

Adaptief thermisch comfort verklaard met Fanger-model

Over thermisch comfort is de Predicted Mean Vote (PMV; Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD)) een alom bekende en veel gebruikte prestatie-indicator [4]. Deze indicator wordt berekend met behulp van het zogenaamde Fanger-model dat is gebaseerd op de warmtebalans van het lichaam. Alternatieve indicatoren op het gebied van thermisch comfort hebben de laatste jaren echter ook de interesse gewekt. Ontwikkelingen worden gevonden in meer gedetailleerde indicatoren die volgen uit de toepassing van thermofysiologische modellen. Dit is lopend onderzoek. Het adaptief thermisch comfortmodel (ATC), waarbij de prestatie-indicator wordt weergegeven door de operationele binnentemperatuur, als functie van de buitentemperatuur, is een voorbeeld van een minder complexe prestatie-indicator in vergelijking tot de PMV. Dit model is een reactie op de verschillen die gevonden werden tussen de PMV/PPD-waardering en het werkelijk beleefd thermisch comfort voor specifieke typen gebouwen (voornamelijk niet geconditioneerd) in warme klimaten.

- door W. van der Linden, dr.ir. M.G.L.C. Loomans*
en prof.dr.ir. J. Hensen**

Op dit moment heeft het ATC-model een plaats verworven in nieuw uitgegeven richtlijnen en standaarden zoals [1en2]. Hierin is toepassing van het ATC-model optioneel voor natuurlijk geventileerde ruimtes. Voor mechanisch geventileerde gebouwen moet de PMV/PPD-aanpak (Fanger model) worden gebruikt. Ook voor een gematigd klimaat zoals in Nederland is een speciale richtlijn [7] uitgebracht, die gebruik van het ATC-model toestaat. In laatstgenoemde richtlijn zijn daarbij nog specifieke veranderingen aangebracht voor de berekening van het lopende gemiddelde van de buiten-

temperatuur en meer specifiek ook voor de categorisering van gebouwen waarvoor het ATC-model mag worden gebruikt [9].

Waardering ATC-model versus Fanger-model

Toepassen van het ATC-model heeft voordelen boven de PMV/PPD-aanpak. Het is relatief eenvoudig een waardering te geven aan het thermisch comfort in een gebouw en het kan makkelijk worden gecommuniceerd naar gebruikers van gebouwen. Aan de andere kant is er het nadeel dat het ATC-model op dit moment alleen kan worden toegepast voor kantoorgebou-

wen, met bijbehorende waarden voor metabolisme, kledingweerstand, etc. Om die reden is het minder flexibel en beperkt in zijn toepassingsgebied in vergelijking tot het Fanger-model. Daarnaast is er een aanvulling op de PMV/PPD-beoordeling, die een correctie voorstelt van de PMV-waarde voor natuurlijk geventileerde gebouwen in warme klimaten [5].

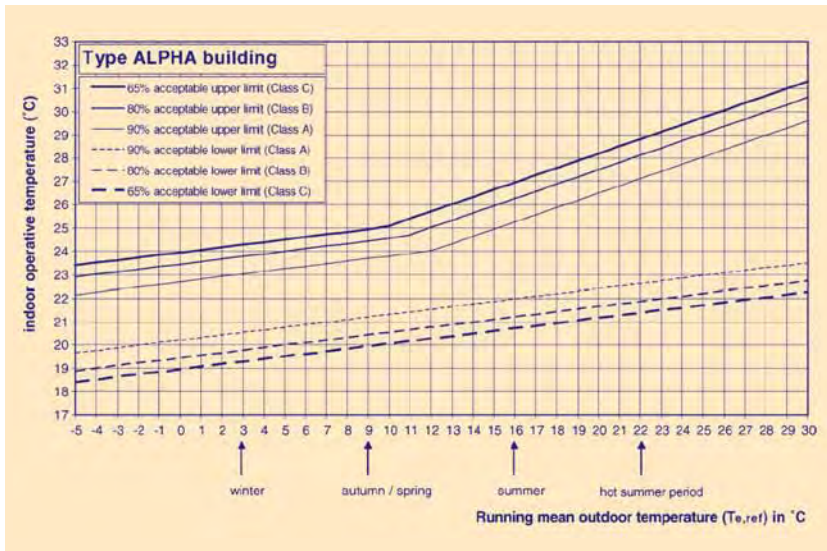
In [6] is reeds beschreven wat de potentie is van het ATC-model, zoals voorgesteld door van [9], om het energiegebruik te verlagen. Zij concluderen dat een afname van 10 % mogelijk is voor natuurlijk geventileerde gebouwen of gebouwen waar de gebruikers in hoge mate hun omgeving kunnen beïnvloeden (Type Alpha-gebouwen). Echter voor gebouwen met centraal geregelde klimaatsystemen (Type Beta-gebouwen) werd een toename van 10 % in energiegebruik voor verwarming gevonden.

