

# Nieuwe metingen geven meer inzicht in comfortaspecten

Erwin Roijen

De combinatie van lokale, onverwarmde luchttoevoer met lagetemperatuurverwarming (ltv) levert bij ontwerpende partijen terughoudendheid op. Vooral het comfortniveau is omstreden. Dat is een gemiste kans voor innovatieve ventilatietechnieken en duurzame ontwikkeling met ltv. Cauberg-Huygen Raadgevende Ingenieurs onderzoekt in hun bouwfysisch laboratorium het comfort bij lokale luchttoevoer.

Uit praktijksituaties blijkt dat de combinatie van decentrale, onverwarmde luchttoevoer en een vloerverwarmingssysteem comfortklachten bij bewoners kan opleveren. Tochtverschijnselen bij traditionele luchttoevoer via roosters in de gevel zijn bij radiatorenverwarming een min of meer geaccepteerd verschijnsel. Deze, vaak oudere woningen, beschikken over een ruim warmteaanbod, waardoor de radiatoren met convectieve luchtstroom en warmtestraling de tocht die ontstaat in zekere mate compenseren. Bij goed geïsoleerde woningen met lage warmtevraag en lage systeemtemperaturen treedt echter onvoldoende menging op van de binnenstromende koude lucht met de verwarmde lucht. Vooral bij een harde wind op de gevel stroomt door standaardgevelroosters veel koude lucht naar binnen, wat tochtklachten oplevert.

Hoe groot het discomfort is, is ondanks de ruime ervaringen met natuurlijke luchttoevoer en vloerverwarming, nog niet

fundamenteel onderzocht en gekwantificeerd. In het kader van het onderzoeksprogramma 'Eos Demo Clusterproject innovatieve ventilatiesystemen' is daarom het thermisch comfort bij decentrale luchttoevoer onderzocht. Daartoe is in het bouwfysisch laboratorium van Cauberg-Huygen in Zwolle een proefopstelling gemaakt om dit onder gecontroleerde omstandigheden nader te onderzoeken. In breder perspectief is aangetoond dat je duurzame ltv-systemen (lagetemperatuurverwarming) ook comforttechnisch goed kunt combineren met geavanceerde (natuurlijke) ventilatiesystemen.

## DECENTRALE LUCHTTOEVOER

Een zelfregelend gevelrooster heeft als doel voor een constante lucht volumestroom te zorgen, ongeacht de grootte en de richting van de wind. Als de winddruk op de gevel toeneemt, sluit in een passief, zelfregelend rooster een klepje. Dit reduceert te grote en 's winters koude luchthoeveelheden. Ook een elektronisch geregeld luchttoevoerrooster kan de benodigde lucht volumestroom gedoseerd naar binnen laten stromen. Met een servosturing in het gevelrooster en een regeling op de centrale afvoerventilator kun je dan de mate van luchttoevoer en -afvoer naar behoefte regelen. Ook hiermee worden ongewenst grote (en 's winters koude) luchthoeveelheden gereduceerd.

De eerste zelfregelende roosters kwamen circa tien jaar geleden op de markt, in eerste instantie vanuit het oogpunt van energiebesparing. Het comfortonderzoek bij Cauberg-Huygen is verricht met (zelfregelende) gevelroosters van fabrikant Alusta, type Bingo (afbeelding 1).

Gevelventilatie-units vormen een andere optie voor decentrale luchttoevoer. Via een geveldoorvoer wordt buitenlucht aangezogen. Het comfortonderzoek bij Cauberg-Huygen is verricht met het type Sonair F+ van Innosource (afbeelding 2), waarbij de bovenzijde – waar de inblaasopening zit – zich op de gebruikelijke hoogte van 0,6 m boven het vloerniveau bevindt. Deze gevelventilatie-unit zorgt voor decentrale, vraaggestuurde mechanische toevoer van verse, gefilterde buitenlucht. De hoeveelheid toegevoerde lucht kan door de gebruiker zelf worden bepaald of automatisch worden geregeld op luchtkwaliteit.



