

# Quasi-steady-state bepalingsmethode

Om in België passieve koeltechnieken te stimuleren, moeten quasi-steady-state bepalingmethoden ontwikkeld en ingevoerd worden. Uitgaande van de Europese norm EN 13790 ontwikkelden de auteurs van dit artikel een bepalingmethode voor opengaande ramen in kantoren en scholen zonder actieve koeling. Samen met het ventilatiedebiet bepalen een temperatuurcorrectiefactor en een tijdsfractie van gebruik het extra ventilatieverlies. De auteurs leidden de twee laatstgenoemde factoren af aan de hand van dynamische Trnsys-simulaties van drie referentiegebouwen. De validatieresultaten tonen een duidelijk verband tussen de oververhittingindicator, afgeleid uit de EPB-berekening en de temperatuuroverschrijdingen voorspeld door Trnsys.

Ir.-Arch. K. Goethals en prof.dr.ir.-arch. Arnold Janssens, onderzoeksgroep Bouwfysica, Constructie en Klimaatbeheersing, Faculteit Ingenieurswetenschappen, Universiteit Gent

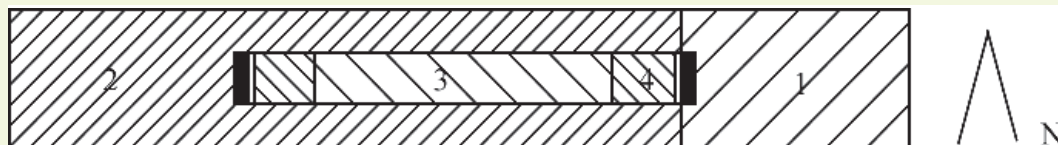
Als eerste soort verandert de mens bewust de aarde. Nu ondergaat het klimaat een verandering die mogelijk kritiek zal blijken, althans voor de mens en andere levende organismen. Daarom nemen overheden wereldwijd maatregelen om de uitstoot van broeikasgassen terug te dringen. Anderzijds raakt de voorraad fossiele brandstoffen uitgeput. Dit vereist in eerste instantie een collectieve reductie van het energiegebruik, naast het aanwenden van hernieuwbare energiebronnen. Een voorbeeld: in Europa was de bouwsector goed voor 40% van het energiegebruik en daarom keurde het Europees Parlement in 2002 de richtlijn 'Energieprestatie van Gebouwen 2002/91/EG' (EPBD) [1] goed. Samengevat dienen de lidstaten onder andere aan de volgende voorwaarden te voldoen: de ontwikkeling van een gezamenlijke aanpak voor de berekening

van de energieprestatie van gebouwen en het invoeren van minimumeisen voor zowel nieuwe als bestaande gebouwen die grondig aangepakt worden.

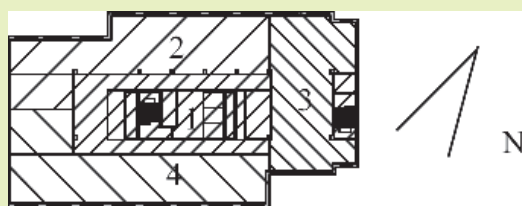
De lidstaten voerden bestaande bepalingmethoden in en ontwikkelden nieuwe; jammer genoeg zonder de nodige samenwerking en informatieuitwisseling. Dit blijkt uit een literatuurstudie, waarbij onder andere Europese normen en normen van het Vlaams Gewest (België), Nederland, Duitsland en het Verenigd Koninkrijk onder handen zijn genomen. In het bijzonder bepalingmethoden van tijdelijk verhoogde ventilatiedebieten, zoals het openen van ramen of mechanische dag- of nachtventilatie, zijn zeldzaam of ontbreken zelfs. Daar staat tegenover dat passieve koeltechnieken voor een enorm besparingspotentieel zorgen, zoals aangegeven door onder andere Rijal et

al. [4], Breesch & Janssens [5]. Het thermisch comfort is beter, er zijn kleinere of geen koelinstallaties nodig en het energiegebruik ligt dus navenant lager. Bovendien ontlast een verminderde piekkoelvraag de energieproductiesector. Kortom, er moeten nieuwe bepalingmethoden ontwikkeld en ingevoerd worden om het gebruik van tijdelijk verhoogde ventilatie aan te moedigen.