Relatie ATC-model en Fanger-model

In dit artikel wordt de toepassing van het Fanger-model (PMV/PPD aanpak) vergeleken met het door [9] voorgestelde ATC-model, voor een gematigd klimaat zoals in Nederland.

De vergelijking wordt gemaakt door PMV/PPD en ATC aan elkaar te verbinden met behulp van Figuur 1 [9]. Deze figuur presenteert de maximaal toelaatbare bandbreedte voor de operationele binnentemperatuur, voor een specifiek acceptatieniveau, als functie van een (lopend) gemiddelde van de buitentemperatuur ($T_{e,ref}$). Deze figuur

* Technische Universiteit Eindhoven.



Maximaal toelaatbare range van de operationele binnentemperatuur voor een specifiek acceptatieniveau, als functie van een lopend gemiddelde van de buitentemperatuur ($T_{e,ref}$), voor een type Alpha-gebouw [9].

- FIGUUR 1 -

kan worden gebruikt voor type Alpha-gebouwen zoals gedefinieerd in [9]. De gedachte achter de vergelijking van de twee beoordelingsmethodes is dat een combinatie van beide uiteindelijk een meerwaarde kan opleveren, enerzijds flexibiliteit, anderzijds inzichtelijkheid.

In het artikel zal eerst de aanpak voor de vergelijking worden besproken. Vervolgens zullen de resultaten worden gepresenteerd en bediscussieerd. In de conclusie zal kort worden ingegaan op de combinatie van beide modellen.

METHODEN

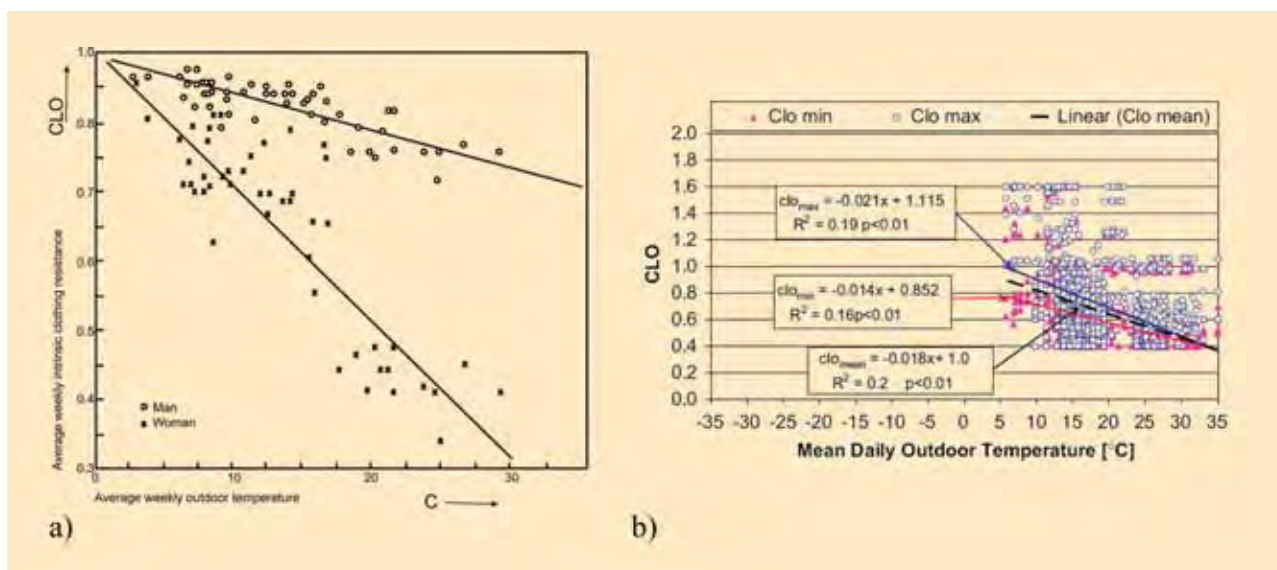
De relatie tussen Fanger-model (PMV/PPD) en ATC zoals getoond in figuur 1 is door de operationele binnentemperatuur (een combinatie van de luchttemperatuur en gemiddelde stralingstemperatuur) en door het percentage acceptatie van het binnenklimaat. Het zoekgebied voor de PMV/PPD-aanpak wordt dan bepaald door de overige parameters die een specifieke PMV/PPD-waarde mede bepalen:

- M Metabolisme (met)
- I_{clo} Thermische kledingweerstand (clo)
- v Relatieve luchtsnelheid (m/s)
- RV Relatieve vochtigheid (%)

Om dit zoekgebied te verkleinen worden voor enkele parameters de volgende aannamen gedaan: de relatieve luchtsnelheid wordt laag verondersteld (0,10 – 0,20 m/s); de relatieve vochtigheid wordt constant verondersteld (winter 40 % - zomer 70 %); de luchttemperatuur en gemiddelde stralingstemperatuur worden aan elkaar gelijk gesteld. Het zoekgebied wordt daarmee beperkt tot de ranges voor de waarden voor het metabolisme en de thermische kledingweerstand.

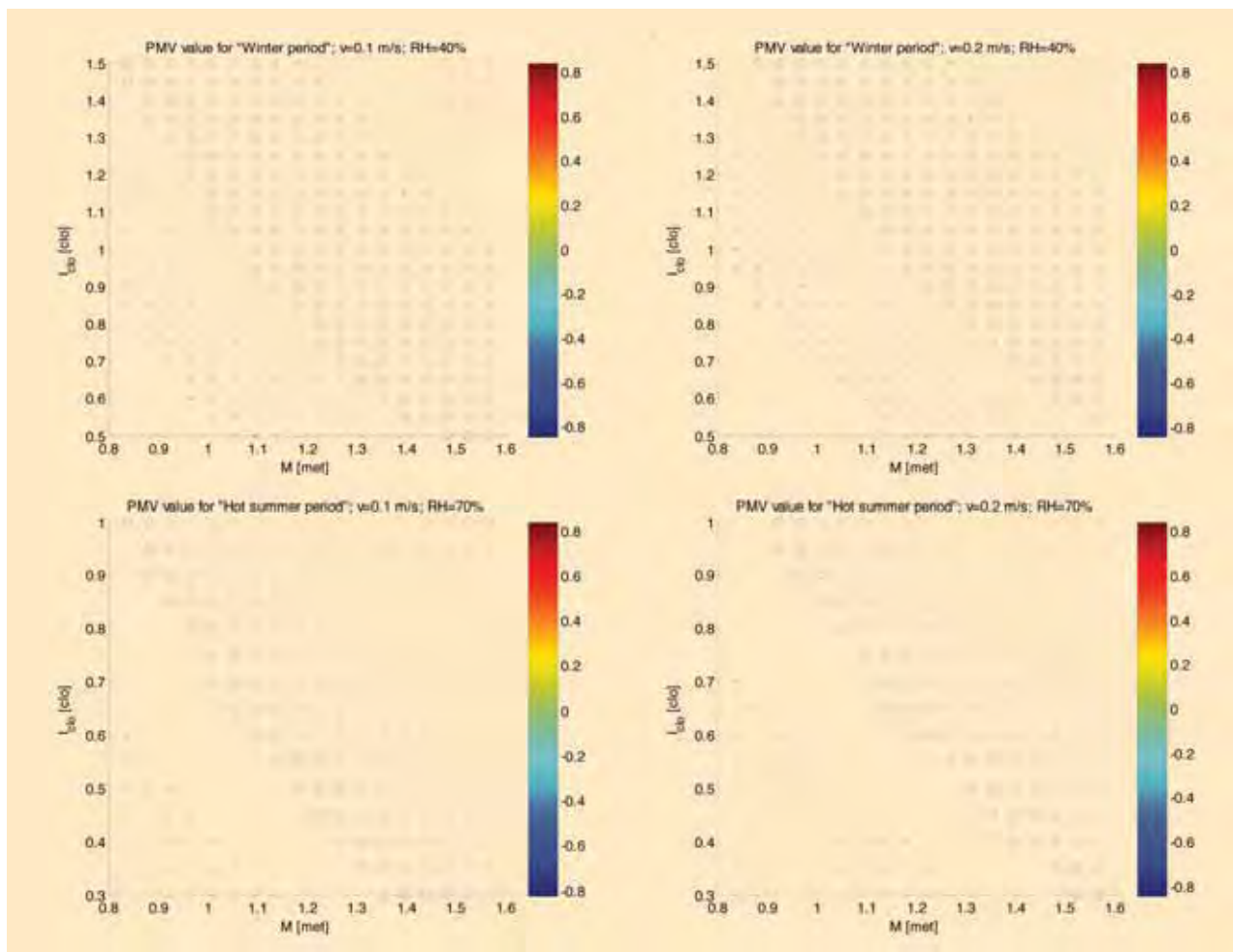
Bij de eerste methode wordt het zoekgebied onderzocht voor twee typische posities op de x-as van figuur 1, aangeduid door de 'winter' en de 'warme zomerperiode', voor een acceptatie van 80 % (PMV \pm 0,84). Hiermee wordt de minimum en maximum toegestane operationele temperatuur vastgelegd. Dit temperatuurinterval, in combinatie met de aannamen voor de luchtsnelheid en de relatieve vochtigheid, geeft de toegestane ranges van de waarden voor het metabolisme en de kledingweerstand op basis van de PMV/PPD-aanpak. Combinaties binnen deze ranges resulteren in ten minste een 80 % acceptatie van het thermisch binnenklimaat.