1. Voorbeeld van een ZR-rooster (actief regelend).



2. Voorbeeld van een gevelventilatie-unit.

luchttoevoorziening		gevelrooster (Alusta)				gevelventilatie-unit (Innosource)		
		standaardrooster	passief/mechanisch zelfregelend rooster		actief/elektronisch zelfregelend rooster		Sonair F+	Sonair F+
winddruk op gevel/debiet		10 Pa	10 Pa	25 Pa	10 Pa	25 Pa	max. debiet (spuien)	25 dm <sup>3</sup> /s
percentage lucht-snelheden in de leefzone (in %)	minder dan 0,20 m/s	32	76	81	87	88	57	94
	0,20 - 0,24 m/s	12	7	2	6	5	15	3
	meer dan 0,24 m/s	56	17	17	7	7	28	3

Tabel 1. Numerieke samenvatting thermisch comfort (in de leefzone).

## LTV EN COMFORT

In woningen met vloerverwarming als hoofdverwarming is de convectieve luchtstroom permanent afwezig. Wel biedt vloerverwarming een aanmerkelijke stralingscompensatie voor de koudere gevelvlakken. Door toevoer van buitenlucht via de gevel, het beperkte verwarmingsvermogen per vierkante meter vloeroppervlak en een matige menging in de ruimte en de indicerende werking van de toevoerlucht is de kans op een onbehaaglijk binnenklimaat (lokaal discomfort) dan ook aanwezig. Comfortproblemen die hierbij kunnen optreden zijn:

- Tocht, veroorzaakt door luchtstromen door het rooster bij hoge toevoerhoeveelheden. In conventionele configuraties met een hogetemperatuurradiator onder het betreffende raam wordt deze koude buitenlucht gemengd met de luchtstroom van de radiator en daarmee verwarmd.
- Koudeval, veroorzaakt door stroming van relatief koude lucht langs glasoppervlakken in de gevel, in het bijzonder bij lage toevoersnelheden.
- Koudestraling, veroorzaakt door relatief koude glasoppervlakken in de gevel (straling).

Deze drie aspecten, die in afbeelding 3 schematisch zijn weergegeven voor een gevelrooster, zijn door iemand in de leefzone vaak niet goed te onderscheiden en kunnen gelijktijdig optreden. Het is dan lastig aan te geven wat de hoofdoorzaak is van comfortklachten. Foutieve conclusies over de rol van het verwarmings- en ventilatiesysteem liggen al snel voor de hand.

Koudeval en koudestraling zullen vooral optreden bij gevels met veel glas; natuurlijke luchttoevoer via gevels met veel glas is daarom extra kritisch. De luchtdoorlatendheid van de gevel en gevelementen is eveneens van belang.

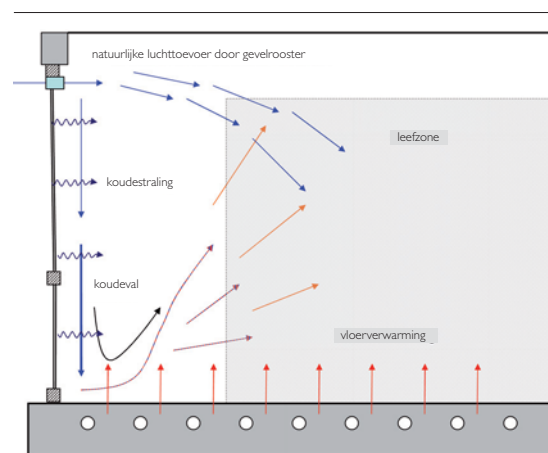
## ONDERZOEK IN DE KLIMAATKAMER

De beoordeling van het thermisch comfort bij verschillende typen natuurlijke luchttoevoer had plaats via een proefopstelling in de klimaatkamer van Cauberg-Huygen. Daar is een gevel met binnen- en buitenklimaat gesimuleerd (afbeelding 4). De buitenlucht wordt nagebootst door koeling van de ruimte aan de 'buitenzijde' van de gevel van de klimaatkamer tot 0 °C of lager. Dit simuleert een wintersituatie, waarbij koude lucht via de roosters in de verwarmde ruimte stroomt. Dit gebeurt bij een overdruk van 10 Pa ( $\pm 5$  m/s) en 25 Pa ( $\pm 7,5$  m/s). De winddruk van 25 Pa is gekozen om binnen het normale functionele bereik van ZR-roosters te blijven.

