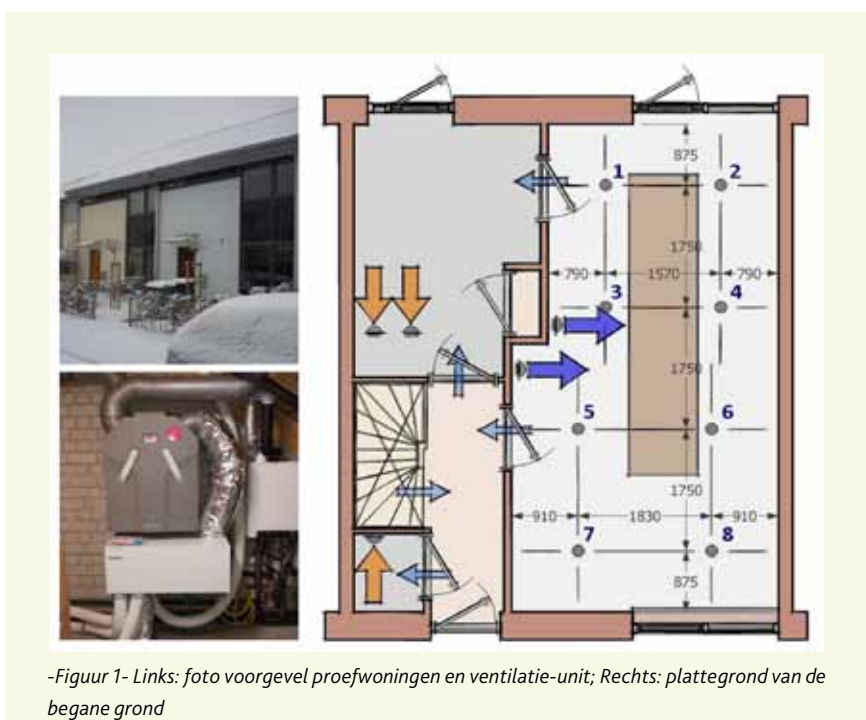
In dit licht is onderzoek gedaan naar de effectiviteit van balansventilatiesystemen in de woningbouw [1]. Hiervoor zijn metingen verricht in twee gerenoveerde 'proef'woningen in de wijk De Kroeven in Roosendaal, die als onderdeel van het project H.E.E.R. (Hoog Energie Efficiënte Renovatie) zijn gerenoveerd tot het niveau van een passiefhuis. Tevens zijn metingen verricht in het laboratorium van de Unit Building Physics and Systems (BPS) van de Technische Universiteit Eindhoven.

EFFECTIVITEIT

Effectiviteit kan worden gezien als het resultaat van de ventilatiecapaciteit en de ventilatie-efficiëntie. Met andere woorden: wordt er voldoende (verse) lucht de ruimte ingeblazen en komt deze lucht overal in de ruimte waar deze zou moeten komen.

Capaciteit

De ventilatiecapaciteit hangt af van het ontwerp en de inregeling van een systeem, maar is ook gevoelig voor diverse externe invloeden gedurende de gebruiksfase. Zo kunnen bewoners bijvoorbeeld als gevolg van



-Figuur 1- Links: foto voorgevel proefwoningen en ventilatie-unit; Rechts: plattegrond van de begane grond

geluidhinder het ventilatiesysteem terugschakelen naar een lagere ventilatiestand. Het is daarom de vraag of bij mechanische toe- en afvoer voldoende ventilatiecapaciteit gedurende lange tijd gegarandeerd kan worden.

Ventilatie-efficiëntie

Ventilatie-efficiëntie is de efficiëntie waarmee toegevoerde lucht de reeds aanwezige lucht in een ruimte vervangt. Bij woningventilatie betekent een hoge ventilatie-efficiëntie dat er sprake is van een goede menging en daarmee een homogene luchtverdeling in de ruimte. Kortsluiting tussen de toe- en afvoerstromen resulteert in een slechte menging en daarmee een lagere efficiëntie ('dode hoeken'). Bij woningventilatie, in het bijzonder bij mechanische toe- en afvoer, kan men zich voor bepaalde situaties afvragen of de toegevoerde lucht de gehele ruimte voldoende heeft doorspoeld alvorens deze de ruimte weer verlaat. Bijvoorbeeld wanneer lucht boven de deur wordt ingeblazen en direct onder dezelfde deur via een overstroomb voorziening weer wordt afgevoerd.

