

Energie-efficiëntie en gebruikerscomfort verenigd

Tijdens het ontwerpproces bij nieuwbouw of renovatie zullen de betrokken partijen naar een comfortabel, gezond en energiezuinig gebouw willen streven. Zeker als het de ambitie is om een hoge duurzaamheidsprestatie te realiseren door middel van bijvoorbeeld een Breeam-nl duurzaamheidscertificering. In de praktijk blijken de ambities echter nog al eens minder rooskleurig uit te pakken en worden organisaties geconfronteerd met klachten over het binnenklimaat en een hoger dan verwacht energiegebruik. Uit eigen onderzoek blijkt dat gebouwtypen die 'klimaat georiënteerd' zijn in de praktijk beter presteren op het gebied van energiegebruik en comfort dan gebouwtypen die 'niet klimaat georiënteerd' zijn.

Ing. S.R. (Stanley) Kurvers, ir. E.R. (Eric) van den Ham en drs. J.L. (Joe) Leijten, Technische Universiteit Delft, Faculteit Bouwkunde, Afdeling Architectural Engineering + Technology, Sectie Climate Design and Sustainability; ir. S. (Sarah) Juricic, Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat, Lyon, France

■ ONTWERP EN KWALITEIT

Tijdens de ontwerpfasen worden afspraken gemaakt over het kwaliteitsniveau van het binnenmilieu en het niveau van duurzaamheid of het energiegebruik. Wordt er volstaan met basiskwaliteitseisen of wordt er expliciet een hoog ambitieniveau nagestreefd? Voor de verschillende aspecten van het binnenmilieu, het thermisch binnenklimaat, de luchtkwaliteit, het visueel comfort en het geluid worden op diverse niveaus eisen of streefwaarden aangegeven. Naast zeer globale eisen in het Bouwbesluit en de Arboret in het Arboretbesluit, de Arboretgereguleering en de Arboretregels de eisen en richtlijnen stapsgewijs uitgewerkt. Het Arboretinformatieblad (AI)-24, Arboretthema 'Binnenmilieu' en het Arboretkennisdossier 'Klimaat en verlichting' van het Arboretkennisinnet (<http://www.arboretkennisinnet.nl>) geeft nadere informatie over

specifieke onderwerpen van het binnenmilieu. In bijvoorbeeld de NEN-ISO 7730 en NEN-EN 15251 normen en de Nederlandse richtlijn ISSO-74 staat uitgebreide informatie over het binnenklimaat.

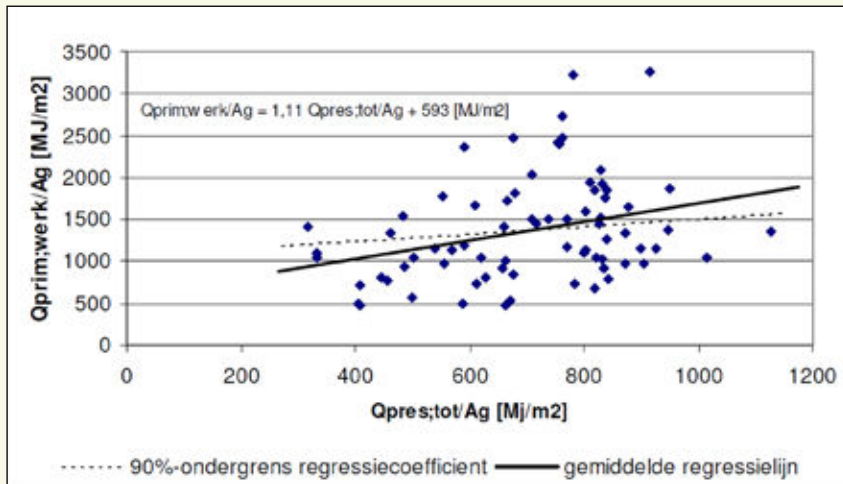
Ook de duurzaamheidscertificeringssystemen stellen eisen aan het binnenklimaat. In Breeam-nl wordt gevraagd te voldoen aan NEN-ISO 7730 met een maximaal aantal gewogen temperatuuroverschrijdings(GTO)-uren of te voldoen aan de eisen in ISSO 74 (en/of) NEN-EN 15251. Hierbij worden meer punten toegekend als de gekozen klimaatklasse strenger is.

Er dient te worden benadrukt dat het kwantificeren of certificeren van het binnenklimaat en het energiegebruik van gebouwen een papieren, theoretische, aangelegenheid is. Er is nog relatief weinig onderzoek gedaan of een gebouw na een aantal gebruiksjaren

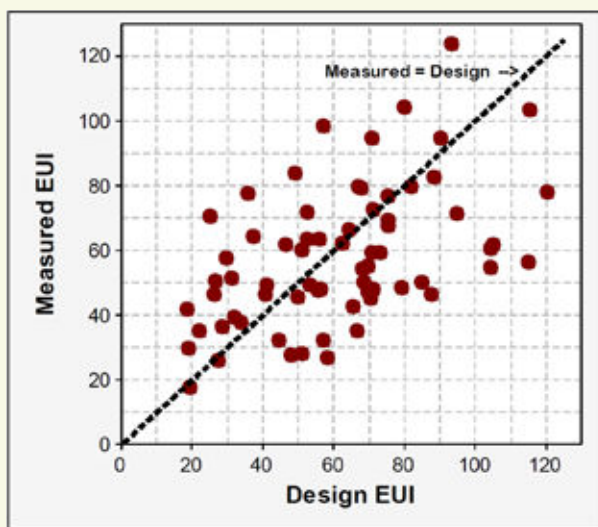
overeenkomstig de (theoretische) beoordeling presteert op het gebied van energie consumptie en thermisch comfort. Gebouwen die in brochures of op websites worden aangeprezen als energiezuinig en met een hoog comfort, zijn dat meestal slechts op papier; zelden zijn ze in de praktijk getoetst. Op deelgebieden zijn er echter wel enkele belangrijke onderzoeken uitgevoerd, die hierna kort worden beschreven.

