

# Klimaatverandering, thermisch comfort en energie

*Dit artikel behandelt de tweeledige uitdaging van het ontwerpen van duurzame gebouwen met een laag energiegebruik, terwijl gelijktijdig wordt voorzien in thermisch comfort onder warmere zomercondities die worden veroorzaakt door antropogene klimaatverandering – de uitdaging die een sleutelrol speelt voor gebouwontwerpers in de 21<sup>e</sup> eeuw. De aandacht gaat daarbij uit naar gebouwen die een gedeelte van de zomer 'free running' zijn; door toepassing van geheel natuurlijke ventilatie of gebalanceerde ventilatie (mixed-mode), waarbij mechanische koeling alleen wordt gebruikt wanneer dat essentieel wordt gevonden. Omdat de condities in deze gebouwen van dag tot dag zullen variëren, is het belangrijk om te begrijpen hoe mensen reageren op, en zich aanpassen aan, hun omgeving. Van recente ontwikkelingen op dit gebied en van de klimaatdata, die benodigd zijn om de gebouwprestatie te beoordelen, is een samenvatting gemaakt. Temperaturen in free running gebouwen zijn per definitie nauw gerelateerd aan de buitentemperaturen. Omdat het klimaat verandert en buitentemperaturen naar verwachting zullen stijgen, zal de toekomst grote uitdagingen bieden voor ontwerpers van duurzame gebouwen die volledig passieve- of energiezuinige comfortkoeling nastreven. Deze problemen worden getoond in casestudy's, door voorspellingen van de prestatie van enkele gebouwen onder een klimaatveranderings-scenario. De voorbeelden laten daarnaast een aantal belangrijke principes zien die zijn gerelateerd aan klimaatgevoelige en energiezuinige ontwerpen.*

**- door M.J. Holmes en J.N. Hacker**

**H**et is niet nodig om de motivatie tot het minimaliseren van het energiegebruik van HVAC-systemen te verdedigen. De motivatie lijkt nu te zijn verplaatst van de wens om de kosten te reduceren en schaarse hulpbronnen te besparen, naar minimalisatie van de productie

van kooldioxide. De noodzaak van dit laatste is van veel groter belang. Het zijn echter economische krachten die altijd zullen domineren. Daarnaast wordt het vermogen van ingenieurs om te voorzien in krachtige en energiezuinige ontwerp oplossingen verruimd, door de tendens naar ambitieuzere

architectonische ontwerpen. Het is mogelijk dat het gebruik van specifieke constructiematerialen zal bijdragen aan minimalisatie van het energiegebruik. Aannemelijk is echter dat de energie die gedurende de levenscyclus van het gebouw wordt gebruikt, de energie is die in het materiaal en in de geïnstalleerde systemen ingesloten zit, buitengewoon zal worden overschreden. Als gevolg daarvan zal het ontwerp dat het energiegebruik van het begin af aan minimaliseert, de meest duurzame oplossing vormen.

Het dient te worden onderkend dat de HVAC-installatie gedurende de levenscyclus van het gebouw meerdere malen zal worden vervangen en dat, om alles nog ingewikkelder te maken, het klimaat aan het veranderen is. Daarom kunnen het gebouw en de daaraan verbonden installaties een aantal verschillende vormen aannemen in het leven van dat gebouw. Het is waarschijnlijk onmogelijk om de aanpassingen die aan HVAC-systemen zullen worden uitgevoerd te voorspellen; het is wel mogelijk om redelijke schattingen te maken van het klimaat in de komende circa 80 jaren [1]. Dit is gedaan door gebruik te maken van computermodellen van het wereldklimaatstelsel, die zijn gebaseerd op verschillende scenario's voor de emissie van broeikasgassen. In het UKCIP02 scenario [1] is bijvoorbeeld de laatste set van klimaatveranderingsscenario's voor Engeland geproduceerd door het United Kingdom Climate Impacts Programme. De toekomstverwachtingen voor het Medium-

---

Vertaling van "Climate change, thermal comfort and energy: Meeting the design challenges of the 21st century", door P.M. Briggan BSc, afstudeerster bij de unit Building Physics & Systems van de TU Eindhoven.

Tijdsegment	Lage emissies	Medium-Lage emissies	Medium-Hoge emissies	Hoge emissies
2020s	0,79	0,89	0,89	0,95
2050s	1,4	1,7	1,9	2,2
2080s	2,0	2,3	3,3	3,9

**UKCIP02 scenario wereldtemperatuurveranderingen onder de vier scenario's voor de emissie van broeikasgassen en drie 30-jarige tijdsegmenten in de 21<sup>e</sup> eeuw.**

- TABEL 1 -

Hoge emissie scenario resulteren in een stijging van de wereldtemperatuur van 3,3 K tegen de jaren 2080. Tabel 1 laat de voorspelde stijging in de wereldtemperatuur zien voor de vier UKCIP02 emissiescenario's en de drie tijdsegmenten (ieder segment beschrijft een 30-jarige periode waarvan het betreffende decennium het middelste is). In dit artikel zal de aandacht worden beperkt tot het Medium-Hoge emissie scenario, hoewel er op dit moment geen specifieke waarschijnlijkheid is verbonden aan één van de vier scenario's. Desondanks kunnen er vergelijkingen worden gemaakt tussen de scenario's. Het niveau van de geschatte wereldklimaatverandering in de jaren 2080 onder Lage emissies is bijvoorbeeld gelijk aan die van de jaren 2050 onder Medium-Hoge emissies.