Bij de tweede methode wordt het zoekgebied verkleind, i.e. een inperking van de eerste methode, door beschikbare informatie over de kledingweerstand als functie van de buitentemperatuur toe te passen. Daarnaast worden verdere aannamen



a) Gemiddelde wekelijkse kledingweerstand als functie van de gemiddelde wekelijkse buitentemperatuur (bron onbekend). b) Kledingweerstand als functie van de gemiddelde dagelijkse buitentemperatuur voor natuurlijk geventileerde gebouwen [3].

- FIGUUR 2 -



Oplossing voor het zoekgebied voor het metabolisme (M) en de kledingweerstand (I_{clo}) voor de volgens het ATC-model toegestane operationele temperatuurrange bij 80 % acceptatie voor de bij de grafieken aangegeven condities ('x' relateert aan de bovengrens voor de operationele temperatuur en 'o' aan de ondergrens).

- FIGUUR 3 -

gedaan voor de luchtsnelheid en relatieve vochtigheid. Op deze manier wordt het mogelijk om lijnen te tekenen in dezelfde grafiek als in figuur 1. Ook hier wordt uitgegaan van 80 % acceptatie.

Om de relatie tussen de kledingweerstand en de buitentemperatuur te bepalen is gebruik gemaakt van figuur 2a. Er is een gemiddelde van mannen en vrouwen toegepast. De data kunnen worden gebruikt voor het Nederlandse klimaat. Helaas is de originele bron van deze informatie niet bekend. In [3] wordt echter eenzelfde soort informatie gevonden. Een voorbeeldgrafiek van deze referentie is te zien in figuur 2b.

Voor de relatieve vochtigheid en luchtsnelheid is informatie gebruikt uit ISO 7730 (2005). Onder de 26 °C is de gevoeligheid van de relatieve vochtigheid op het thermisch comfort beperkt. Niettemin zal de relatieve vochtigheid in de winter anders zijn

dan in de zomer, aangezien de absolute vochtigheid buiten verandert. Eenzelfde aanname wordt gedaan voor de luchtsnelheid, waarbij in de zomer wat hogere waarden worden toegepast.

De expectancy factor [5] wordt in rekening gebracht ter compensatie van de maximaal toelaatbare PMV-waarde in een warme zomerperiode. Hierbij wordt er van uitgegaan dat in Nederland de verwachting voor het thermisch comfort hoog is en warme zomerperiodes redelijk schaars zijn. De expectancy factor bedraagt in dat geval 0,9 (minimaal).