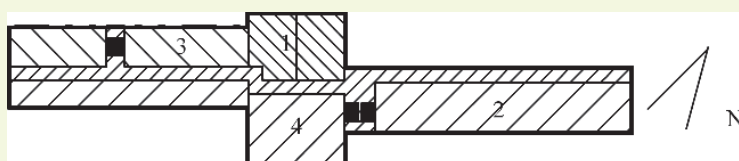
Als onderdeel van het onderzoeksproject Epicool, financieel gedragen door IBGE-Bim, ontwikkelden de auteurs een methode om de impact van tijdelijk verhoogde ventilatie via opengaande ramen gedurende de dag in kantoren en scholen te begroten. Deze methode wordt in dit artikel beschreven. Omdat in België de nadruk ligt op een maandgemiddelde quasi-steady-state methode, geldt deze correlatiemethode als startpunt. Bovendien richt de



-Figuur 1- Plattegrond van het kleine kantoorgebouw



-Figuur 2- Verdiepingsplan van het grote kantoorgebouw



-Figuur 3- Plattegrond van de school

nieuwe methode zich op het oververhittingsrisico dat wordt ingeschat aan de hand van de zogenaamde oververhittingsindicator.

## METHODIEK

De studie gebruikt drie referentiegebouwen als studieobject. Voor elk gebouw wordt de quasi-steady-state berekeningsmethode in een spreadsheet opgebouwd, terwijl de dynamische simulaties met het multizone energiesimulatieprogramma Trnsys [6] uitgevoerd worden. Dit laatste gebeurt volgens de randvoorwaarden die hierna worden uitgelegd.

### Definitie referentiegebouwen

Het klein kantoorgebouw bestaat uit zes energiesectoren (figuur 1). Een cafeteria (1), een lobby (2), een technische ruimte (3) en sanitair (4) vormen de begane grond. Op de twee bovenliggende verdiepingen vervangt de kantorenzone de cafeteria en lobby. Vergaderzalen nemen de plaats in van de technische ruimte. Het grote kantoorgebouw bestaat uit tien opeenvolgende verdiepingen (figuur 2) die met uitzondering van de begane grond identiek zijn ingedeeld: een noordwestelijke kantorengroep met vergaderzaal (2), een noordoostelijke kantorengroep (3) en een zuidoostelijke kantorengroep met vergaderzaal (4). Ten slotte vormen vier energiesectoren de school (figuur 3): sanitair en de technische ruimte (1), circulatie (2), een noordwestelijke klaslokalengroep (3) en een zuidoostelijke klaslokalengroep (4). Deze indeling geldt voor de EPB-berekening. Bij de dynamische simulaties daarentegen worden sommige energiesectoren verder ingedeeld in de hiervoor aangehaalde ruimten. Om de representativiteit te verhogen worden voor het kleine kantoor twee kwaliteitsniveaus bovenop de originele configuratie gedefinieerd. De drie kwaliteitsniveaus zijn 'aanvaardbaar' (ACC), 'goed' (GOO) en 'heel goed' (VER) ten opzichte van de Vlaamse minimumeisen. Ze worden bepaald door het aanpassen van de:

- kwaliteit van de buitenschil: gemiddelde U-waarde, zonnewering, zontoetredingsfac-

tor van de beglazing en de luchtdichtheid;

- systeemefficiëntie: sturing van de verlichting en effectiviteit van de warmteterugwinning.

Voor het grote kantoorgebouw en de school wordt enkel het kwaliteitsniveau 'aanvaardbaar' onderzocht. Daarnaast wordt de warmtebelasting gevarieerd door acht niveaus interne warmtewinsten te beschouwen: een percentage uiteenlopend van 12.5% tot 100% van de standaardbelasting, gebruikt door de EPB-software. Ten slotte beschouwen de auteurs de oppervlakte opengaande ramen  $A_{win,secij}$  ( $m^2$ ) als percentage van de gebruiksoppervlakte  $A_{f,secij}$  ( $m^2$ ) van de energiesector, uitgedrukt als  $r_{win}$  (-). Voor deze studie worden percentages gelijk aan 1%, 6%, 11% en 16% in rekening gebracht, zoals hiervoor beschreven. Hierbij veronderstellen de auteurs dat het sanitair, de technische ruimten, de circulatie en de vergaderzalen niet voorzien zijn van opengaande ramen. Hierdoor stemmen de energiesectoren zoals gebruikt in EPB overeen met de indeling in Trnsys. Dit is nodig om de factoren van de berekeningsmethode uit te drukken als functie van een parameter van de energiesector.