Door gebruik te maken van scenario's voor de klimaatverandering is het mogelijk om een aannemelijke schatting te maken van de prestatie van de huidige installatie en het gebouw onder klimaatveranderingen. Dit kan alleen worden gedaan als er een aantal oplossingen kan worden gevonden om de klimaatdata te modificeren die op het moment worden gebruikt voor de voorspelling van het energiegebruik in gebouwen. Als het zo uitkomt dat vernieuwingen aan het ontwerp zullen worden uitgevoerd, kan deze aanpak het beste worden gebruikt om de juistheid van het originele ontwerp te toetsen.

In een recent onderzoek [2] is de invloed van de klimaatverandering op de prestatie van energiezuinige gebouwen in Engeland bekeken. Dit onderzoek gaf aan dat, zoals zou kunnen worden verwacht, goede energiezuinige ontwerpen de beste 'toekomstbestendige' oplossingen bieden. Daarnaast werd de nadruk gelegd op vier basisprincipes van energiezuinige en duurzame ontwerpen:

- schakelaar uit;
- spreiding;
- afvoeren;
- koeling.

#### **Schakelaar uit**

Het eerste principe betreft het minimaliseren van de warmtelasten (bescherming tegen zoninstraling) en het verzekeren dat de apparatuur binnen is uitgeschakeld, wanneer de apparatuur niet benodigd is.

#### **Spreiding**

De invloed van de warmtelasten kan worden verminderd door pieken in de temperatuur te dempen door het aanbrengen van thermische massa.

#### **Afvoeren**

Ventilatiesystemen zouden op de juiste manier moeten worden ingeregeld, om te verzekeren dat de warmtelasten worden afgevoerd en dat het systeem er niet aan zal bijdragen aan de warmtelast. Dit kan bijvoorbeeld worden gedaan door geen gebruik te maken van buitenlucht bij ventilatie, als de lucht buiten warmer is dan de lucht in het gebouw, (tenzij lucht nodig is om de luchtkwaliteit te handhaven). Tot dit doel is een mechanisch systeem te prefereren boven een natuurlijk ventilatiesysteem.

#### **Koeling**

Ten slotte zal topkoeling benodigd zijn wanneer alle andere maatregelen tekortschieten.

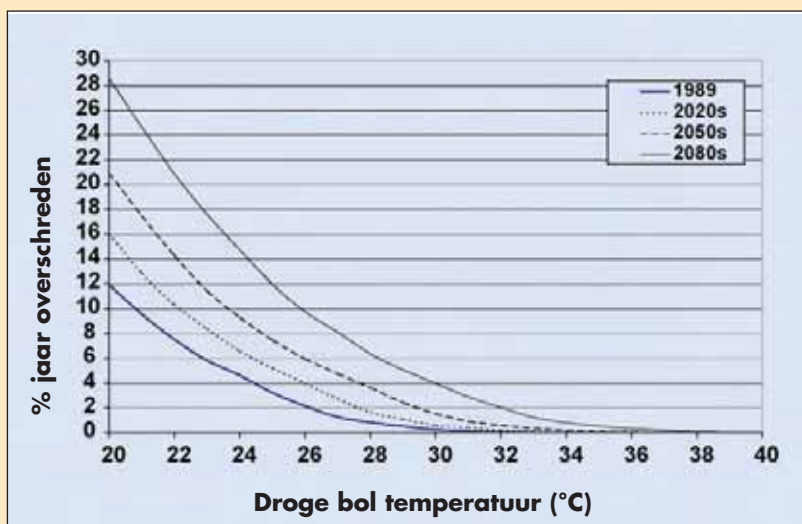
Dit, wat gewoonlijk een 'mixed-mode'-gebouw wordt genoemd, komt in aanmerking om het duurzame gebouw van de toekomst te worden.

In dit artikel wordt een aantal voorbeeldgebouwen gebruikt, om een aantal principes van energiezuinig ontwerpen te laten zien. Deze gebouwen zijn, hoewel ze zijn gebaseerd op bestaande gebouwen in Engeland, vereenvoudigd om de belangrijkste ontwerpaspecten te laten zien. De selecties zijn gemaakt door een aantal ontwerpstudies te be-

studeren die zijn gemaakt na gebruik van de gebouwen [3]. Ook zijn voorbeelden bekeken van wat werd gedacht een goed ontwerp te zijn. Deze voorbeelden laten geavanceerde natuurlijke ventilatie principes, thermische opslag, een nieuw energiezuinig koelsysteem en het gebruik van mixed-mode ventilatie in het huidige klimaat van Engeland, en in een aantal mogelijke toekomstige klimaten, zien. Om te laten zien dat deze gebouwen goed presteren zijn daarnaast de resultaten van een onderzoek van een mixed-mode gebouw na gebruik beschreven. Energiezuinige ontwerpen, voornamelijk gebouwen met natuurlijke ventilatie, neigen er per definitie naar om gevoeliger te zijn voor veranderingen in externe klimaatcondities. Het is daarom essentieel dat het klimaat dat wordt gebruikt voor het beoordelen van de prestatie, voorzien is van een juiste prestatietest. Comfortdoelstellingen zijn mogelijk nog belangrijker, omdat geldt dat hoe wijder het bereik van toegestane interne condities is, des te groter de ruimte voor energiebesparing is. Opnieuw is het belangrijk dat realistische ontwerpcondities worden gehanteerd. In het eerste gedeelte van het artikel wordt een korte beoordeling van klimaat- en comfortaspecten gegeven, gevolgd door een blik op een aantal karakteristieken, welke de keuze van specifieke energiezuinige ontwerpstrategieën beïnvloeden. Tot slot komen de casestudy's aan bod.