■ ENERGIEGEBRUIK IN DE PRAKTIJK

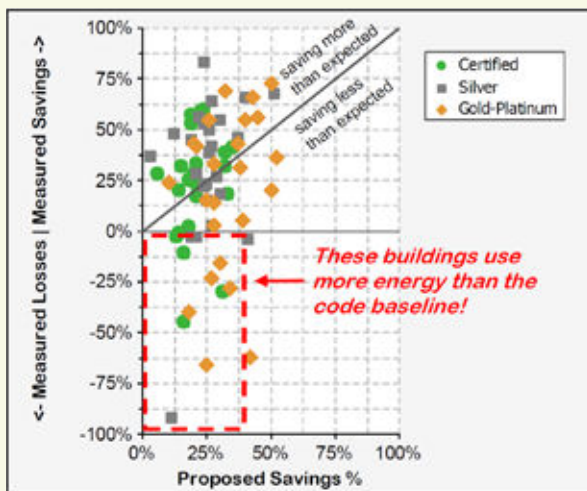
Op het gebied van energiegebruik is onderzocht in hoeverre de theoretische energieprestatie overeenkomt met het werkelijke energiegebruik. Figuur 1 laat bijvoorbeeld een steekproef zien in 73 Nederlandse gebouwen [1,2]. Hoewel er gemiddeld genomen een duidelijk verband bestaat tussen het berekende energiegebruik volgens NEN 2916 en



-Figuur 1- Relatie tussen karakteristiek energiegebruik (horizontale as) en werkelijk energiegebruik (verticale as) in Nederlandse gebouwen [1]



-Figuur 2- Gemeten versus ontwerp energiegebruik (EUI=energy use intensity in kBtu/sf/yr) in gebouwen in de VS[3]

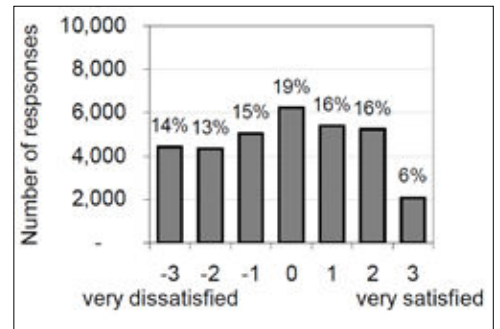


-Figuur 3- Gemeten versus voorspelde besparingen in percentages in LEED-gecertificeerde (Gold-Platinum, Silver) gebouwen in de VS[3]

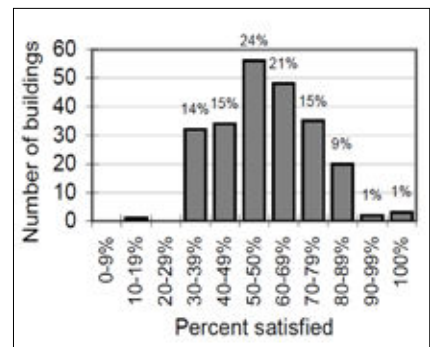
het werkelijk energiegebruik, is de spreiding erg groot en kan het werkelijke energiegebruik een factor 2 tot 5 verschillen met het berekende energiegebruik.

In een ander onderzoek in de Verenigde Staten naar het effect van de LEED-certificering op het energiegebruik, is onder andere het gemiddelde energiegebruik vergeleken met het werkelijke energiegebruik [3]. Ook hier

bleek dat het gemiddelde energiegebruik een goede voorspeller is van het gemiddelde energiegebruik van gebouwen, maar er werd ook een grote spreiding in het energiegebruik van de afzonderlijke gebouwen gevonden (figuur 2). Sommige gebouwen doen het veel beter dan verwacht (gebouwen boven de gestippelde lijn), maar even zo veel gebouwen presteren minder, in sommige gevallen veel



-Figuur 4- De verdeling van de tevredenheid over de temperatuur van alle bewoners van alle 215 gebouwen. 42% van de gebouwgebruikers is niet tevreden (waardering -1, -2, -3) [4]



-Figuur 5- De verdeling van de tevredenheid over de temperatuur in 215 gebouwen. Volgens de norm moet minimaal 80% van de gebruikers tevreden zijn over de temperatuur. Dit is in slechts 11% van de gebouwen het geval [4].

minder (zie figuur 3).

Er is dus duidelijk veel ruimte voor verbetering, enerzijds van de nauwkeurigheid en betrouwbaarheid van de berekeningsmodellen, maar anderzijds is inzicht in de oorzaken van de grote verschillen in het energiegebruik van gebouwen in de praktijk van groot belang. Het is denkbaar dat veel aspecten en kenmerken van gebouwen die van invloed zijn op het energiegebruik ook invloed hebben op de waardering van het binnenklimaat door de gebruikers.