### Randvoorwaarden dynamische simulaties

Aangezien de gebruikte EPB-randvoorwaarden – buitentemperatuur en zonneirradiantie – gelden voor België, wordt het Meteorornormbestand geldig voor Ukkel gebruikt bij de dynamische simulaties. Een voorafgaande analyse van het klimaat geeft aan dat het Meteorornormbestand het klimaat van de jaren 2004 tot en met 2008 goed benadert. Om een comfortabele binnenomgeving te garanderen, voert een mechanisch ventilatiesysteem verse, geconditioneerde lucht toe. Tijdens verwarmingsregime zorgt een verschilregelbaar gekoppeld aan de verwarmingsinstallatie met onbeperkte capaciteit voor een luchttemperatuur tussen 19.5 °C en 20.5 °C. Daarentegen beschikken de referentiegebouwen niet over een actieve koelinstallatie, want bij een operationele setpunttemperatuur van

23 °C [7] openen de gebruikers hoogstwaarschijnlijk de ramen niet. De werking van de systemen hangt af van de bezetting van de gebouwen die overeenstemt met de Belgische werkalender. Daarbij geldt per ruimte en dus functie een verondersteld typisch bezettingsprofiel. Deze benadering wordt als voldoende verondersteld, gezien het sterk vereenvoudigd karakter van de EPB-berekening. De gegevens worden gebruikt om het aantal branduren van de verlichting vast te leggen, om de interne warmtewinsten door personen te bepalen en om de tijdsfractie voor hygiënische ventilatie te bepalen (die identiek zijn aan de totale waarden gebruikt bij de EPB-berekening). Het gebruik van het gebouw daarentegen, wordt tot op zekere hoogte niet als een statisch gegeven toegepast. Het gebruikersprofiel baseert zich namelijk op een reactie op mogelijk snel wisselende omgevingsfactoren. Deze studie richt zich op opengaande ramen en daarom wordt het handmatig openen van ramen logischerwijs gebaseerd op empirische modellen. De laatste jaren hebben verschillende onderzoekers zich gericht op de invloed van de gemiddelde kantoorgebruiker op zijn omgeving. Hierbij relateerden de onderzoekers het gebruikersgedrag aan de buitentemperatuur, de operationele temperatuur en het tijdstip of een combinatie. Gezien de verregaande benadering door het gebruik van een vast bezettingsprofiel – zoals ook de EPB-berekening – wordt geen rekening gehouden met het tijdstip. Daarom implementeren de auteurs van dit artikel het 'Humphreys adaptive algorithm' [4] in Trnsys (tabel 1). Het algoritme beschrijft een verband van het gebruikersgedrag met de operationele temperatuur en de buitentemperatuur door gebruik te maken van de logit-functie. Figuur 4 illustreert dat er slechts bij extreem hoge temperaturen een kans bestaat dat er ramen geopend worden. De debieten die via de ramen optreden, zijn gebaseerd op de EL<sup>2</sup>EP-studie [8]. Daarin worden voor een eenvoudige kamer de venti-

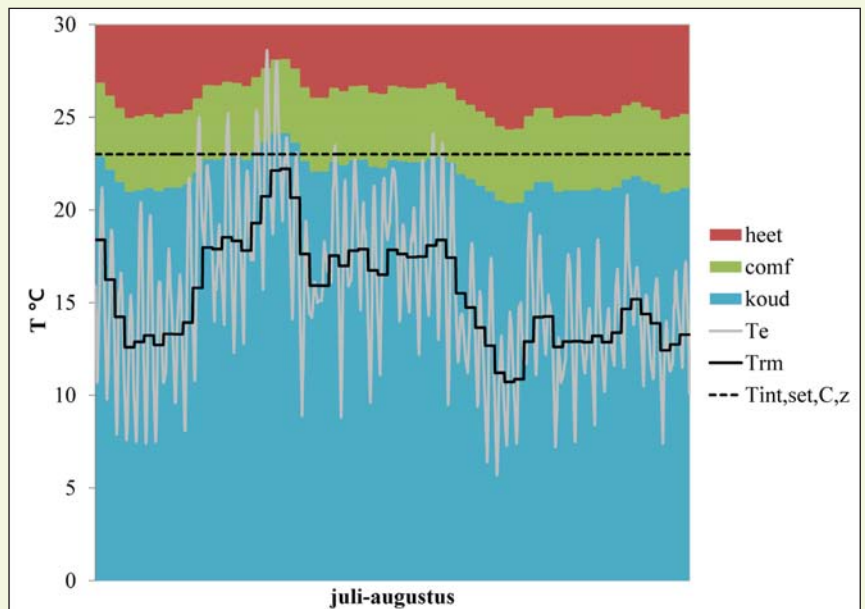
latiedebieten bij verschillende raamstanden berekend met een gekoppelde Trnsys-Comis-simulatie. Elke m<sup>2</sup> volledig geopend raampervlak zorgt voor een ventilatiedebiet dat gelijk is aan 221 m<sup>3</sup>/h. Dit stemt overeen met de debieten die zijn voorspeld aan de hand van de berekeningsmethode voor enkelzijdige ventilatie, zoals geformuleerd in EN 15242 [3]. In de veronderstelling dat gebruikers de ramen volledig openen, drukken de auteurs van dit artikel de debieten via de ramen uit als functie van de verhouding van het oppervlak volledig opengaande ramen tot de gebruiksoppervlakte  $r_{win}$  (-).