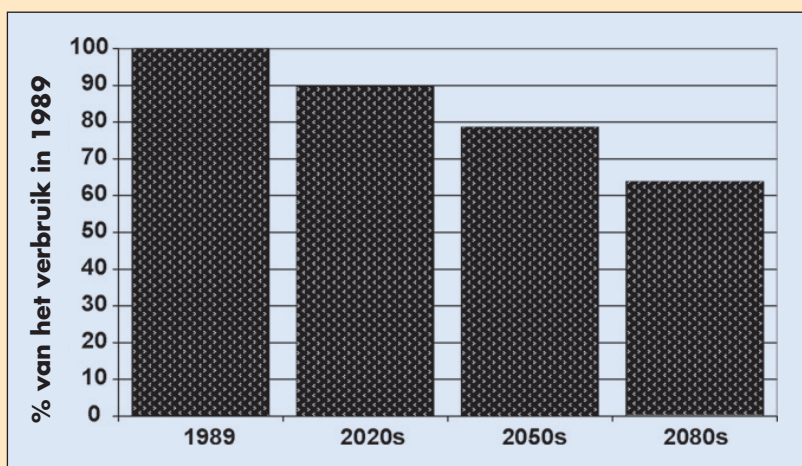
#### **KLIMAAT EN COMFORT**

Een gedetailleerde discussie over deze vraagstukken ligt buiten de orde van dit artikel. Klimaatvraagstukken worden gedetailleerd behandeld in CIBSE Guide J [4] en er is een groot aantal publicaties over comfortcriteria. In dit gedeelte wordt een aanpak gegeven voor het bepalen van interne ontwerpdoelen. De klimaatcondities waar hier-



Het Londen DSY - toekomstige temperatuurverdelingen.

- FIGUUR 1 -



Mogelijke vermindering in de toekomstige vraag naar ruimteverwarming, gebaseerd op veranderingen in graaddagen voor Londen onder het UKCIP02 Medium-Hoge emissiescenario (basistemperatuur 15,5 °C).

- FIGUUR 2 -

naar wordt gekeken, zijn voor de beoordeling van de prestatie van het gebouw en de daaraan verbonden HVAC-installaties, niet voor het ontwerp van dergelijke installaties. In dit opzicht wordt aangenomen dat de enige toereikende manier om de gebouwprestatie te beoordelen, door middel van simulatie zal zijn. Dit houdt in, dat een computerprogramma wordt gebruikt dat geschikt is voor het berekenen van de prestatie over een compleet jaar, met een maximum aantal uurlijkse intervallen.

### Klimaat

Om effecten van de natuurlijke variabiliteit in het weer van jaar tot jaar te verminderen, definieert de World Meteorological Organisation het klimaat als een 30-jarige periode, terwijl installatietechnici voor simulatiemodellen slechts één jaar gebruiken. Het is daarom belangrijk dat het gekozen jaar representatief is voor het weer, gedurende

een aantal jaren. Een dergelijk jaar wordt gewoonlijk een test referentiejaar (TRY) genoemd. De methode die wordt gebruikt om een TRY te selecteren verschilt per land [4]. Het doel is echter in ieder land gelijk; het samenstellen van een set van 12 maanden die representatief is voor het verleden (afgelopen 20 jaar). Dit betekent dat het onwaarschijnlijk is dat een TRY extremen bevat en daarom is het, hoewel het geschikt is voor de voorspelling van energiegebruik, niet geschikt om de prestatie van gebouwen te beoordelen onder afwijkende condities. Hiervoor is een jaar nodig dat periodes bevat waarin de temperaturen hoger dan gemiddeld zijn.

Om dit vraagstuk aan de orde te stellen heeft CIBSE een concept van een ontwerp zomerjaar geïntroduceerd (DSY) [4]. Een DSY is een compleet jaar waarvoor de gemiddelde temperatuur in de zomerperiode april-september (merk op dat de officiële definitie

van de zomer juni-augustus is) in het midden van het bovenste kwartiel van classificaties ligt. Deze classificaties zijn verkregen uit 20 individuele jaren; dat wil zeggen, van een set van 20 jaren, zal de DSY de op twee na warmste zijn, in overeenstemming met de gemiddelde temperatuur in de periode april-september. Dit betekent dat er een kans van ongeveer 1 op 10 is (uitgaande van een niet veranderend 'stationair' klimaat), dat een jaar gemiddelde temperaturen heeft in de periode april-september, die deze temperaturen van het DSY overschrijden. Het DSY is bedoeld voor gebruik in de beoordeling van het risico op temperatuuroverschrijdingen en dient zodoende te worden gebruikt onder advies van CIBSE om de prestatie van natuurlijk geventileerde gebouwen te beoordelen. Het voorspelde energiegebruik zou nog steeds moeten worden bepaald door gebruik te maken van het geschikte TRY. Evenals alle klimaatdata die worden gebruikt door ontwerpers, geven de CIBSE-data het verleden weer. Voor duurzame ontwerpen is het belangrijk om inzicht te krijgen in de prestatie van het gebouw en de installatie gedurende de levenscyclus. Hiervoor is het noodzakelijk om klimaatdata te genereren die representatief voor de toekomst zijn. Het is daarom belangrijk om klimaatverandering in aanmerking te nemen. Een manier om dit te doen is door het weerjaar 'om te vormen' [5], door gebruik te maken van de UKCIP-scenario's [1]. Figuur 1 laat zien hoe de verdeling van de droge bol temperatuur in de Londen DSY data er voor drie tijdsegmenten zou uitzien onder het UKCIP02 Medium-Hoge emissiescenario.