Proefwoningen en laboratorium

Voor dit onderzoek zijn gedurende ruim half jaar metingen verricht in de twee proefwoningen in Roosendaal (figuur 1). Deze woningen worden geventileerd met een balansventilatiesysteem met warmteterugwinning (WHR 930 van StorkAir). De ventilatie-units zijn op zolder geplaatst. Tussen een verblijfsruimte en de ventilatie-unit bevindt zich altijd minimaal één deur en het luik van een vlizotrap. De toe- en afvoercapaciteiten zijn in beide woningen centraal ingeregeld in een luchtverdeelkast op zolder. Per toe- en afvoerventiel loopt een flexibele slang van het ventiel naar de luchtverdeelkast.

Het systeem is voorzien van een standenschakelaar met drie standen, waarbij stand één de afwezigheidsstand is, stand twee de dagstand en stand drie voor koken en douchen kan worden gebruikt. Er zijn schakelaars in de keuken en badkamer geplaatst. In de proefwoningen zijn onder andere de ventilatiecapaciteit, de geluidniveaus en het ventilatiegedrag van bewoners gemonitord. Tevens is de ventilatie-efficiëntie gemeten in één van de proefwoningen.

In het bouwfysisch laboratorium van de Technische Universiteit Eindhoven is vervolgens een testruimte gebouwd om de ventilatie-efficiëntie onder verschillende (meer extreme) omstandigheden te meten (figuur 2). Zo zijn er onder andere variaties in de ruimtegeometrie, de inblaas temperatuur en de positionering van de inblaasopening aangebracht.

MEETROUTINE LUCHTLEEF TIJD

Om de leeftijd van lucht te meten, wordt een tracer gas (CO_2) in de ruimte gebracht en met de reeds aanwezige lucht gemengd tot een homogene concentratie. Vervolgens wordt het ventilatiesysteem ingeschakeld en wordt op de gewenste meetposities de afname van de concentratie van het tracer gas gemeten (tracer step-down methode) [4]. De afnamecurve volgt een typisch exponentiële functie van de vorm: $f(t) = C_0 + \Delta C \cdot e^{-n \cdot t}$ waarin,

C_0 = de achtergrondconcentratie

ΔC = het gemeten concentratieverschil over het geanalyseerde deel van de curve

n = het ventilatievoud in h^{-1}

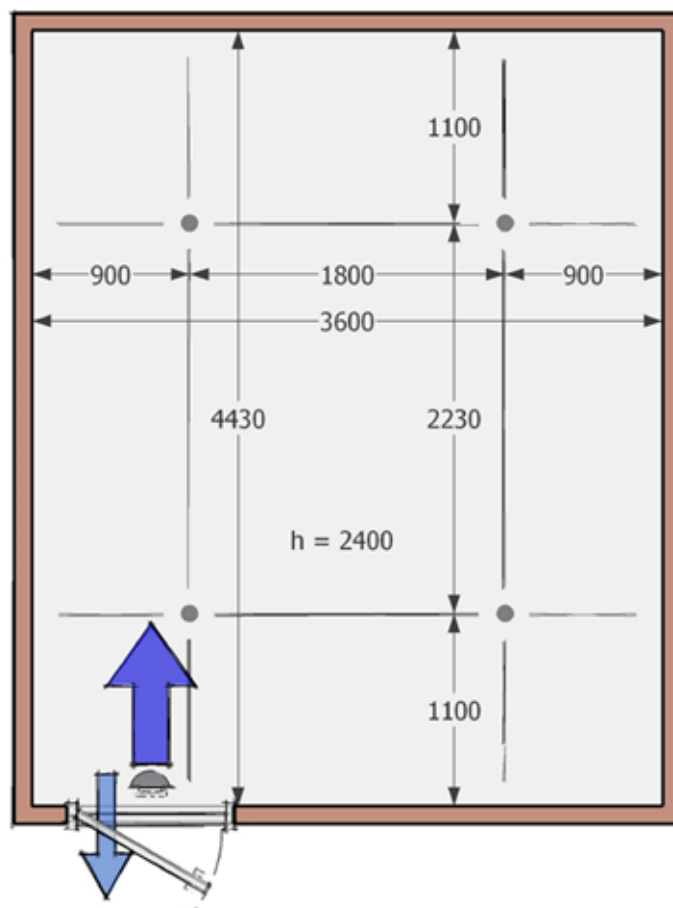
t = de tijd in uren

Door deze exponentiële functie door de gemeten datapunten te fitten, wordt de waarde voor n (ventilatievoud) verkregen. Na logaritmische verscaling van de y-as kan eenvoudig op basis van de kleinste-kwadratenmethode een lineair regressiemodel door de datapunten worden gefit. De schatter voor de richtingscoëfficiënt van deze regressielijn is een schatter voor n .