### Oververhittingsrisico

Het risico op oververhitting geldt als enige indicator in passief gekoelde gebouwen. De veronderstelling is namelijk dat ramen van actief gekoelde gebouwen gesloten blijven. Terwijl de Nederlandse EPC-regelgeving enkel een informatieve indicator voor woongebouwen definieert, wordt een hoog risico op oververhitting in de Belgische context afgestraft. Hoewel beide benaderingen uitgaan van een maandgemiddelde balans, zijn er verschillen. De Nederlandse aanpak relateert de risico-indicator aan de berekende koelbehoefte en beschouwt slechts één maand. België daarentegen, gebruikt de zogenaamde oververhittingsindicator  $I_{overh}$  (Kh), in navolging van EN 13790 [2]. Deze indicator gaat uit van de niet-nuttige warmtewinsten:

$$I_{overh} = \sum_m \frac{(1 - \eta_{H,gn}) Q_{C,gn}}{H_{tr,adj} + H_{ve,adj}} \frac{1000}{3.6} \quad (1)$$

Voor elke energiesector wordt de dimensieloze benuttingsfactor voor warmtewinsten  $\eta_{H,gn}$  (-), en de interne warmtewinsten en de zonnepwinsten  $Q_{C,gn}$  (MJ) berekend naast de warmteovergangscoefficienten voor transmissie  $H_{tr,adj}$  (W/K) en voor ventilatie  $H_{ve,adj}$  (W/K). In België wordt momenteel de oververhittingsindicator gedefinieerd ten opzichte van de setpunttemperatuur voor verwarming en alleen toegepast bij woongebouwen. Omdat gebruikers ramen normaliter pas openen bij een hogere binnentemperatuur, gebruiken de auteurs van dit artikel de setpunttemperatuur voor koeling als referentietemperatuur. Daarnaast wordt de oververhittingsindicator voor het eerst toegepast op kantoren en scholen. Net zoals bij de originele toepassing, toont de oververhittingsindicator een lineair verloop met de temperatuuroverschrijdingen [9], afgeleid van dynamische simulaties maar met een grote spreiding tussen de energiesectoren (figuur 5). Deze spreiding, die ook duidelijk is wanneer de setpunttemperatuur voor verwarming als referentie geldt, kan als volgt



-Figuur 4- Comfortzones als functie van de 'running mean outdoor temperature'

N°	Parameter	Symbol	Frequentie	Bepaling/bron
1	Buitenluchttemperatuur	qe	1/h	Klimaatbestand
2	Gemiddelde buitentemperatuur	qe,d	1/24h	Berekend
3	"Running mean outdoor temperature"	qrm	1/24h	EN15251
4	"Running mean response"	$\alpha$	Constant	0.8
5	Comforttemperatuur	qcomf	1/24h	$\dot{e}_m > 0 : \dot{e}_{comf} = 0.33 \times \dot{e}_m + 18.8$ $\dot{e}_m \leq 0 : \dot{e}_{comf} = 0.09 \times \dot{e}_m + 22.6$
6	Comfort	Comf	1/h	Comf=ja als $ \dot{e}_p - \dot{e}_{comf}  \leq 2^\circ\text{C}$ Comf=heet als $(\dot{e}_p - \dot{e}_{comf}) > 2^\circ\text{C}$ Comf=koud als $(\dot{e}_p - \dot{e}_{comf}) < -2^\circ\text{C}$
7	Logit functie	Func	1/h	$\text{logit}(p) = 0.171 \times \dot{e}_p + 0.166 \times \dot{e}_c - 6.4$
8	Kansfunctie open raam	p	1/h	$p = \frac{\exp(\text{Func})}{1 + \exp(\text{Func})}$
9	Random getal tussen 0 en 1	Rn	1/h	Input uit Excel
10	Raamstand (0 = dicht, 1 = open)	iwin	1/h	Comf = heet en raam dicht: als $p > Rn$ raam open Comf = koud en raam open: als $Rn > p$ raam dicht