De temperatuur en luchtsnelheid worden gemeten door EnoTemp ClimaCubes. Bijzonder is dat de temperatuur en de luchtsnelheid worden gemeten met geluid. De ClimaCubes zenden geluidspulsen heen en weer tussen de sensoren. Aan de hand van de ontvangst van het geluid in de sensoren zijn de temperatuur en luchtsnelheid nauwkeurig en contactloos te bepalen. Het gemeten resultaat wordt grafisch duidelijk in 2D- en 3D-figures. Hierin is de temperatuur, luchtsnelheid en luchtstroming te zien.

## THERMISCH COMFORT

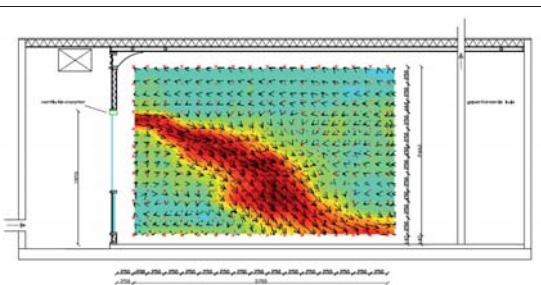
Het thermisch comfort wordt vooral bepaald door de luchttemperatuur en luchtsnelheid. Volgens het Bouwbesluit mag de luchtsnelheid in de leefzone van een verblijfsgebied, veroorzaakt door de toevoer van lucht, niet groter zijn dan



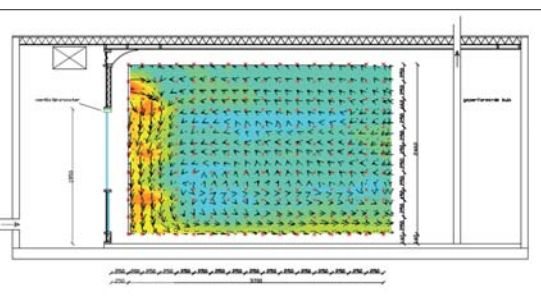
3. Dwarsdoorsnede van de gevel met een schematische weergave van de comfortaspecten.



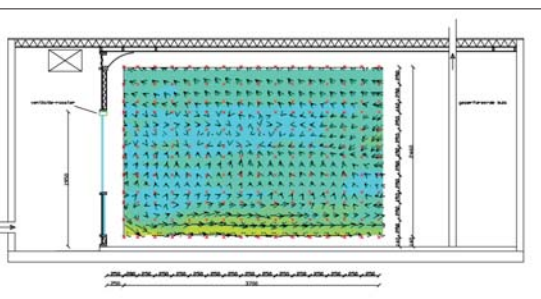
4. Meetkamer met daarin de proefgevel en de benodigde meetapparatuur.



5. Stromingspatroon ongeregeld rooster, drukverschil 10 Pa.



6. Stromingspatroon passieve regeling, drukverschil 25 Pa.



7. Stromingspatroon actieve regeling, drukverschil 25 Pa.

0,2 m/s. Voor kantoren bedraagt de maximale luchtsnelheid 0,15 m/s in de leefzone op 0,5 m uit de gevel of draught rate (DR) <15 procent. De meetwaarden worden verwerkt tot PMV- en PPD-waarden. PMV staat voor 'predicted mean vote' en geeft aan wat de gemiddelde beleving van het thermisch comfort is. Hierbij is 0 de neutrale situatie waarin (statistisch gezien) het minst aantal mensen klaagt. Omdat mensen het thermisch comfort verschillend ervaren, zullen ook dan klachten voorkomen. De PPD (predicted percentage dissatisfied) geeft aan wat het percentage is van klagers. Er wordt gestreefd naar een PMV die tussen -0,5 en +0,5 ligt. De PPD is dan kleiner dan 10 procent.

De behaaglijkheid wordt naar Fanger conform NEN-EN-ISO 7730:2005 bepaald. Om tochtverschijnselen in beeld te brengen, kun je ook uitgaan van de DR volgens NEN-EN-ISO 7730. Dit is een factor die aangeeft in hoeverre mensen 'tochtverschijnselen' ervaren.