Local air change efficiency

In een goed gemengde situatie is de gemiddelde leeftijd van de lucht in een ruimte gelijk aan de reciproque waarde van het ventilatievoud (n), dit is de nominale tijdconstante (τ_n). De reciproque waarde van het lokale ventilatievoud (n_p) is de lokale gemiddelde leeftijd van de lucht (τ_p). De local air change efficiëntie ($\varepsilon_{a(p)}$) is de ratio gemiddelde luchtleeftijd gedeeld door de lokale luchtleeftijd [4]:

$$\varepsilon_{a(p)} = \frac{\tau_n}{\tau_p} = \frac{(\text{gemiddelde luchtleeftijd})}{(\text{lokale luchtleeftijd})}$$



-Figuur 2- Plattegrond van de testruimte in het laboratorium van de TU/e

Metingen capaciteiten

In de proefwoningen zijn de ventilatiecapaciteit en de geluidproductie van het balansventilatiesysteem gedurende het onderzoek op een aantal momenten gemeten. Ook is in één van de twee woningen met behulp van CO₂-sensoren en een logboek het ventilatievoud en -gedrag gemonitord. Ten aanzien van de geluidproductie van het systeem is voor dit project een streefwaarde van 27 dB(A) voor het geluidniveau in de slaapkamers en 30 dB(A) in de woonkamers in de dagstand (=Bouwbesluit capaciteit) gesteld.

Op basis van de metingen is de inregeling en configuratie van de ventilatiesystemen een aantal keer aangepast. Zo bleken bij de eerste meting onder andere enkele afvoerventielen niet aangesloten te zijn, de capaciteiten te laag en de geluidniveaus veel te hoog te zijn. In totaal zijn de inregeling en configuratie van de ventilatiesystemen vier keer bijgesteld om zowel voldoende capaciteit te realiseren als aan de criteria voor geluidproductie te voldoen. De belangrijkste systeemwijziging is de aangebrachte akoestische slangdempers in de toevoerkanalen.

Resultaten

Na de laatste aanpassingen is uit de metingen gebleken dat aan de gestelde strenge eisen voor geluidproductie en ventilatiecapaciteit kan worden voldaan.

Het logboek dat door de bewoners is bijgehouden en de CO₂-metingen geven een mooi beeld van het ventilatiegedrag. Zo is gebleken dat in de periode vóór het aanbrengen van de akoestische slangdempers, de bewoners ongeveer 93% van de tijd in ventilatiestand 1 (afwezigheidsstand) hebben geventileerd vanwege geluidhinder. Dit resulteerde regelmatig in CO₂-concentraties van boven de 2.000 ppm in de woonkamer en slaapkamers, waar 1.200 ppm in principe als maximaal aanvaardbare waarde kan worden gezien. Na het aanbrengen van de dempers en voorlichting over de ventilatiestanden, blijft de concentratie onder de 1.200 ppm.

METINGEN VENTILATIE-EFFICIËNTIE

Een kwantitatieve maat voor de ventilatie-efficiëntie kan worden verkregen door op verschillende punten in een ruimte de lokale gemiddelde leeftijd van de lucht te meten en

Meetpositie		Local air change efficiency	
		$\epsilon_{a(p)}$	95% betrouwbaarheidsinterval
1	Achter links	1,00	$0,86 \leq \epsilon_{a(p)} \leq 1,14$
2	Achter rechts	0,98	$0,84 \leq \epsilon_{a(p)} \leq 1,12$
3	Midden links	0,99	$0,85 \leq \epsilon_{a(p)} \leq 1,14$
4	Midden rechts	1,02	$0,88 \leq \epsilon_{a(p)} \leq 1,16$
5	Midden links	1,02	$0,88 \leq \epsilon_{a(p)} \leq 1,17$
6	Midden rechts	0,97	$0,83 \leq \epsilon_{a(p)} \leq 1,11$
7	Voor links	1,02	$0,87 \leq \epsilon_{a(p)} \leq 1,16$
8	Voor rechts	0,99	$0,85 \leq \epsilon_{a(p)} \leq 1,13$

-Tabel 1- Meetresultaten ventilatie-efficiëntie in de woonkamer van één van de proefwoningen. Een local air change efficiëntie ($\epsilon_{a(p)}$) van 1,00 betekent dat de lokale luchtleeftijd gelijk is aan de ruimtegemiddelde luchtleeftijd. Een $\epsilon_{a(p)}$ kleiner dan 1,00 betekent dat de lokale luchtleeftijd ouder is en $\epsilon_{a(p)}$ groter dan 1,00 dat de lokale luchtleeftijd jonger is.