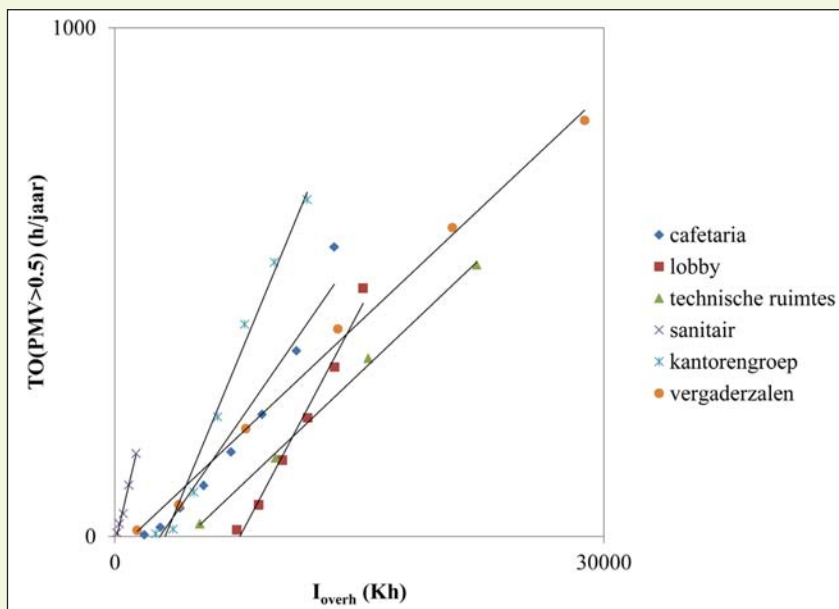
-Tabel 1- Stappen van de implementatie van het "Humphreys adaptive algorithm" in Trnsys

verklaard worden. In eerste instantie wijkt de voorspelde transmissie via de grond sterk af, wat voornamelijk invloed heeft in de lobby, de technische ruimtes en het sanitair. Daarnaast richt de temperatuuroverschrijdingsmethode zich op de bezettingsperiode, terwijl EPB uitgaat van maandgemiddelde waarden. Daarom leiden hoge winsten buiten de bezettingsperiode tot een afwijkende beoordeling van het oververhittingsrisico. Ten slotte geeft de oververhittingindicator slechts een kans op oververhitting, afgelijnd door twee grenzen. Wanneer de oververhittingindicator kleiner is dan 1.000 Kh, bestaat slechts een geringe kans op oververhitting, terwijl bij

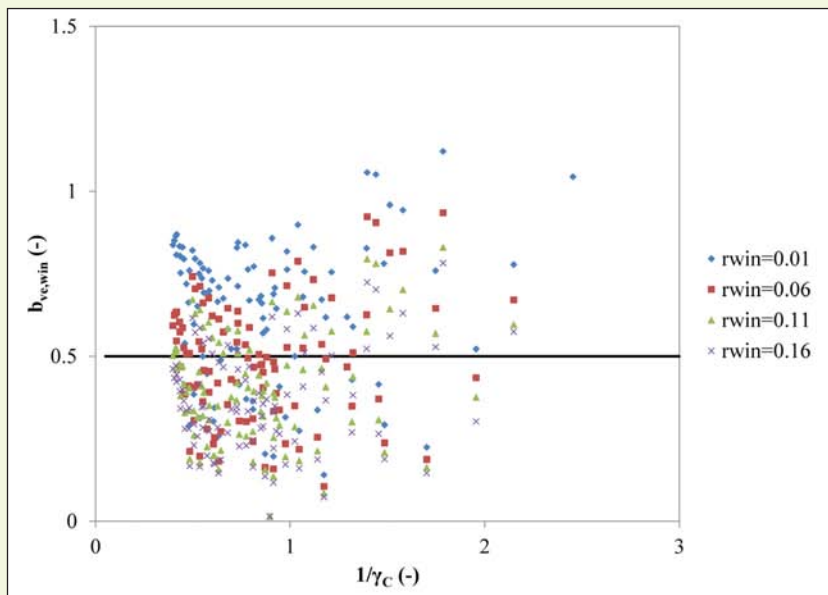
$I_{overh} = 10.000$  Kh zo goed als zeker oververhitting plaatsvindt. De temperatuuroverschrijdingsmethode daarentegen, geeft de werkelijke oververhitting weer – voor zover multizone energiesimulatie het thermisch comfort goed inschat. Wanneer TO (PMV > 0.5) meer dan 100 h/jaar bedraagt, is er sprake van onvoldoende thermisch comfort.