Tot slot worden de resultaten van de tweede methode vergeleken met de resultaten van een recent onderzoek in Nederland [8].

RESULTATEN

In figuur 3 worden de oplossingen weergegeven van het zoekgebied voor het metabolisme (M) en de kleding-

weerstand (I_{clo}) voor de volgens het ATC-model toegestane operationele temperatuurrange bij 80 % acceptatie (zoals af te leiden uit figuur 1). Dit voor de 'wintersituatie' en de 'warme zomerperiode' ('x' relateert aan de bovengrens voor de operationele temperatuur en 'o' aan de ondergrens). De relatieve vochtigheid is hierbij vastgesteld en voor de luchtsnelheid is een waarde van 0,1 m/s of 0,2 m/s aangenomen.

In tabel 1 en 2 worden de resultaten weergegeven van de tweede methode. Deze waarden zijn bepaald voor de aangegeven periodes in figuur 1 (winter, lente/herfst, zomer, warme zomerperiode). Ook worden de resultaten weergegeven waarbij de expectancy factor in rekening is gebracht (alleen bij de warme zomerperiode). De expectancy factor voor het Nederlandse klimaat is 0,9. Gebaseerd op een PMV van +0,84 wordt dit een PMV van +0,93. In figuur 4 zijn de resulta-

Seizoen	$T_{e,ref}$ (°C)	I_{clo} (clo)	RV (%)	v (m/s)	T_{op} (°C)	$T_{op,exp}$ (°C)
Winter	3	0,95	40	0,1	20,8 – 26,8	
Lente/ herfst	9	0,84	54	0,15	21,8 – 27,1	
Zomer	16	0,73	70	0,2	22,7 – 27,3	
Warme zomerperiode	22	0,63	70	0,25	23,7 – 27,9	23,7 – 28,1

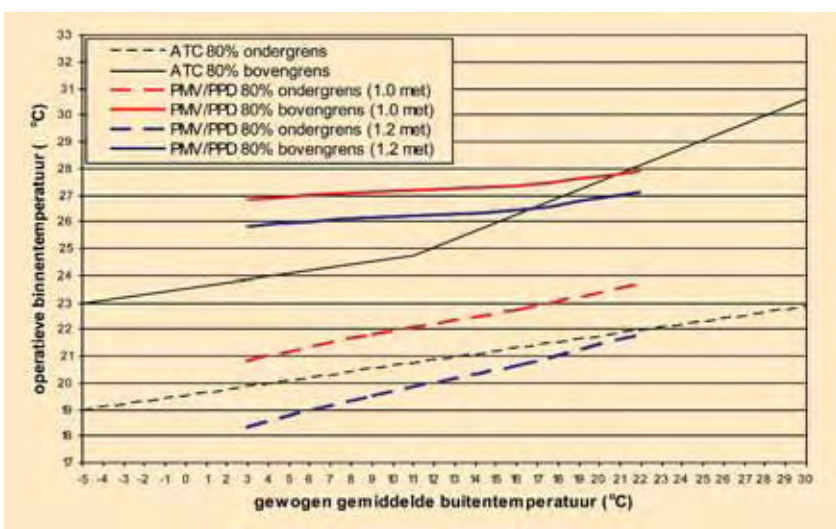
Toegestane operatieve temperatuurrange (T_{op}) voor een PMV van $\pm 0,84$, bij een metabolisme van 1,0 met en voor gespecificeerde waarden van de overige parameters. $T_{op,exp}$ is de operatieve temperatuurrange waarbij een expectancy factor van 0,9 in rekening is gebracht.

- TABEL 1 -

Seizoen	$T_{e,ref}$ (°C)	I_{clo} (clo)	RV (%)	v (m/s)	T_{op} (°C)	$T_{op,exp}$ (°C)
Winter	3	0,95	40	0,1	18,3 – 25,8	
Lente/ herfst	9	0,84	54	0,15	19,5 – 26,1	
Zomer	16	0,73	70	0,2	20,6 – 26,4	
Warme zomerperiode	22	0,63	70	0,25	21,8 – 27,1	21,8 – 27,4

Toegestane operatieve temperatuurrange (T_{op}) voor een PMV van $\pm 0,84$, bij een metabolisme van 1,2 met en voor gespecificeerde waarden van de overige parameters. $T_{op,exp}$ is de operatieve temperatuurrange waarbij een expectancy factor van 0,9 in rekening is gebracht.