Ondanks het nadelige effect in de zomer, zullen stijgende temperaturen in de winter voordelig zijn, doordat zij de energie die benodigd is voor ruimteverwarming verminderen (zie figuur 2). De data in figuur 2 zijn berekend uit de voorspelde vermindering in graaddagen voor Londen in het omgevormde weerjaar (in plaats van een simulatie van de prestatie van een specifiek gebouw).

### Comfort

Gewoonlijk wordt verondersteld dat, wanneer gebruikers van gebouwen beperkte controle hebben op de ruimtemtemperatuur, de comfortcondities kunnen worden vastgesteld door gebruik te maken van de door Fanger



ontwikkelde theorie [6]. De condities in energiezuinige ontwerpen zijn echter steeds minder stationair en laten vaak toe dat gebruikers van gebouwen enige controle hebben. Een gebouw met gebalanceerde ventilatie (mixed-mode) wordt bijvoorbeeld op eenzelfde wijze geregeld als een gebouw met natuurlijke ventilatie, totdat mechanische koeling benodigd is. Bij het ontwerpen, of bij het beoordelen van de prestatie van deze gebouwen, is het belangrijk om criteria te hebben waarmee kan worden beoordeeld of temperatuuroverschrijding is opgetreden. Een aantal verschillende benaderingen is gebruikt om toe te lichten wat wordt bedoeld met temperatuuroverschrijding [7]. Actueel onderzoek [8] suggereert dat wanneer gebruikers van gebouwen een 'mogelijkheid tot adaptatie' hebben, zij een veel grotere range van condities comfortabel zullen vinden dan dat wordt voorspeld met de methode van Fanger. ASHRAE Standard 55.2001 is een voorbeeld waarin 'acceptabele' binnencondities (operatieve temperatuur) en de gemiddelde maandelijkse externe droge bol temperatuur met elkaar in verband staan (Figuur 3).

De CIBSE gebruikt van oudsher twee temperatuurgrenzen om temperatuuroverschrijding te definiëren: 25 en 28 °C. De eerst genoemde grens mag niet meer dan 5 % van het jaar worden overschreden, de laatste niet meer dan 1 % van het jaar (ongeveer 20 uren in een typisch kantoorgebouw in gebruik). In het huidige advies van CIBSE [9] wordt aanbevolen, dat temperaturen in free running gebouwen zelden de grens van 28 °C zouden mogen overschrijden (zeg 20 uren in een willekeurig jaar), met 30 °C als het hoogst acceptabele niveau. Een adaptieve benadering wordt aanbevolen om comfort te verkrijgen.

Figuur 4 is berekend aan de hand van de data in figuur 3, om te laten zien hoe de hoogste adaptieve comforttemperaturen kunnen worden beïnvloed door klimaatveranderingen. De oorspronkelijke data zijn voor het CIBSE ontwerp zomerjaar voor Londen. Interessant is dat, hoewel temperaturen significant stijgen in de jaren 2080 (zie figuur 1), de maximale adaptieve comforttemperatuur maar net boven de 29 °C ligt. Dit geeft aan dat een vorm van comfortkoeling waarschijnlijk onmisbaar zal zijn in het zuidwes-

ten van Engeland, in het laatste gedeelte van de 21<sup>e</sup> eeuw. Er bestaat weinig twijfel over het idee, dat de adaptieve methode goedkeuring krijgt van diegene die gebouwen met een laag energiegebruik ontwerpen. De benadering die wordt gebruikt door CIBSE [CIBSE, guide A] verschilt van de ASHRAE, doordat de maandelijkse gemiddelde temperatuur vervangen is door een variabele gemiddelde temperatuur. Dit is intuïtief en maakt een beoordeling van de prestatie van een gebouw dat in bedrijf is, mogelijk. De variabele gemiddelde temperatuur wordt berekend door:

$$T_m^n = c \cdot T_m^{n-1} + (1 - c) \cdot T_{dm}^{n-1} \quad (1)$$

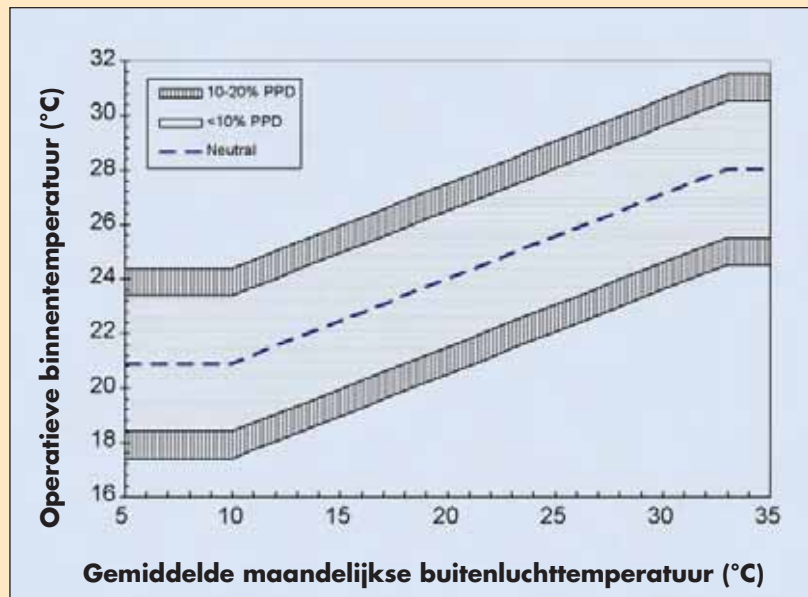
$T_m^n$  is het variabel gemiddelde voor dag n,  $T_m^{n-1}$  het variabel gemiddelde voor dag n-1,  $T_{dm}^{n-1}$  de dagelijkse gemiddelde temperatuur op dag n-1

en  $c = 0,8$ .