### BEPALINGSMETHODE

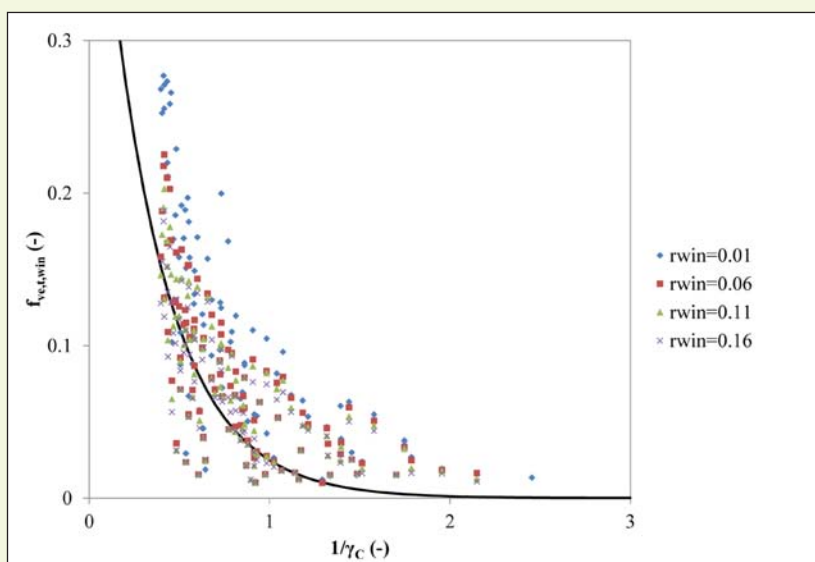
Voor de implementatie van opengaande ramen geldt de bepalingmethode beschreven in EN 13790 [2] als referentie. Zoals aangegeven in vergelijking (1), wordt het verlies door ventilatie in rekening gebracht aan de hand



-Figuur 5- Lineair verband tussen de aangepaste oververhittingindicator en de temperatuuroverschrijdingen voor het kleine kantoorgebouw



-Figuur 6- Temperatuurcorrectiefactor voor opengange ramen  $b_{ve,win}$  als functie van het omgekeerde van de dimensieloze warmtebalansverhouding  $1/\gamma_c$  voor het kleine kantoorgebouw



-Figuur 7- Tijdsfractie van gebruik voor opengange ramen  $f_{ve,t,win}$  als functie van het omgekeerde van de dimensieloze warmtebalansverhouding  $1/\gamma_c$  voor het kleine kantoorgebouw

van een warmteovergangscoefficiënt voor ventilatie  $H_{ve,adj}$  (W/K):

$$H_{ve,adj} = \rho_a c_a \left( \sum_k b_{ve,k} f_{ve,t,k} q_{ve,k} \right) \quad (2)$$

Hierbij staat  $\rho_a c_a$  (J/(m<sup>3</sup>.K)) voor de warmtecapaciteit van lucht per volume en  $q_{ve,k}$  (m<sup>3</sup>/s) voor het ventilatiedebiet van ventilatietype k (dit betreft infiltratie, natuurlijke of mechanische ventilatie en/of tijdelijk verhoogde ventilatie). Daarnaast zorgt de temperatuurcorrectiefactor  $b_{ve,k}$  (-) voor een aangepaste toevoertemperatuur wanneer de toevoertemperatuur verschilt van de maandgemiddelde buitentemperatuur, zoals het geval is bij opengange ramen:

$$b_{ve,k} = \frac{(\theta_{int,set} - \theta_{sup,k})}{(\theta_{int,set} - \theta_e)} \quad (3)$$

Ten slotte verschilt de tijdsfractie van gebruik  $f_{ve,t,k}$  (-) van 1 wanneer het ventilatietype k slechts gedurende een beperkte tijd werkt. De bepaling van de twee laatstgenoemde factoren voor opengange ramen in kantoren en scholen is het doel in dit artikel. In navolging van de benadering die wordt gebruikt om de benuttingsfactor te bepalen, relateren de auteurs – indien mogelijk – beide factoren aan het tijdelijk verhoogd ventilatiedebiet en de dimensieloze verhouding van de warmtegewinsten  $Q_{C,gn}$  (MJ) tot de warmteverliezen  $Q_{C,ht}$  (MJ) in het geval van koeling  $\gamma_c$  (-) als de ramen gesloten blijven.