- TABEL 2 -



Vergelijking van het ATC-model en de PMV/PPD-aanpak (Fanger-model; met de voorwaarden die in tabel 1 en 2 worden genoemd) bij 80 % acceptatie.

- FIGUUR 4 -

ten van T_{op} weergegeven in de grafiek.

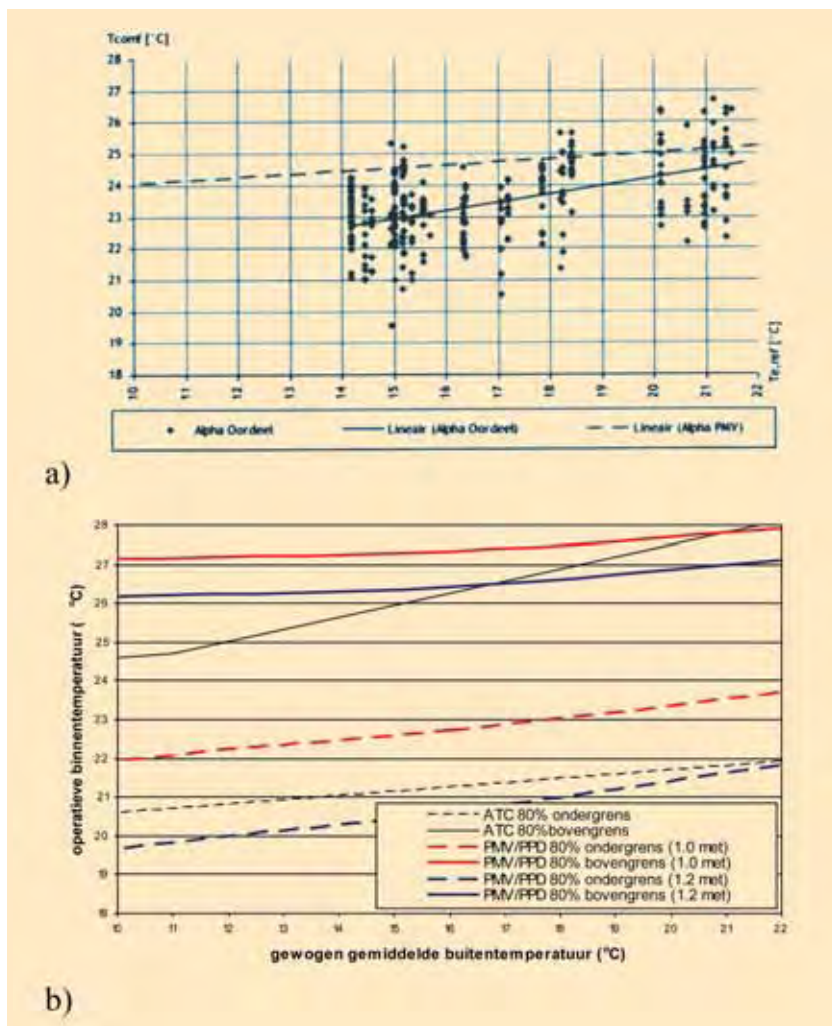
DISCUSSIE
De resultaten van de eerste methode (figuur 3) laten zien dat de toegestane

range voor het metabolisme en de kledingweerstand erg groot is. Voor de 'winter' situatie is er een overlap te zien voor de range van beide paramete-

ters bij de gegeven boven en ondergrens voor de operatieve temperatuur. Voor de 'warme zomer periode' overlappen de waarden niet. De resultaten geven aan dat voor een brede range van parameter waarden de toegestane operatieve temperaturen worden bereikt zonder de tevredenheid, afgeleid van de PMV-waarde, te negeren.

Deze resultaten geven aan dat de acceptatie van de operatieve binnentemperatuurrange, zoals vastgesteld met het ATC-model, grotendeels kan worden verklaard door realistische parameterwaarden toe te passen. Deze resultaten kunnen echter niet duidelijk worden vergeleken met de temperatuurwaarden die in figuur 1 zijn weergegeven.