Waar de variabele gemiddelde temperatuur hoger dan 10 °C is, wordt aanbevolen om de hoogste acceptabele temperatuur te bepalen door:

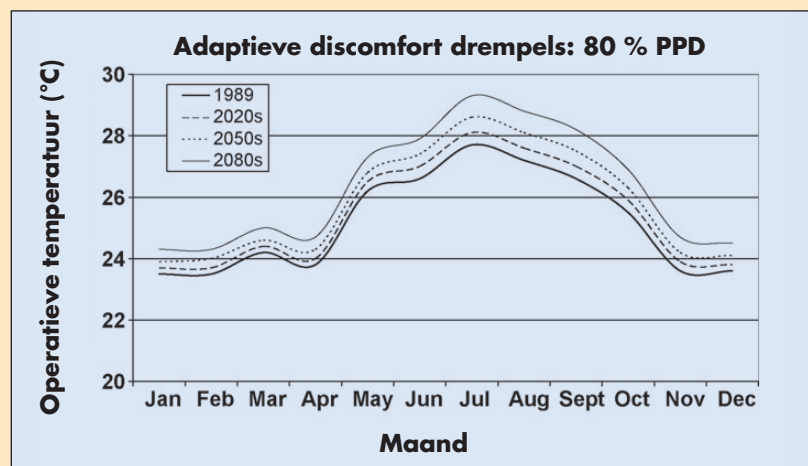
$$T_n = 0,33 \cdot T_m^n + 20,8 \quad (2)$$

Een vergelijkbare aanpak wordt gebruikt in Nederland [10]. Het belangrijkste punt is hier niet de methode die is gebruikt om de acceptabiliteit te definiëren, maar het gegeven dat ontwerprichtlijnen voor niet geklimatiseerde gebouwen zich afscheiden van een starre definitie van comfort. Deze afscheiding vindt plaats naar richtlijnen die erkennen dat gebruikers zich, binnen bepaalde grenzen, aan de omgeving aanpassen. In deze context is adaptatie meer dan aanpassingen in het kledingniveau; het omvat het gebruik van ventilatoren



Adaptief comfort (naar ASHRAE).

- FIGUUR 3-



Hoogste adaptieve comfortgrenzen.

- FIGUUR 4-

(de toegenomen luchtverplaatsing is ruwweg gelijk aan een reductie van de operationele temperatuur met 2 K), de aanwezigheid van koude drankjes en misschien de mogelijkheid om zich te verplaatsen in het gebouw. Concluderend is in termen van comfort voor het ontwerp van energiezuinige gebouwen, een zorgvuldige overweging benodigd van de manier waarop het gebouw zal worden gebruikt. Simpel gezegd, als er een kledingvoorschrift is dat colberts en stropdassen voorschrijft, en gebruikers van het gebouw geen mogelijkheden hebben om ramen te openen of op een andere manier de lokale omgeving te kunnen aanpassen, het niet waarschijnlijk zal zijn dat de gebouwgebruikers zich comfortabel zullen voelen zonder mechanische koeling.

### ONTWERPSTRATEGIEËN

In de huidige context is het ontwerp van gebouwen met een laag energiegebruik het proces van het minimaliseren van de behoefte aan mechanische koeling, terwijl een acceptabel binnenklimaat wordt gehandhaafd. De methode om dit te bereiken en of dit kan worden bereikt zal afhangen van:

- de klant – is iets anders dan airconditioning acceptabel?
- de locatie – staat het gebouw in een lawaaierige gebied en/of in een gebied met ernstige luchtvervuiling?
- het gebouw – heeft het gebouw een klein oppervlak?
- het gebruik van het gebouw – wordt het gebouw 24 uur gebruikt?
- ontwerpvoorschriften – zijn er speciale eisen aan de functie van het gebouw?

Naast deze algemene overwegingen vereist een energiezuinig ontwerp minimalisatie van de warmteopbrengsten. Dit houdt het gebruik van zonweringen, beheersing van de verlichting (maximaal gebruik van daglicht, dat kan in strijd zijn met het gebruik van zonwering) en een goede beheersing van de interne warmtebronnen (uitschakelen indien niet in gebruik) in.

Ontwerpers omschrijven energiezuinige gebouwen op een aantal verschillende manieren. De volgende termen worden in dit artikel gebruikt:

- *Natuurlijk geventileerd gebouw*: Dit zal veelal een gebouw met een klein oppervlak zijn, met ventilatie die

door de gebouwgebruikers wordt gecontroleerd door het openen van ramen. Het kan rond een binnenplaats zijn gebouwd of gebruik maken van een centraal atrium om de luchtstroming door het gebouw te bevorderen.