	Variante 1: basis testruimte met een ventilatievoud van $n = 0,66 \text{ h}^{-1}$.		Variante 11: toe- en afvoer omgedraaid, mechanische afvoer boven de deur en toevoer via overstromvoorziening onder de deur.
	Variante 2: basis testruimte met een ventilatievoud van $n = 1,00 \text{ h}^{-1}$.		
	Variante 3: basis testruimte met een ventilatievoud van $n = 1,32 \text{ h}^{-1}$.		
	Variante 4: basis testruimte zonder inblaasventiel in de toevoeropening.		
	Variante 5: basis testruimte met een warmtebron van 100W onder één van de sensoren.		
	Variante 6: basis testruimte met gekoelde toevoerlucht $\Delta T = 10^\circ\text{C}$.		
	Variante 7: kamerhoge 'kast' in de werp, op 1,0 m afstand van het toevoerventiel.		Variante 12: toevoerpunt in het plafond met naar beneden gerichte luchtstroom.
	Variante 8: kamerhoge 'kast' en gekoelde toevoerlucht $\Delta T = 5^\circ\text{C}$.		
	Variante 9: kamerhoge 'kast' en geopende kamerdeur.		Variante 12: toevoerpunt in het plafond met naar beneden gerichte luchtstroom.
	Variante 10: toevoerpunt in de wand recht tegenover de deur met de overstromvoorziening.		

-Tabel 2- De twaalf gemeten varianten in de testruimte in het bouw fysisch laboratorium van de TU/e

deze onderling en met de ruimtegemiddelde luchtleeftijd te vergelijken. Het concept van de gemiddelde leeftijd van de lucht is gebaseerd op de leeftijdsverdeling van luchtdeeltjes in een bepaald punt, zoals geïntroduceerd en beschreven door Sandberg en Sjöberg [2] [3].

Indien op een bepaald punt in de ruimte de lucht relatief jonger of ouder is dan het ruimtegemiddelde, betekent dit dat er lokale verschillen in de doorspoeling van deze ruimte zijn.

Efficiëntie in proefwoning

Op basis van de plattegrond van de proefwo-

ningen bestaat met name enige twijfel over de ventilatie-efficiëntie in de woonkamer (zie figuur 1). Op de plattegrond is te zien dat lucht halverwege de woonkamer haaks op de lengterichting wordt ingeblazen en via overstroomvoorzieningen onder de deuren naar de keuken en de hal wordt afgevoerd. Hierdoor zou verwacht kunnen worden dat met name nabij de voorgevel (positie 7 en 8, figuur 1) de ruimte minder goed wordt doorspoeld.

In de woonkamer van de proefwoning is op acht meetposities de lokale gemiddelde leeftijd van de lucht gemeten (positie 1 t/m 8, figuur 1).

De woonkamer heeft een vloeroppervlakte van ongeveer 24 m² en een volume van ongeveer 58 m³. De ruimte wordt geventileerd met een ventilatievoud van ongeveer 1,18 h⁻¹. Lucht wordt met een standaard laag inducerend toevoerrooster ingeblazen.

Resultaat

Uit de metingen is gebleken dat de woonkamer van de proefwoning goed doorspoeld wordt. Er zijn geen significante variaties in luchtleeftijd tussen de verschillende meetpunten gemeten. Ook de punten voor in de ruimte (positie 7 en 8, figuur 1) worden goed doorspoeld. De meetresultaten zijn samengevat in tabel 1.

Efficiëntie in lab

In de mockup in het laboratorium zijn vervolgens twaalf variantopstellingen doorgemeten. De hypothese voor iedere variant is dat de aangebrachte verandering een verslechtering van de doorspoeling van de ruimte tot gevolg heeft, met een minder homogene luchtverdeling in de ruimte als resultaat. In de basissituatie wordt lucht ingeblazen door middel van een standaard laag inducerend toevoerventiel. Lucht wordt afgevoerd door middel van een overstroomvoorziening onder de deur.