■ THERMISCH COMFORT IN DE PRAKTIJK

In diverse onderzoeken is nagegaan in hoeverre gebouwgebruikers tevreden zijn over het thermisch binnenklimaat in hun gebouw. Een onderzoek naar het comfort en de gezondheid van 34.000 gebruikers van 215 gebouwen in de Verenigde Staten, Canada en Finland [4] laat zien dat 42% van alle bewoners niet tevreden is over het thermisch binnenklimaat (figuur 4) en dat in slechts 11% van de gebouwen, conform de Ashrae-55-norm, minimaal 80% van de gebruikers tevreden zijn met het thermisch binnenklimaat (figuur 5). Een vergelijkbaar beeld geeft de perceptie

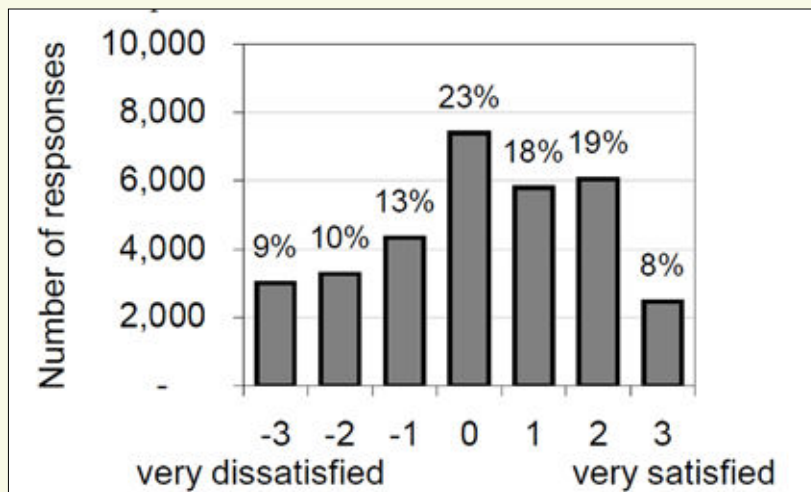
van de luchtkwaliteit. Bijna een derde van de gebruikers is niet tevreden (figuur 6) en in slechts in 26% van de gebouwen wordt aan de norm van minimaal 80% tevreden voldaen (figuur 7). Dezelfde effecten worden ook in andere onderzoeken gevonden [5]. In een Duits onderzoek in 16 kantoorgebouwen met circa 4.400 gebruikers [6] blijkt dat de tevredenheid over de temperatuur groter is in gebouwen met eenvoudige mechanische en natuurlijke ventilatie dan in gebouwen met mechanische ventilatie en koeling (figuur 8).

Het idee dat een nauwe temperatuurbreedte tot een hoger comfort leidt is ook terug te vinden in de binnenklimaatnormen als NEN-ISO 7730, NEN-EN 15251 en in bijvoorbeeld Breeam-nl, die onder andere op de genoemde normen is gebaseerd. NEN-ISO 7730 en NEN-EN15251 hanteren drie categorieën voor de binnenmilieukwaliteit: I, II en III, waarbij categorie I de nauwst geregelde bandbreedte heeft. In Ashrae 55 worden de vergelijkbare termen klasse A, B en C gebruikt. Hoe lager het theoretisch percentage ontevreden (PPD) is, hoe nauwer de bandbreedte rond PMV=0 ligt. Naarmate de bandbreedte nauwer moet worden geregeld is er meer energie benodigd. De vraag die zich hier dus opwerpt: leidt deze extra hoeveelheid energie ook tot een daadwerkelijk comfortabeler klasse A, vergeleken met klasse B en C?

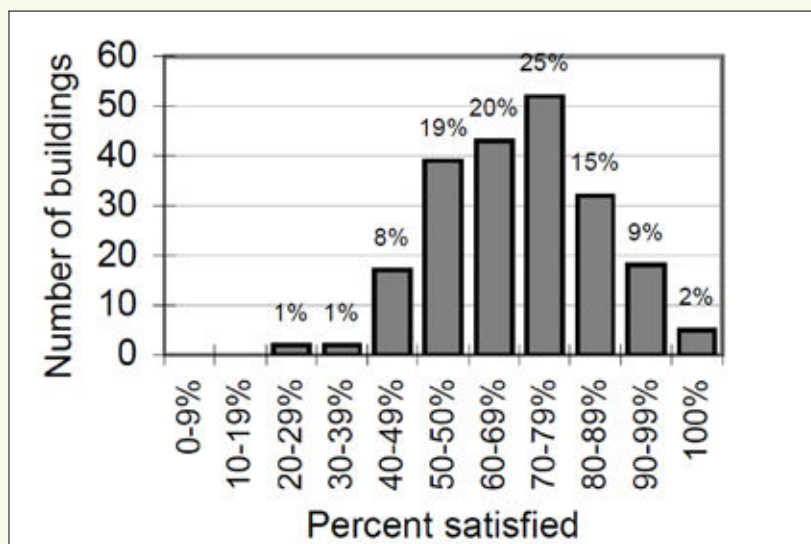
Dit is onderzocht in [7] waarbij drie databases gebruikt zijn: de Ashrae RP884 met 45 kantoorgebouwen, de Scats-database met 26 kantoorgebouwen van verschillende typen in vijf Europese landen en het Berkeley City Centre (BCC), een modern, natuurlijk geventileerd gebouw in Californië. In de gebouwen zijn luchttemperatuur, stralingstemperatuur, luchtsnelheid en luchtvochtigheid gemeten. Ook zijn de kledingisolatie- (clo) en metabolismewaarden bepaald, zodat PMV-waarden konden worden berekend. Daarnaast is de temperatuuracceptatie van de gebruikers via vragenlijsten bepaald. Tabel 1, 2 en 3 geven aan hoe de verschillende klassen in de praktijk worden ervaren door de gebruikers in de 72 gebouwen.