De resultaten van de tweede methode maken een dergelijke vergelijking wel mogelijk (figuur 4). Deze figuur laat zien dat voor de range van het lopende



a) Resultaten van een veldonderzoek van [8] voor een type Alpha-gebouw. b) Deelweergave van Figuur 4 voor de assen zoals weergegeven in Figuur 5a.

- FIGUUR 5 -

gemiddelde van de buitentemperatuur zoals die in Nederland wordt gevonden ('winter' tot 'warme zomerperiode'), de PMV/PPD-aanpak, de waarden van het ATC-model voor een groot deel verklaren.

De lijnen voor de minimaal vereiste temperatuur bij $M=1,0$ met liggen hoger dan de lijn van het ATC-model. Echter, bij een metabolisme van 1,2 met, zijn lagere temperaturen toegestaan. Voor de maximale temperatuur in de 'winter' situatie zijn de waarden van de PMV/PPD aanpak veel breder, maar in deze situatie is de minimum waarde meestal van belang. Voor de 'zomersituatie' ($T_{e,ref}=16\text{ °C}$) is de range van de PMV/PPD-aanpak nog steeds breder. Alleen in de 'warme zomerperiode' ($T_{e,ref}=22\text{ °C}$) wordt het ATC-model minder streng, vergeleken met de PMV/PPD-aanpak. Figuur 4 laat echter zien dat het effect van de waarde van het metabolisme op

de toegestane binnentemperatuur significant is, wat overeenkomt met de bevindingen van [5]. Het effect van de expectancy factor is voor het Nederlandse klimaat gering.


In een recente studie van [8] is een veldonderzoek uitgevoerd in Nederland om onder andere te onderzoeken welke mogelijke verbeteringen kunnen worden doorgevoerd aan de [7]. Een deel van dit onderzoek gaat in op een comfortonderzoek in verschillende Alpha-gebouwen. Figuur 5a laat een voorbeeld zien van de comforttemperatuur als functie van de buitentemperatuur voor een van deze gebouwen. De comforttemperatuur is hierbij gedefinieerd als de gemeten operationele temperatuur waarbij de deelnemers -1, 0 of +1 stemden op de ASHRAE thermische sensatie schaal en daarbij geen voorkeur hadden voor een hogere of lagere temperatuur. In dit onderzoek is ook informatie verzameld over de kle-

dingweerstand ($0,67 \pm 0,1$ clo, voor alle onderzochte gebouwen) en het metabolisme ($1,24 \pm 0,14$ met, voor alle onderzochte gebouwen) van de deelnemers.

Figuur 5b toont een deelweergave van figuur 4 met gelijke assen als voor figuur 5a. Uit de vergelijking volgt dat met een 80 % acceptatieniveau voor PMV/PPD de gemeten resultaten kunnen worden verklaard.

CONCLUSIE

Uit de resultaten en de discussie daarvan blijkt dat toepassing van het Fanger-model, met PMV/PPD als prestatie-indicator, en het gebruik van het ATC-model niet resulteren in een verschillende beoordeling van het thermisch binnenklimaat voor een gematigd buitenklimaat zoals in Nederland. Het voordeel van het gebruik van het ATC-model is de eenvoud en duidelijkheid van de informatie die wordt gevraagd en gegeven; met alleen de buitentemperatuur als gegeven, kan een voorspelling worden gedaan voor de gewenste binnentemperatuur. De Fanger-methode is echter flexibeler en breder toepasbaar.

Als meer gedetailleerde informatie, zoals de informatie weergegeven in figuur 2, beschikbaar zou komen, zou er een link kunnen worden gemaakt tussen PMV/PPD en de buiten- en binnentemperatuur zoals in figuur 1 te zien is. Op die manier zou het voordeel van het ATC-model in het Fanger-model kunnen worden ingebracht. Hierbij moet wel in gedachte worden gehouden dat de informatie van het ATC-model is verkregen voor kantoorgebouwen. 