- *Geavanceerd natuurlijk geventileerd gebouw*: Deze gebouwen zullen een ventilatiestrategie hanteren, waarbij de stroming en de richting van de ventilatielucht worden beheerst door natuurlijke krachten en het gebruik van ventilatiewegen, anders dan ramen (bv. thermische schoorstenen).
- *Mechanisch geventileerde gebouwen*: Deze gebouwen hebben gewoonlijk een centrale ventilator, of lokale ventilatoren, die voorzien in ventilatielucht.
- *Mixed-mode gebouwen*: Deze gebouwen zijn gewoonlijk van één van de hierboven beschreven typen, maar zij hebben daarnaast mechanische koelsystemen.
- *Gebouwen met airconditioning*: Deze gebouwen hebben verzegelde ramen en koeling is gedurende het hele jaar beschikbaar. Ruimtecondities worden nauw gereguleerd. In dit geval is voor een energiezuinig ontwerp, optimalisatie van de HVAC-installatie benodigd, bijvoorbeeld minimalisatie van het gebruik van verwarming en koeling en tegelijkertijd minimalisatie van het verbruik van het vermogen van de ventilator. Typerend is dat de lucht ook wordt onderworpen aan filtratie en beheersing van de luchtvochtigheid.

### CASE STUDIES

Dit gedeelte legt een aantal casestudy's voor, dat een aantal benaderingen van energiezuinig ontwerpen laat zien. De voorbeelden zijn gebaseerd op bestaande gebouwen in Engeland, maar deze zijn in iedere case vereenvoudigd om de belangrijkste ontwerpaspecten te laten zien. De cases zijn:

- school – nieuw gebouwd, natuurlijke ventilatie met gebruik van ventilatieschachten;
- kantoor – mixed-mode gebouw voorzien van een energiezuinig koelsysteem met gebruik van adiabatische koeling;
- kantoor – grote massa, toevoer van lucht door kanalen in de vloer;
- kantoor – geavanceerde en intelligent

beheerste natuurlijke ventilatie;

- inspectie van een mixed-mode gebouw na gebruik.

Er is geen voorbeeld van een gebouw met airconditioning opgenomen, omdat de bedoeling van dit artikel is te laten zien hoe een goed ontwerp de behoefte aan volledige airconditioning kan minimaliseren onder het klimaat dat is beschreven in het CIBSE-ontwerp zomerjaar voor Londen. Een algemeen principe is, dat hoe langer de periode is waarin een gebouw voldoet wanneer het free running of passief wordt gebruikt, hoe lager het energiegebruik en de koolstofemissies van de mechanische koelsystemen zullen zijn. De simulaties die hier worden beschreven zijn uitgevoerd door gebruik te maken van het computerprogramma ENERGY2 dat is ontwikkeld door Arup Research + Development [11]. Het programma maakt gebruik van de eindige elementenmethode voor het simuleren van het warmtetransport door wanden en gebruikt hierbij uurlijkse klimaatdata (met vier tijdstappen per uur), die zijn gekoppeld aan een model met verschillende zones voor de luchtstroming. Het programma geeft voorspellingen die dichtbij het gemiddelde van een range van dynamische thermische simulatiemodellen liggen, die in een internationale test van validatie van software zijn bekeken [12 en 13].

### *Natuurlijk geventileerde school*

De belangrijkste kenmerken van dit gebouw (Figuur 5) zijn:

- hoog isolatieniveau;
- natuurlijke ventilatie;
- blootgestelde thermische massa;
- lichtgewicht, goed geïsoleerd dak;
- nachtcooling.

De ontwerpvereisten voor scholen in Engeland zijn vastgesteld door het Department of Education and Skills. De criteria die hier zijn gebruikt voor het ventilatievoud en temperatuuroverschrijding, overgenomen uit BB87 (2003) waren:

- ventilatie – 8 l/s per persoon;
- temperatuuroverschrijding – 28 °C mag niet meer dan 80 uren per jaar (waarin het gebouw wordt gebruikt) worden overschreden. Dit dient te worden berekend door gebruik te maken van een test referentiejaar. De beoordeling hier maakt gebruik

van het ontwerp zomerjaar, dat geschikter wordt bevonden voor een duurzaam ontwerp.

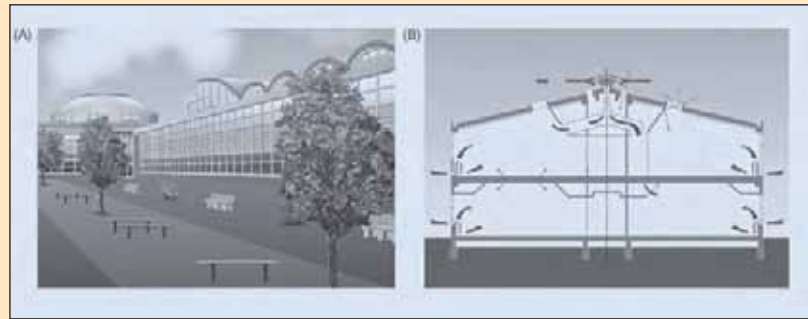
Het ontwerp van deze school omvat de ventilatiestrategie die is aangegeven in figuur 5b; het belangrijkste kenmerk hiervan is het gebruik van een centraal ventilatie-verdringingssysteem. Daarbij wordt ventilatielucht door wind en opwaartse krachten door de klaslokalen en in de ventilatieopeningen verplaatst. Het plaatsen van ventilatieopeningen dicht bij de vloer zal helpen om de temperatuurstratificatie te verhogen, die de effectiviteit van het systeem zou moeten verhogen.