Uit de resultaten blijkt dat een nauwere bandbreedte in gemeten temperaturen in de praktijk niet door de gebruikers als comfortabel of acceptabeler wordt ervaren. Er zijn óf helemaal geen verschillen, óf de verschillen zijn niet statistisch significant. Er is dus geen wetenschappelijke onderbouwing om gebouwen binnen klasse A te regelen, zeker gezien de extra energie die hiervoor nodig is. Klasse C lijkt op de grens van 80% acceptatie te zitten, waardoor klasse B het meest realistisch is.

In een onderzoek in 95 kantoorgebouwen in de Verenigde Staten [8] blijkt dat er in de winter



-Figuur 6- De verdeling van de tevredenheid over de luchtkwaliteit van alle bewoners van alle 215 gebouwen. 42% van de gebouwgebruikers is niet tevreden (waardering -1, -2, -3) [4]



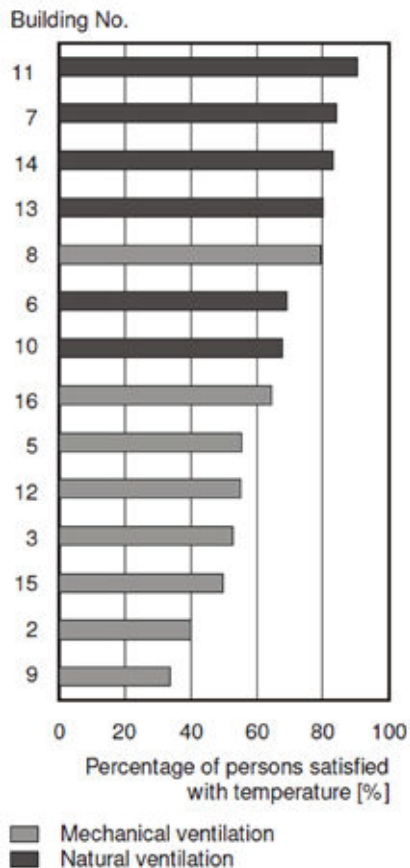
-Figuur 7- De verdeling van de tevredenheid over de luchtkwaliteit in 215 gebouwen. Volgens de norm moet minimaal 80% van de gebruikers tevreden zijn over de luchtkwaliteit. Dit is in slechts 26% van de gebouwen het geval [4].

meer gezondheidssymptomen voorkomen wanneer de temperatuur zich aan de warme kant van het comfortgebied bevindt. In de zomer komen er juist meer symptomen voor wanneer de gemeten temperaturen lager zijn dan het comfortgebied voorschrijft (figuur 9). Ook is het gemiddeld in de onderzochte gebouwen in de zomer kouder dan het volgens de normen zou moeten zijn. Er komen dus meer gezondheidssymptomen voor wanneer er in de zomer te veel wordt gekoeld en in de winter te veel wordt verwarmd. Dat dit tot onnodig energiegebruik leidt is evident.

■ 'ROBUUST KLIMAATONTWERP'

Voor de discrepanties tussen energiegebruik en comfortniveau en de prestaties in de praktijk

noemen adviseurs diverse oorzaken. Voorbeelden zijn het niet goed inregelen van de installaties, een veranderd gebruik ten opzichte van het ontwerp, een 'verkeerd' gebruik van het gebouw en de installaties door de bewoners of bezuinigingen tijdens de ontwerp- en bouwphase. Uit eigen praktijkonderzoek in een groot aantal gebouwen is het beeld gevormd dat bepaalde bouwtypen vaker een hoger en minder goed voorspelbaar energiegebruik hebben dan andere bouwtypen. Er zijn aanwijzingen dat de laatste jaren in bepaalde gebouwen met een hoge duurzaamheidsambitie, waarbij naar



-Figuur 8- Percentage personen per gebouw dat tevreden is met de binnentemperatuur in natuurlijk en mechanisch geventileerde gebouwen [6]

een energiezuinig ontwerp gestreefd wordt, de nadruk ligt op (innovatieve) technische installaties of gevels en minder op het bouwkundig ontwerp. Deze ontwerpen lijken weinig rekening te houden met het buitenklimaat, bijvoorbeeld door beperkte thermische massa en veel glas, terwijl andere aspecten van het ontwerp onvoldoende lijken afgestemd op de gebruikers. Een voorbeeld hiervan is het toepassen van grote kantoorruimten en een gesloten gevel, waardoor beïnvloeding beperkt is.