## RESULTATEN

In tabel 1 is het percentage meetpunten vermeld dat binnen de luchtsnelheidsgrenzen van het Bouwbesluit valt. In de afbeeldingen 5, 6 en 7 wordt het stromingspatroon grafisch weergegeven. Vervolgens zijn deze stromingspatronen ver-

taald naar de draught-waarden en die zijn grafisch weergegeven in de afbeeldingen 8, 9 en 10.

Uit de getoonde figuren en de tabel valt te concluderen dat bij een standaardgevelrooster een dergelijke luchtstroom ontstaat, dat de hoge luchtsnelheden in de ruimte aanleiding geven tot tochtklachten. Bij een passief, zelfregulend gevelrooster blijft de gemiddelde luchtsnelheid, ook bij een hoog drukverschil, beperkt tot gemiddeld 0,10 m/s. Bij het drukverschil van 10 Pa is sprake van een vrijwel thermisch neutraal klimaat ( $PMV \approx 0$ ). De kans op tochtklachten blijft ook bij het hoge luchtdrukverschil beperkt tot minder dan 20 procent.

Bij een actief (elektronisch) zelfregulend gevelrooster blijft de gemiddelde luchtsnelheid bij een hoog drukverschil beperkt tot gemiddeld 0,06 m/s, wat zeer laag is. Bij het drukverschil van 10 Pa is sprake van een vrijwel thermisch neutraal klimaat ( $PMV \approx 0$ ). De kans op tochtklachten blijft ook bij het hoge luchtdrukverschil beperkt tot minder dan 10 procent. Bij het zelfregelende gevelrooster is er een beperkte verstoring van de binnentemperatuur, terwijl bij een standaardventilatirooster er dusdanig veel koude lucht binnenstroomt dat de ruimte merkbaar afkoelt. Bij alle roostertypen ontstaan bij de uitstroomopening luchtsnelheden van meer dan 0,2 m/s, maar deze bevinden zich veelal buiten de leefzone.

In het kader van het Bouwbesluit is de luchtsnelheid in de leefzone van belang. Dan bereikt het elektronisch zelfregulende rooster de beste resultaten en is het aantal meetpunten met een hoge luchtsnelheid duidelijk lager dan bij het ongeregelde rooster. De hoge luchtsnelheden hebben voornamelijk plaats op kleine hoogte boven de vloer.

Uit de metingen met de gevelventilatie-unit valt te concluderen dat bij een maximaal inblaasdebiet (spuien!) lokaal hoge luchtsnelheden in de ruimte ontstaan, waardoor lokaal discomfort ontstaat. Vooral op vloerniveau ligt de luchtsnelheid hoger. Als je een inblaasdebiet conform het Bouwbesluit hanteert, blijft de gemiddelde luchtsnelheid in de leefzone laag en is nauwelijks kans op tochtklachten.

## CONCLUSIES

Met de innovatieve meetapparatuur en de speciaal ingerichte klimaatkamer van Cauberg-Huygen is het mogelijk de luchtstromen en het thermisch comfort in een ruimte gedetailleerd vast te stellen. In overeenstemming met de praktijkervaring laat het klimaatkameronderzoek bij een standaardgevelrooster een aanmerkelijke kans op tochtklachten zien. Dit komt vooral door de grote lucht volumestroom bij een hogere winddruk op de gevel. De zelfregelende roosters

van Alusta weten de lucht volumestroom dusdanig te beperken dat het comfort voldoende tot goed is, ook bij afwezigheid van radiatorverwarming.

In algemene zin kunnen we stellen dat zelfregelende gevelroosters uit het oogpunt van comfort duidelijk voordeel bieden. Het verschil tussen mechanische en elektronische gevelroosters is vooral kort bij de gevel (buiten de leefzone) merkbaar. Daarom zal het verschil verder vooral in de energiebesparing tot uitdrukking komen.

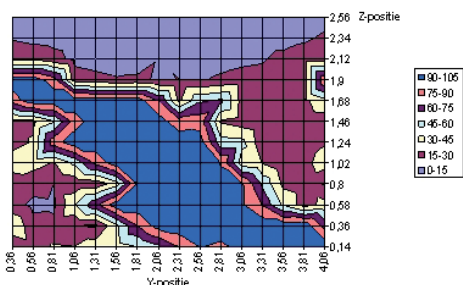
Het onderzoek toont aan dat zelfregelende gevelroosters ook bij een winddruk van 25 Pa op de gevel een goed comfort bieden. In de praktijk kunnen hogere winddrukken optreden, vooral bij hoogbouw en in de kuststreek. De vraag is of een zelfregelend gevelrooster ook dan de luchttoevoer voldoende weet te beheersen en in hoeverre overige luchtlekkages in de gevel een rol gaan spelen.