$$\gamma_c = \frac{Q_{C,gn}}{Q_{C,ht}} \quad (4)$$

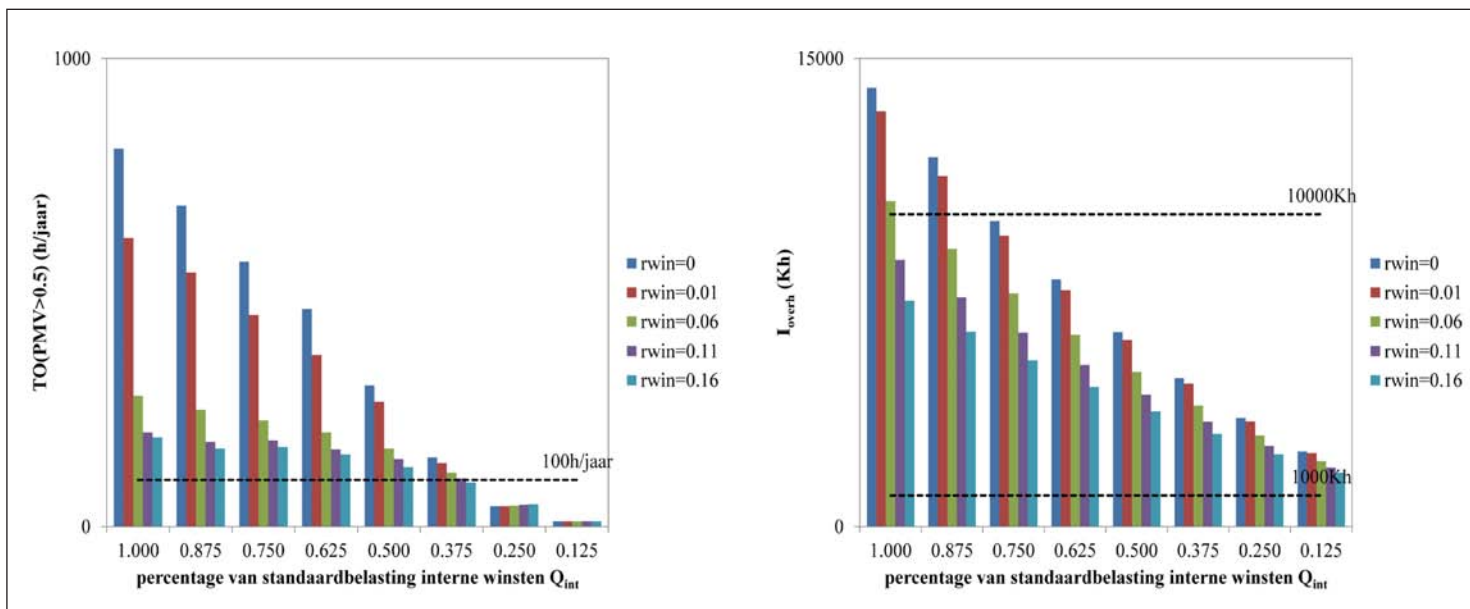
## RESULTATEN

### Temperatuurcorrectiefactor

Figuur 6 toont als voorbeeld de temperatuurcorrectiefactor voor opengange ramen  $b_{ve,win}$  (-) als functie van het omgekeerde van de dimensieloze warmtebalansverhouding  $1/\gamma_c$  (-) voor het kleine kantoorgebouw. De vier reeksen komen overeen met het percentage opengange ramen ten opzichte van de gebruiksoppervlakte  $r_{win}$  (-). De temperatuurcorrectiefactor beschrijft geen eenduidig verband met beide vermelde parameters, ook niet door de wintermaanden – waarin gebruikers ramen slechts gedurende korte tijd openen – uit de dataverzameling te schrappen. Daarom stellen de auteurs voor om de temperatuurcorrectiefactor gelijk te stellen aan 0.5. Dit is bij benadering gelijk aan het rekenkundig gemiddelde van de volledige dataverzameling.