In [9,10,11] wordt de hypothese beschreven dat bij gebouwen met een specifieke combinatie van gebouwenkenmerken de kans groter is op een hoger energiegebruik en lager comfortniveau en dat bij een juiste combinatie van gebouwenkenmerken het energiegebruik en comfortniveau in de praktijk wel het beoogde ontwerpniveau haalt. Een dergelijk gebouwtype heeft dan wat we noemen een 'robuust klimaatontwerp'. De mate van 'robuustheid' uit zich in verschillende fasen van het ontwerp en gebruik. Een aantal voorbeelden die van invloed zijn op de mate van robuustheid, zijn:

- actieve en passieve oplossingen

Gebouwen met mechanische koeling zijn gevoeliger voor een hoger dan verwacht energiegebruik [2] en klachten over het comfort [9].

Office rating	PMV range	Townsville summer wet season (% accept)	Townsville summer dry season (% accept)	Kalgoorlie-Boulder summer season (% accept)	Kalgoorlie-Boulder winter season (% accept)	Montreal summer season (% accept)	Montreal winter season (% accept)
Class A	±0,2	74,4 (n=160)	84,2 (n=203)	88,9 (n=163)	86,7 (n=166)	81,2 (n=129)	86,3 (n=102)
Class B	±0,5	77,5 (n=346)	81,0 (n=394)	87,8 (n=320)	84,5 (n=373)	84,2 (n=272)	86,0 (n=250)
Class C	±0,7	77,2 (n=425)	79,2 (n=476)	88,3 (n=393)	84,3 (n=452)	84,4 (n=333)	86,0 (n=321)

-Tabel 1- Resultaten van de Ashrae RP-88 database. Percentage acceptatie in de praktijk voor de drie theoretische binnenklimaatklassen[7].

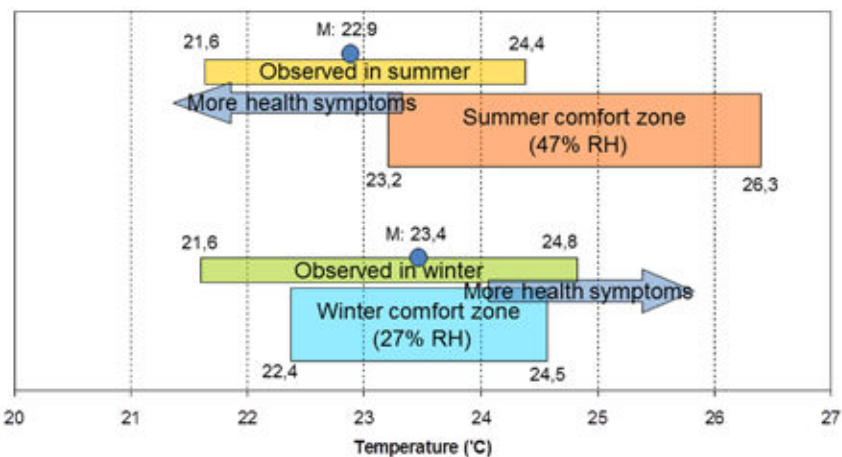
PMV range	N	% voting in central three categories of Ashrae scale (±SE)	% comfortable (overall comfort ≥4)
-0,2<PMV<0,2	966	87,2±1,1	80,0±1,3
-0,5<PMV<0,5	2.210	87,9±0,7	78,6±0,9
-0,7<PMV<0,7	2.902	87,3±0,6	78,2±0,7

'Overall comfort' (in column 5) is based on a six-point scale: 1, very uncomfortable; 2 moderately uncomfortable; 3 slightly uncomfortable; 4 slightly comfortable; 5 moderately comfortable; 6 very comfortable. The numbers are percentages on the comfortable portion of the scale.

-Tabel 2- Resultaten van de Scats-database. De percentages van de bewoners die 'enigszins koel', 'neutraal', en 'enigszins warm' (derde kolom) en 'comfortabel' (vierde kolom) stemmen [7].

PMV range	Sample size (inclusive)	Thermal acceptability (% ± SE)	Want warmer (%)	No change (%)	Want cooler (%)
±0,2	721	89,0 ± 1,2	9,9	62,9	27,2
±0,5	1.427	87,3 ± 0,9	10,4	61,7	28,5
±0,7	1.686	86,2 ± 0,8	10,7	59,3	29,9

-Tabel 3- Resultaten van het BCC. Percentages van de respondenten die het 'acceptabel' vinden en die het 'warmer', 'geen verandering' en het 'koeler' willen [7].



-Figuur 9- Gemeten temperaturen en gezondheidssymptomen gerelateerd aan de comfortgebieden in de zomer en winter in 95 kantoorgebouwen in de VS [8]

- gevoeligheid voor afwijkingen van ontwerpaannames

Bepaalde complexe installaties en regelingen zijn gevoelig voor (soms kleine) afwijkingen van ontwerpaannames. Bij inductie-units bijvoorbeeld is het belangrijk dat de eigenschappen van de units, zoals dimensionering, ventilatiehoeveelheid, temperatuur, soort uitblaasopeningen en luchttoevoerroosters nauwkeurig zijn afgestemd op de eigenschap-

pen van de ruimte, zoals geometrie, plaats van de ramen en de verwachte interne en externe warmtebelasting. Aanpassingen tijdens het ontwerp, de bouw en de gebruiksfase kunnen tot verstoring van het luchtstromingspatroon en daarmee mogelijk tot te hoge luchtsnelheden in de gebruikszone leiden.