Hoewel het in de praktijk waarschijnlijk is dat de ventilatie handmatig wordt geregeld, wordt hier een automatisch besturingssysteem verondersteld. De voorschriften waarop het systeem is gebaseerd, zijn:

- Begin met het sluiten van de ventilatieopeningen als de buitentemperatuur lager is dan 12 °C. Er wordt een lekkage-oppervlak van 2,5 % van de volledige open oppervlakte aangenomen.
- Begin met het sluiten van de ventilatieopeningen als de klaslokalen niet worden gebruikt en de temperatuur beneden 18 °C ligt (te veel koeling kan leiden tot problemen – bijvoorbeeld onnodige verwarming in de zomer).
- Regel het ventilatieoppervlak om een ventilatievoud van 4,5 h<sup>-1</sup> te verkrijgen (gelijk aan 8 l/s per persoon) en een CO<sub>2</sub>-detector wordt verondersteld) als de klaslokalen niet worden gebruikt en de temperatuur tussen de 18 en de 22,5 °C ligt.
- Begin de ventilatioorosters te openen als de temperatuur in het klaslokaal hoger is dan 22,5 °C en de buitentemperatuur lager is dan de binnentemperatuur.
- Begin anders met het sluiten van de ventilatioorosters.
- De snelheid van het openen is vastgesteld op een lage snelheid; van dicht naar open duurt ongeveer 1 uur.

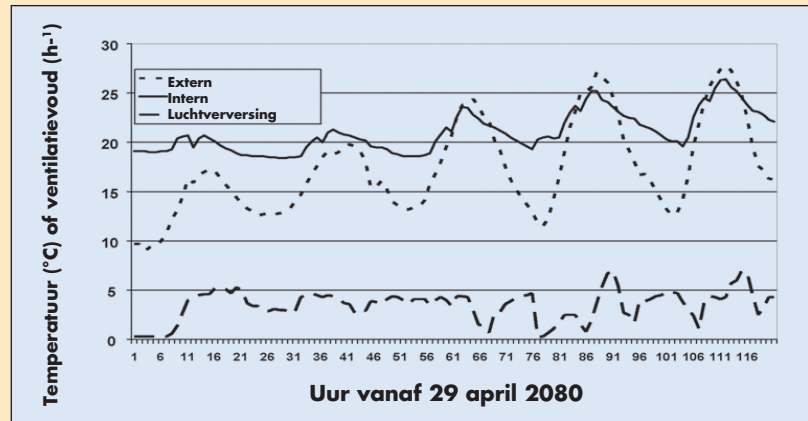
Een voorbeeld van de prestatie van dit besturingssysteem is geïllustreerd in figuur 6.

Om de prestatie van de school te laten zien, zijn simulaties uitgevoerd voor een basiscase en voor een case waarin zonwering wordt gebruikt om het niveau van zonnestraling op de ramen



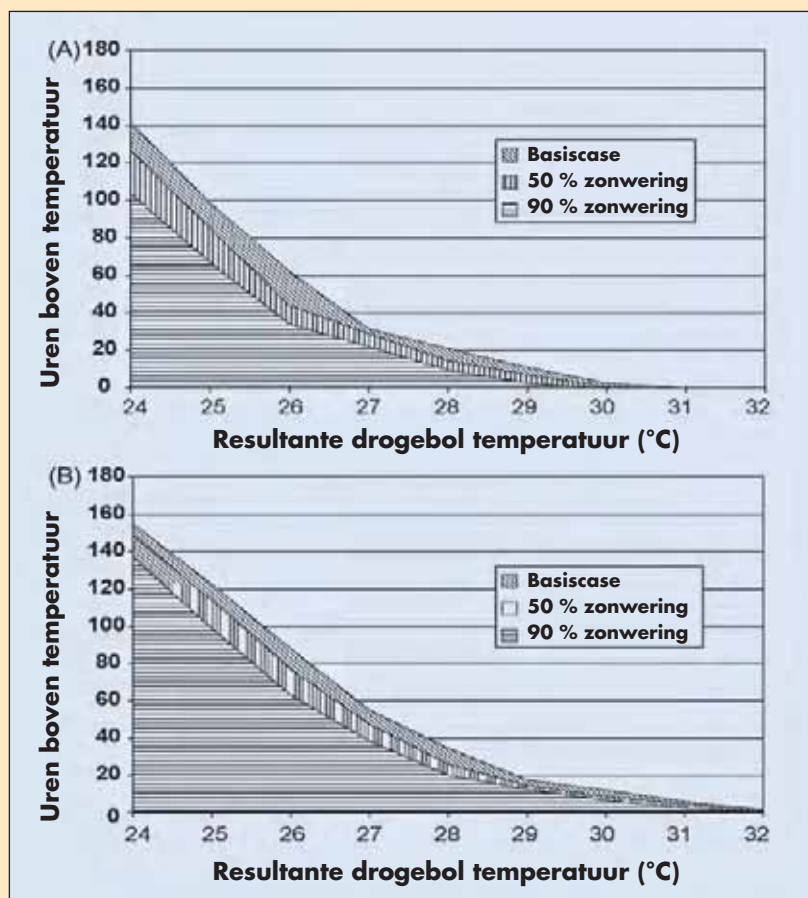
Natuurlijk geventileerde school: (a) impressie van de school door de ontwerper. (b) ventilatiestrategie.

- FIGUUR 5-



Natuurlijk geventileerde school: voorbeeld van de prestatie van een besturingssysteem.