REFERENTIES

1. ASHRAE. 2004. ANSI/ASHRAE Standard 55-2004, *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating, and airconditioning Engineers, Inc.
2. CEN. 2007. EN 15251:2007, *Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics*. Brussels: European Com-

- mittee for standardization.
- De Carli, M., Olesen, B.W., Zarella, A., Zecchin, R. 2007. *People's clothing behaviour according to external weather and indoor environment*. *Building and Environment*, 42, 3965-3973.
 - Fanger P.O. 1970. *Thermal Comfort*. Copenhagen: Danish Technical Press.
 - Fanger, P.O. and Toftum, J. 2002. *Extension of the PMV model to non-air-conditioned buildings in warm climates*. *Energy and Buildings*, 34, 533-536.
 - Hoof, J. van and Hensen, J.L.M. 2007. *Quantifying the relevance of adaptive thermal comfort models in moderate thermal climate zones*. *Building and Environment*, 42, 156-170.
 - ISSO. 2004. *Thermische Behaaglijkheid; eisen voor de binnentemperatuur in gebouwen*. Publication 74, Rotterdam: ISSO.
 - Kurvers, S.R., van Beek, M. Eijndems, H.H.E.W. et al. 2008. *Adaptief thermisch comfort in de praktijk*. *TVVL Magazine*, 1/2008, 18-25.
 - Linden, A.C. van der, Boerstra, A.C., Raue, A.K., Kurvers, S.R. and Dear, R.J. de. 2006. *Adaptive Adaptive temperature limits: A new guideline in The Netherlands A new approach for the assessment of building performance with respect to thermal indoor climate*. *Energy and Buildings*, 38, 8-17.

NOTEN

- 'Zoekgebied' is hier gedefinieerd als de (realistische) range aan waarden voor individuele parameters waaruit een keuze kan worden gemaakt om de (integrale) PMV/PPD waarde te berekenen.

KSB NEDERLAND NEEMT VRS OVER

KSB Nederland heeft VRS overgenomen. VRS is op de Nederlandse markt actief in afsluiterrevisie, -reparatie en -onderhoud. Het grootste deel van de omzet wordt in het industriesegment behaald. Het bedrijf is gevestigd in Vierpolders, in de regio Rotterdam. De overname van VRS past in KSB's servicestrategie. KSB wil sterk groeien op het gebied van service aan pompen en afsluiters; naast organische groei gebeurt dit door gerichte acquisities, zoals de overname van VRS. VRS zal zelfstandig onder eigen naam actief blijven op de Nederlandse markt.



Tijdens de ondertekening v.l.n.r.: G.C. van Toor, VRS BV, R.A. den Hartog, VRS BV, N. Gitz, KSB Nederland BV en J. Haller, KSB Service GmbH

DUITSE HIT-ERS IN NEDERLAND

Juli jl. landden tien Duitse HIT-ers (Hogere Installatie Techniek) op Schiphol. De daarop volgende twee dagen hebben ze samen met de directie van HRM@Work tien Nederlandse technische installatiebedrijven bezocht. De Duitsers zijn enthousiast om in Nederland te werken. Dit komt onder andere door de

gemoedelijke omgang van medewerkers, projectleiders en leidinggevenden bij de Nederlandse bedrijven, aldus HRM@Work. De tien zullen in september afstuderen en zijn in oktober beschikbaar voor een baan in de Nederlandse branche. HRM@WORK zal de sollicitaties bij de bezochte bedrijven begeleiden.

DRIE VOOR TWEE

Western Airconditioning biedt haar klanten een vernieuwd onderhoudscontract aan. De klant krijgt drie jaar onderhoud en betaalt voor twee jaar. Het 3V2 onderhoudscontract kan worden afgesloten bij aanschaf van koelmachines, warmtepompen, Close Control Airconditioners, Rooftops en MDS / VRF systemen. Western Airconditioning lanceert deze nieuwe vorm van onderhoudscontract omdat in de praktijk blijkt dat onderhoud aan apparaten het eerste jaar vaak niet wordt uitgevoerd, terwijl dit wel noodzakelijk en zelfs wettelijk verplicht kan zijn. Naast het gratis jaar onderhoud biedt Western de klant materiaaltegoed aan voor de gehele looptijd van drie jaar. De Westerngarantie blijft onaangetaast.



Kijk op www.installatienet.nl voor de uitgebreide versie van deze nieuwsberichten