- onderhoudseisen

Sommige ontwerpen vereisen meer onderhoud dan andere. In de praktijk blijkt dat

intensief onderhoud op de lange termijn niet op hetzelfde hoge niveau blijft. Dit omdat nog al eens wordt bezuinigd op de kosten van onderhoud, zeker als de nadelige effecten van minder onderhoud pas indirect en op de lange termijn zichtbaar worden.

- integreren van verwarming en ventilatie

Als de verwarming en ventilatie geïntegreerd zijn, zijn zij gevoeliger voor verstoringen dan systemen waarbij de verwarming en ventilatie zoveel mogelijk gescheiden zijn [9].

- onvoldoende transparantie voor gebruikers en gebouwbeheerders

Gebruikers moeten eenvoudig kunnen begrijpen wat er gebeurt wanneer zij bijvoorbeeld aan een thermostaatknop draaien of de zonwering of verlichting bedienen. De bediening moet dus transparant zijn. Bij complexe luchtbehandelings- en regelsystemen is het soms zelfs voor experts moeilijk te doorgronden wat er aan de hand is wanneer het er problemen blijken te zijn.

- beïnvloedingsmogelijkheden

Te weinig invloed van de gebruikers op het binnenklimaat verlaagt de robuustheid en vergroot de kans op verschillen tussen de gewenste en werkelijke situatie. Voorbeelden zijn:

- gebruikers hebben te weinig mogelijkheden om het binnenklimaat aan te passen aan hun comforttemperatuur en aan de variatie over de tijd van hun comforttemperatuur;
- gebruikers hebben te weinig mogelijkheden om afwijkingen van het binnenklimaat te compenseren, die het gevolg zijn van onjuiste werking van het gebouw en de gebouwssystemen.

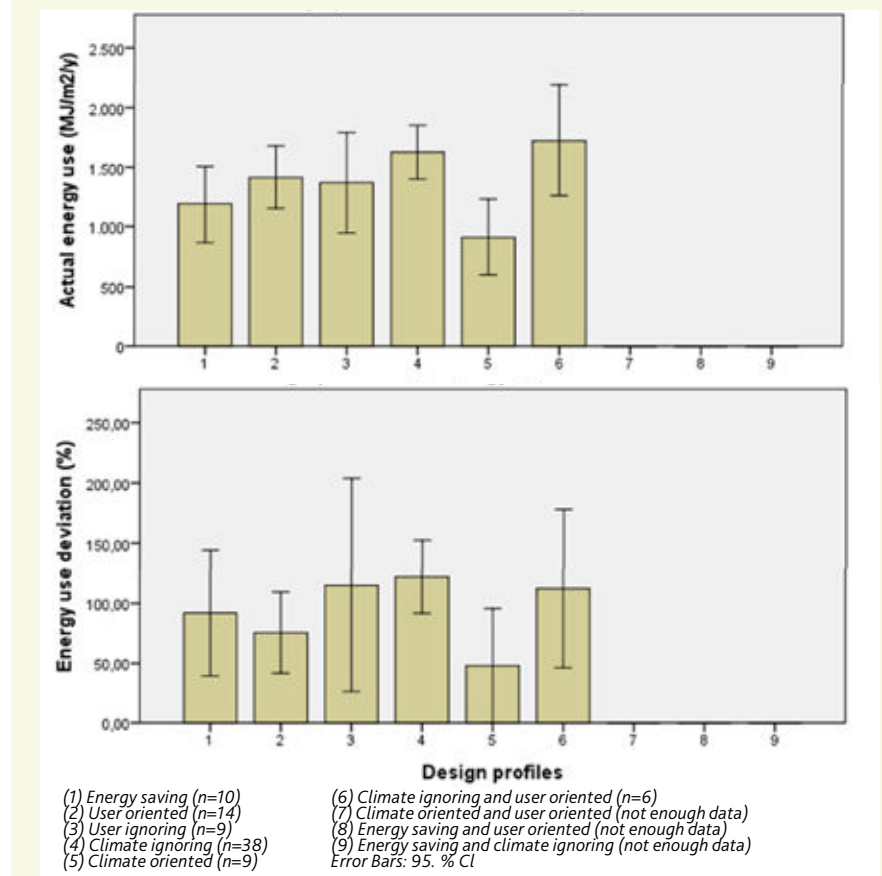
- keuzes en afwegingen

De effectieve invloed van de gebruikers op het binnenklimaat helpt een matige binnenmilieukwaliteit van het gebouw te compenseren, vooral wanneer de gebruikers de mogelijkheid wordt geboden om de positieve en negatieve gevolgen van keuzes tegen elkaar af te wegen [10]. Zo kunnen hoge luchtsnelheden door openen ramen of ventilatoren tot tochtklachten leiden, maar kan dit bij hogere temperaturen juist het lichaam aangenaam afkoelen.

Ook kunnen openen ramen lawaaihinder van buiten geven, maar zijn ze zeer bruikbaar bij het regelen van de temperatuur en verse lucht. Gebruikers kunnen vaak zelf een afweging maken, door bijvoorbeeld het raam tijdelijk te openen tijdens pauzes en vergaderingen elders.