Met de innovatieve, akoestische meetset zijn zelfs kleine luchtlekken in de regelunit van de zelfregelende gevelroosters geregistreerd. Daaruit blijkt dat de gevelroosters bij een hoge winddruk op de gevel zover sluiten dat de buitenlucht via minieme openingen in de gevelelementen naar binnen stroomt.

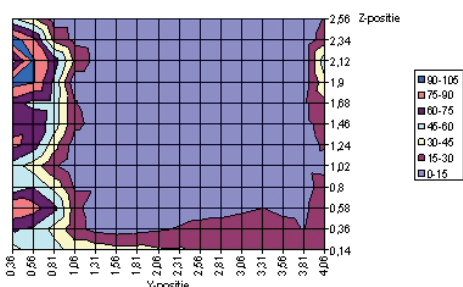
Opgemerkt moet worden dat bovengenoemde onderzoeksresultaten alleen van toepassing zijn voor de specifieke onderzochte situatie, waarbij:

- ventilatieroosters van het merk Alusta zijn toegepast. Deze roosters hebben in de zelfregelende uitvoering een omhoog gerichte instroomopening. Bij roosters met een andere instroomopening kan dit van invloed zijn op het stromingspatroon en dus het comfort in de leefzone;
- in het onderzoek is uitgegaan van een raam met borstwering. Bij bijvoorbeeld een volledig glazen gevel zal de koudeval en koudestraling groter zijn. Dit kan dus een negatieve invloed hebben op het comfort in de leefzone.

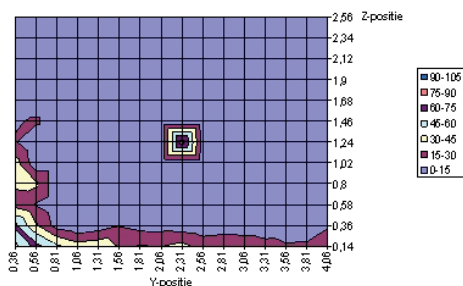
Decentrale luchttoevoer moeten we daarom altijd blijven bezien in relatie tot de gevelkwaliteit en het afgiftesysteem voor verwarming. Hoofdzakelijk is dat de druk-volumestroomkarakteristiek van een ZR-rooster daadwerkelijk vlak verloopt. Voor zelfregelende gevelroosters geldt nu als eis een vlakke druk-volumestroomkarakteristiek tot een drukverschil van 25 Pa, terwijl het thermisch comfort bij drukverschillen daarboven in feite ook moet zijn gegarandeerd. Volgens de fabrikant bieden elektronisch zelfregelende roosters bij hoge winddrukken (100 Pa) het voordeel dat ze actief geheel sluiten. Via infiltratie in de gevel zal dan voldoende luchttoevoer overblijven. Kwaliteitsborging en eventueel certificering van de zelfregelende eigenschappen zijn daarom



8. Draught-waarde standaardrooster, winddruk 10 Pa.



9. Draught-waarde mechanisch zelfregelend rooster, winddruk 25 Pa.



10. Draught-waarde elektronisch zelfregelend rooster, winddruk 25 Pa.

van wezenlijk belang voor een klachtenvrije toepassing van gevelroosters.

Een verantwoord ontwerp staat of valt bij het comfort van de bewoners. Producenten van ventilatie- en verwarmingssystemen, maar ook projectontwikkelaars en ontwerpers kunnen nu bij twijfel vóór de daadwerkelijke projectrealisatie het comfortniveau van een bepaalde combinatie van gevelopbouw, verwarming- en ventilatiesysteem laten bepalen en desgewenst kiezen voor een alternatief. Dit geeft vooraf meer zekerheid en voorkomt verrassingen achteraf. Ontwerpende partijen hebben hiermee een nieuw instrument voor een optimale afstemming van gevelontwerp en klimaatstelsel.

Auteur

Ing. Erwin Roijen, Cauberg-Huygen R.I., Maastricht