In de testruimte is op vier posities gemeten (positie 1 t/m 4, figuur 2). Het volume van de testruimte bedraagt ongeveer 38,0 m³ en de vloeroppervlakte 15,9 m². In tabel 2 zijn de twaalf gemeten varianten beschreven.

Resultaten

Uit de metingen in het laboratorium is gebleken dat geen van de aangebrachte variaties een significante invloed op de ventilatie-efficiëntie heeft gehad. In tabel 3 zijn de resultaten van de metingen in het lab weergegeven.

CONCLUSIE

Met name de ventilatie-efficiëntie bij mechanische toegevoerde lucht blijkt praktisch geen probleem op te leveren. Ondanks de diverse aangebrachte variaties in het laboratorium, zijn geen significante lokale verschillen in de

doorspoeling van de ruimte gemeten.

Het systeem blijkt in de praktijk erg gevoelig voor fouten in met name de uitvoeringsfase. Op basis van het onderzoek kan echter ook geconcludeerd worden dat met een goed installatieontwerp, een goede berekening van de benodigde capaciteiten en een goede inregeling van het systeem, balansventilatie als effectieve wijze van ventileren kan worden beschouwd.

Het is daarom van groot belang om bij oplevering – en, hoewel praktisch lastig, bij voorkeur periodiek gedurende de gebruiksfase – de gerealiseerde ventilatiecapaciteiten en de geluidproductie van het systeem te controleren. Vraagsturing op basis van CO₂ en relatieve vochtigheid zou het systeem robuuster kunnen maken voor gebruikersinvloeden. Daarnaast is een goede voorlichting naar de bewoners over het benodigde onderhoud en het gebruik van het ventilatiesysteem van groot belang.

De uit het Lente-akkoord voortgekomen KopStaart aanpak is in dit kader een duidelijke stap in de goede richting. Met name met de

vernieuwde BRL 8010 (Ventilatie Prestatie Keuring) kan een grote kwaliteitsslag worden gemaakt in de toepassing van mechanische balansventilatie.

REFERENTIES

1. Pluijm, W.M.P. van der, The robustness and effectiveness of mechanical ventilation in airtight dwellings; A study to the residential application of mechanical ventilation with heat recovery in the Netherlands. Afstudeerrapport, Technische Universiteit Eindhoven, 2010;
2. Sandberg, M., What is ventilation efficiëntie. Building and Environment, Vol. 16, no. 2, Elsevier 1981;
3. Sandberg, M., Sjöberg, M., The Use of Moments for Assessing Air Quality in Ventilated Rooms. Building and Environment, Vol. 18, no. 4, Elsevier 1983;
4. Mundt, E., Mathisen, H.M., Nielsen, P.V., Moser, A., Ventilation effectiveness. Rehva Federation of European Heating and Air-conditioning Associations, 2004.

Variant	Beschrijving	Local air change efficiency ($\epsilon_{a(p)}$) per meetpositie				Gepoolde standaarddeviatie
		1	2	3	4	
1	Laag ventilatiedebiet	1,02	1,00	0,99	0,99	0,03
2	Gemiddeld ventilatiedebiet	1,02	1,00	0,98	0,99	0,04
3	Hoog ventilatiedebiet	1,00	0,99	1,00	1,00	0,05
4	Zonder ventiel	0,99	0,98	1,00	1,02	0,05
5	Warmtebron onder sensor 2	1,05	0,96	0,99	0,99	0,05
6	Gekoelde lucht $\Delta T = 10$ °C.	1,02	1,00	0,99	0,99	0,04
7	Kast op 1 m afstand	1,05	0,96	0,99	1,00	0,05
8	Kast en gekoelde lucht $\Delta T = 5$ °C.	1,09	0,97	0,97	0,97	0,09
9	Kast en geopende deur	1,02	1,00	0,99	0,99	0,04
10	Afzuiging boven deur	0,97	1,06	0,96	1,01	0,08
11	Toevoer in wand andere zijde	0,97	1,00	1,01	1,01	0,05
12	Toevoer in plafond	0,98	1,01	1,00	1,01	0,05

-Tabel 3- Local air change efficiency op de vier meetposities in de mockup in het laboratorium. Een local air change efficiency ($\epsilon_{a(p)}$) van 1,00 betekent dat de lokale luchtleeftijd gelijk is aan de ruimtegemiddelde luchtleeftijd. Een $\epsilon_{a(p)}$ kleiner dan 1,00 betekent dat de lokale luchtleeftijd ouder is en $\epsilon_{a(p)}$ groter dan 1,00 dat de lokale luchtleeftijd jonger is.