### Tijdsfractie van gebruik

Zoals aangegeven in figuur 7, beschrijft de tijdsfractie van gebruik van opengange ramen



-Figuur 8- Temperatuuroverschrijdingen en oververhittingindicator van de kantorenzone van het kleine kantoorgebouw als functie van het percentage van de standaardbelasting interne winsten  $Q_{int}$

$f_{ve,t,win}(-)$  bij benadering een exponentieel verband met het omgekeerde van de dimensieloze warmtebalansverhouding  $1/\gamma_c(-)$ . Een bijkomende bepaling in functie van het percentage opengaande ramen ten opzichte van de gebruiksooppervlakte  $r_{win}(-)$  blijkt onmogelijk, rekening houdend met de grote spreiding. Figuur 7 geeft evenwel slechts het resultaat weer van het kleine kantoorgebouw. Om een algemeen verband af te leiden worden ook de resultaten van de overige gebouwen in rekening gebracht. Hierbij wordt de tijdsfractie van gebruik beperkt tot 0.3. Dit is overeenkomstig de maximale bezettingsperiode, met het volgende benaderende verband als resultaat:

$$f_{ve,t,win} = \min\left(0.3; 0.5e^{\left(\frac{-3}{\gamma_c}\right)}\right) \quad (5)$$

#### Validatie

De validatie van de voorgestelde methode gebeurde aan de hand van dezelfde groep referentiegebouwen. Figuur 8 geeft als voorbeeld de temperatuuroverschrijdingen en de oververhittingsindicator van de kantorenzone van het klein kantoorgebouw als functie van het percentage van de standaardbelasting interne winsten  $Q_{int}$ . Rekening houdend met de grenzen die zijn vastgelegd voor beide indicatoren, geeft de aangepaste maandgemiddelde quasi-steady-state bepalingmethode een risico op oververhitting die bij benadering overeenstemt met de voorspelde temperatuuroverschrijdingen. Slechts bij een heel hoge dimensieloze warmtebalansverhouding  $\gamma_c$  wijken beide indicatoren sterk af. Deze mate van oververhitting is echter ontoelaatbaar en dus irrelevant voor de validatie van de bepalingmethode.

#### BESLUIT

De auteurs van dit artikel hebben een quasi-steady-state bepalingmethode van opengaande ramen in kantoren en scholen ontwikkeld om het risico op oververhitting in te schatten. In navolging van de Europese norm EN 13790, brengt een warmteovergangscoefficiënt voor ventilatie de impact van opengaande ramen in rekening. Deze hangt op zijn beurt af van de warmtecapaciteit van lucht per volume, een karakteristiek ventilatiedebiet, een temperatuurcorrectiefactor en een tijdsfractie van gebruik. De drie laatstgenoemde factoren steunen op dynamische simulaties aan de hand van multizone energiesimulatiesoftware. In dit artikel hebben de auteurs de temperatuurcorrectiefactor en een verband tussen de tijdsfractie van gebruik en het omgekeerde van de dimensieloze warmtebalansverhouding voor koeling afgeleid aan de hand van dynamische simulaties van drie referentiegebouwen. Vergelijking van de temperatuuroverschrijdingen voorspeld met dynamische simulaties en de oververhittingindicator als onderdeel van de EPB-berekening, geeft aan dat de nieuwe quasi-steady-state methode geschikt is om in de EPB-software te implementeren.

#### ERKENNING

Mede dankzij de financiering van Leefmilieu Brussel is dit onderzoek tot stand gekomen (project IBGE/Bim-Epicool).

#### REFERENTIES

1. Breesch, H., Bossaer, A. & Janssens, A. Passive cooling in a low-energy office building. *Solar Energy* 79, 682-696, 2005. (in Engels)

2. CEN. EN 13790 – Energy performance of buildings – Calculation of energy use for space heating and cooling. Brussels, 2007. (in Engels)
3. CEN. EN 15242: Calculation methods for the determination of air flow rates in buildings including infiltration. Brussels, 2007.
4. EU. 2002. Directive 2002/91/EC. Brussels. (in Engels)
5. KUL-BWF, UG-VAS, KUL-TME & KUL-Electa. IWT Gebou EL<sup>2</sup>EP – Residential buildings: a methodology for the overall optimization of residential buildings with a very low energy consumption and environmental pollution, 2006.
6. NBN. EN 15251: Binnenmilieu gerelateerde input parameters voor ontwerp en beoordeling van energieprestatie van gebouwen voor de kwaliteit van binnenlucht, het thermisch comfort, de verlichting en akoestiek. Brussel, 2007.
7. Rijal, H., Tuohy, P., Humphreys, M., Nicol, J., Samuel, A. & Clarke, J. Using results from field surveys to predict the effect of open windows on thermal comfort and energy use in buildings. *Energy and Buildings* 39, 823-836, 2007. (in Engels)
8. University of Wisconsin. Trnsys 16.01 – A transient system simulation program. Madison, 2006. (in Engels)
9. Van der Linden, A., Boerstra, A., Raue, A. & Kurvers, S. Thermal indoor climate building performance characterized by human response. *Energy and Buildings* 34, No. 7, 737-744, 2002. (in Engels)