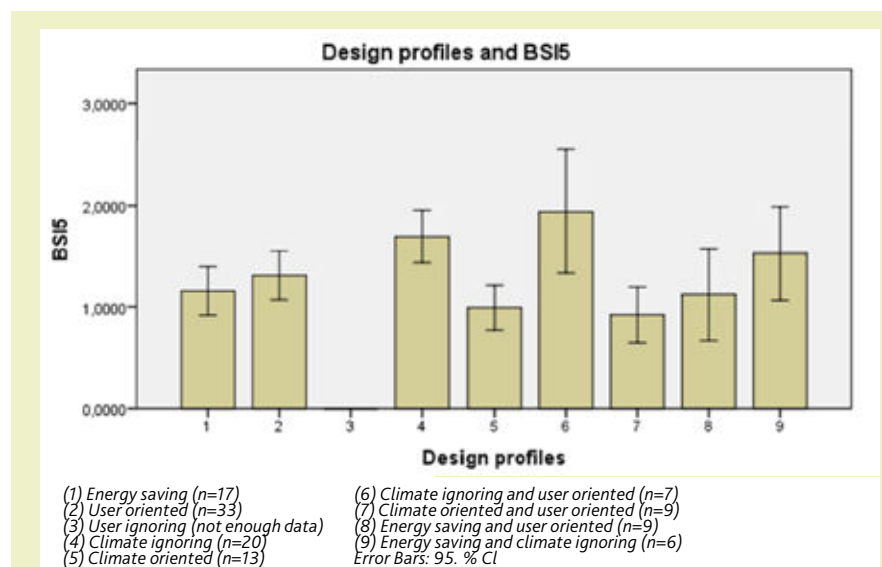
■ ROBUUST KLIMAATONTWERP GETEST

Om de beschreven, op langdurige ervaring gebaseerde hypothese te kunnen toetsen is uitgebreid onderzoek vereist in een groot aantal gebouwen en volgens een nauw



-Figuur 10 (boven)- Verband tussen ontwerpprofielen en het werkelijke energiegebruik [13]

-Figuur 11 (onder)- Verband tussen ontwerpprofielen en het verschil tussen het berekende en werkelijke energiegebruik in % t.o.v. het berekende energiegebruik [13]



-Figuur 12- Verband tussen ontwerpprofielen en de Building Symptom Index [13]

omschreven protocol. Zo lang er nog geen mogelijkheden zijn om een dergelijk onderzoek uit te voeren, is besloten een vooronderzoek uit te voeren op basis van twee bestaande databases [2,12].

Om de relaties te kunnen onderzoeken tussen gebouwkenmerken, het berekende en het werkelijke energiegebruik is de database

van Climatic Design Consult (CDC) gebruikt. Hierin is data verzameld voor een onderzoek in opdracht van Agentschap NL [1,2]. Om de relaties te kunnen onderzoeken tussen gebouwkenmerken en het comfort en de gezondheid is gebruik gemaakt van de Europese Hope database [12]. In de databases is informatie beschikbaar over de bouw fysische en installa-

			In Climatic Design Consult database		In HOPE database	
			Variables state	Number of buildings	Variables	Number of buildings
(1)	Energy saving	Relative low U value	$U_{\text{win}} < 0,3$ W/m ² /K	n = 10	$U_{\text{win}} < 0,3$ W/m ² /K	n = 17
		Heat recovery	Yes		Yes	
(2)	User oriented	Operable windows	Yes or yes limited	n = 14	Yes or Yes, some	n = 33
		Operable sun shading	Manual		Manual	
(3)	User ignoring	No operable windows	No	n = 9	No operable windows	n = 1 (weak)
		No operable sun shading	Automatic or none		Automatic or none	
(4)	Climate ignoring	Thermal mass not available for heat storage	No (not available)	n = 36	No (not available)	n = 20
		Mechanical air supply	Yes		Yes	
		Active cooling OR High ventilation rates (CDC data)	Yes OR $V > 2,5$ dm ³ /s/m ²		Yes	
(5)	Climate oriented	Thermal mass available for heat storage	Yes (available)	n = 9	Yes (available)	n = 13
		Natural ventilation	Yes		Natural ventilation	
		Operable windows	Yes & Yes limited		Yes & Yes some	
(6)	User oriented & Climate ignoring	Combination of characteristics of (2) & (4)		n = 6		n = 7
(7)	User oriented & Climate oriented	Combination of characteristics of (2) & (5)		n = 1 (weak)		n = 9
(8)	Energy saving & User oriented	Combination of characteristics of (1) & (2)		n = 0 (weak)		n = 9
(9)	Energy saving & Climate ignoring	Combination of characteristics of (1) & (4)		n = 4 (weak)		n = 6

-Tabel 4- Gebouwtypologieën (ontwerpprofielen) op basis van energie-, gebruikers en klimaatkenmerken [13]

tietechische eigenschappen. Op basis hiervan zijn voor dit onderzoek negen gebouwtypologieën of 'ontwerp profielen' geselecteerd. Criteria bij de indeling waren onder meer of er bij het ontwerp en gebruik bijzondere aandacht werd gegeven aan energie-efficiëntie, of de gebruikers voldoende mogelijkheden hebben het binnenklimaat te beïnvloeden en of het ontwerp rekening houdt met klimatologische en meteorologische omstandigheden. Tabel 4 geeft een overzicht van de negen gebouwtypologieën.

Het belangrijkste doel van het vooronderzoek was het verkrijgen van inzicht in de invloed van (combinaties van) gebouwkenmerken op het energiegebruik en op het ervaren comfort en de gezondheid. Figuur 10 toont het werkelijke energiegebruik in relatie tot de gebouwtypologieën. Uit deze figuur kan worden afgeleid dat ontwerpprofiel 5 ('climate oriented': onder andere natuurlijke ventilatie, te openen ramen en gebruik van thermische massa) in werkelijkheid minder energie gebruikt dan profiel 4 ('climate ignoring': o.a. mechanische ventilatie, actieve koeling, geen gebruik thermische massa) en profiel 6 ('climate ignoring'/'user oriented').

Uit figuur 11 blijkt dat ook het verschil tussen het berekende energiegebruik en het werkelijke energiegebruik sterk afhangt van het gekozen ontwerpprofiel en dat ontwerpprofiel 5 ('climate oriented') een beter voorspelbaar energiegebruik heeft dan de andere profie-

len. Figuur 12 laat de relatie zien tussen de verschillende ontwerpprofielen en de Building Symptom Index (BSI). De BSI is het gemiddeld aantal gebouw gerelateerde gezondheids-symptomen per gebouw. In dit geval is de BSI5 gebruikt: de vijf meest kenmerkende gebouw gerelateerde gezondheidssymptomen. De BSI5 kan dus variëren tussen 0 en 5.

Uit figuur 12 blijkt dat de ontwerpprofielen 4, 6 en 9 (alle 'climate ignoring') de hoogste BSI hebben, terwijl de 'climate oriented' profielen 5 en 7 de laagste BSI hebben, dus de minste gebouw gerelateerde gezondheidsklachten. Het is zeer interessant om te zien dat wanneer figuur 10, 11 en 12 met elkaar worden vergeleken, de ontwerpprofielen 4 en 6 ongunstig scoren voor zowel energiegebruik als gezondheid en dat ontwerpprofiel 5 juist gunstig scoort voor zowel energiegebruik als gezondheid. Een laag energiegebruik en een hoge tevredenheid met het binnenmilieu kunnen dus gecombineerd worden bij de juiste combinatie van ontwerpkeuzes, dus bij een robuust klimaatontwerp!

Dit zijn bemoedigende resultaten, die verder onderzoek rechtvaardigen. Omdat dit onderzoek is gebaseerd op twee databases, één voor energiegebruik en één voor gebruikerstevredenheid, is het des te belangrijker om dit onderzoek uit te voeren op een gebouwenbestand, waarbij energiegebruik en gebruikers-percepties in dezelfde gebouwen en in dezelfde periode worden onderzocht.

REFERENTIES

- Ham, E.R. van den; Relatie tussen EPC en werkelijk energiegebruik van kantoorgebouwen, Climatic Design Consult, 9 juli 2004, (Novem)
- Ham, E.R. van den, Nobel, K.C.J., Schatgraven in de bestaande gebouwenvoorraad, Pilot kantoren en scholen, Climatic Design Consult 1002.32, 26 oktober 2009, (Novem)
- Turner, C., Frankel, M., Energy Performance of LEED® for New Construction Buildings, NBI-report for the US Green Building Council, 2008
- Huizenga, C., Abbaszadeh, S., Zagreus, L., Arens, E.A., Air Quality and Thermal Comfort in Office Buildings: Results of a Large Indoor Environmental Quality Survey, Proceedings of Healthy Buildings 2006, Lisbon, Vol. III, 393-397
- Leijten, J.L., Kurvers, S.R., Binnenklimaat in kantoorgebouwen. Onderzoek naar klachten, Praktijkgids Arbeidshygiëne, ISBN 978 90 13 05065 3, Kluwer, 2007
- Hellwig R.T., Brasche S., Bischof W.. Thermal Comfort in Offices – Natural Ventilation vs. Air Conditioning, Proceedings of congress Comfort and Energy Use in Buildings – Getting it Right, Winsor 2006
- Arens, et. al., "Are 'class A' temperature requirements realistic or desirable?", Building and Environment, No 45 (2010), pp. 4-10
- Mendell M. J., Mirer A. G. "Indoor thermal factors and symptoms in office workers: findings from the US EPA BASE study", Indoor Air 2009; 19: pp. 291-302
- Leyten J.L., Kurvers S.R. Robuustheid van gebouwen en luchtbehandelingsinstallaties, TVVL Magazine, 1, 2007
- Leyten J.L., Kurvers S.R. Robuustheid van gebouwen en installaties, deel 2, TVVL Magazine, 3, 2011.
- Kurvers S.R., Leijten J.L. Een robuust binnenklimaat, in "De Breinwerker", Redactie Iris Bakker, FMN, Naarden, mei 2010, ISBN 9789490850012
- Blyssens, dr.ir. Ph., Aries and van Dommelen, Comfort of workers in office building projects: the European, HOPE project, 2011, Building and Environment, vol. 46 issue 1
- Juricic, S.M.M., Van den Ham E.R., Kurvers, S.R., Robustness of a building - Relationship between building characteristics and energy use and health and comfort perception, Proceedings of 7th Windsor Conference: The changing context of comfort in an unpredictable world Cumberland Lodge, Windsor, UK, 12-15 April 2012