- FIGUUR 6-

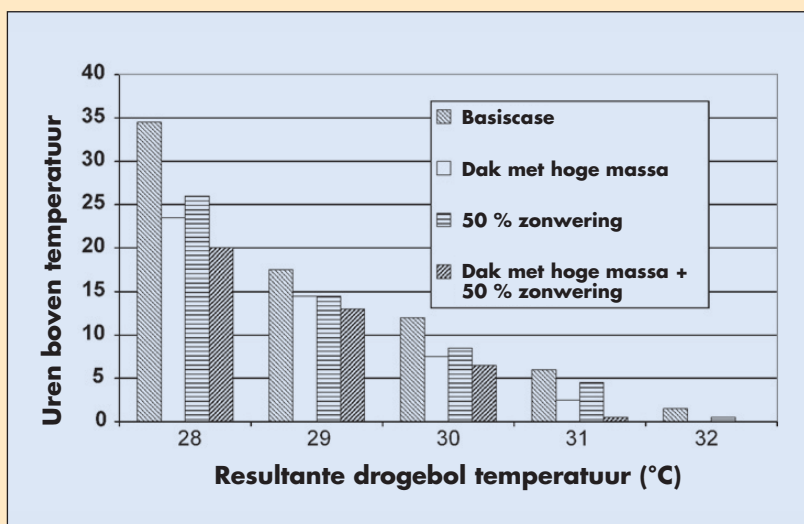


(a) Natuurlijk geventileerde school: prestatie van klaslokalen op de begane grond voor het basisklimaat (Londen DSY 1989).

(b) Natuurlijk geventileerde school: prestatie van klaslokalen op de eerste verdieping voor het basisklimaat (Londen DSY 1989).

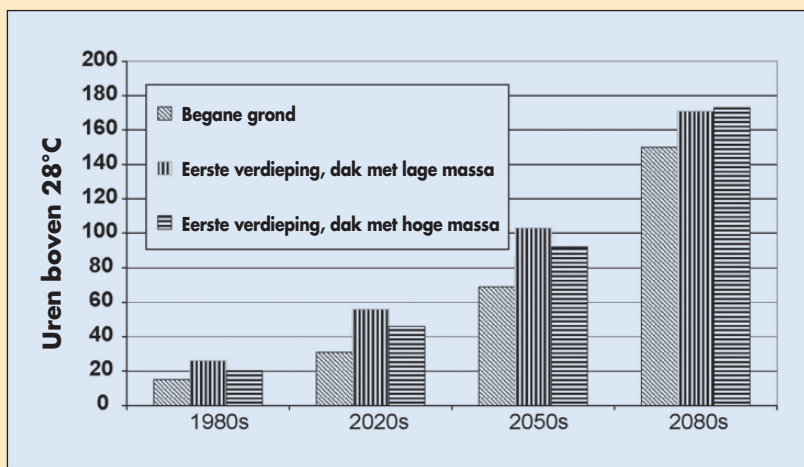
- FIGUUR 7-





Natuurlijk geventileerde school: verbetering door gebruik van een dakconstructie met een hoge massa voor het basisklimaat (Londen DSY 1989).

- FIGUUR 8 -



Natuurlijk geventileerde school: toekomstige prestatie met 50% zonwering onder het UKCIP02 Medium-Hoge emissiescenario.

- FIGUUR 9 -

te verlagen (eerst met 50% en daarna met 90%). Voor de bezetting van het gebouw en de interne warmtebronnen is aangenomen:

- 28 leerlingen en een leraar aanwezig tussen 09:00 uur en 16:00 uur (met een lunchpauze);
- verlichting 10 W/m<sup>2</sup> onafgebroken tijdens bezetting van de ruimte;
- apparatuur 5 W/m<sup>2</sup> onafgebroken tijdens bezetting van de ruimte.

Om de prestatie te beoordelen is het aantal uren berekend dat de interne resulterende drogebol temperatuur (deze kan worden berekend uit de luchttemperatuur en de gemiddelde stralingstemperatuur) boven de adaptieve comforttemperatuur lag. Dit is gedaan aan de hand van vergelijking 2. Deze uren zijn weergegeven in figuur 7, waarin de gegeven ruimtetemperaturen het gemiddelde zijn voor beide verdiepingen. Bij deze berekeningen

zijn typisch Engelse zomervakanties aangenomen (6 weken vanaf half juli), en de voorspellingen zijn uitgevoerd voor de zomermaanden, inclusief de periode mei tot september. Condities op de begane grond voldoen moeiteloos aan de ontwerpisen. Evenals bij vele natuurlijk geventileerde gebouwen zijn de condities op de bovenste verdieping slechter dan die op lagere verdiepingen. De reden die hier gewoonlijk voor wordt gegeven is de dakconstructie, die weinig mogelijkheden heeft om warmte op te slaan, zoals in deze case.

Als experiment is het gebouw gesimuleerd met een 200 mm gegoten betonnen plafond, die het bestaande plafond van tegels met weinig massa vervangt. De U-waarde van het plafond blijft gelijk met een waarde van 0,2 W/m<sup>2</sup>K. Figuur 8 vergelijkt de prestatie van de klaslokalen met dit dak, met de presta-

tie van klaslokalen met het lichtgewicht dak. Het is duidelijk dat er een voordeel zit in het verhogen van de massa van het dak.

Hoe 'toekomstbestendig' is het ontwerp voor klimaatveranderingen? Om deze vraag te beantwoorden zijn simulaties uitgevoerd voor de toekomstige tijdsegmenten, die zijn behandeld in de paragraaf 'klimaat' (Figuur 9). Condities op de begane grond zijn altijd beter dan de condities die worden voorspeld voor de eerste verdieping, echter, wanneer de temperatuur stijgt, neemt de waarde van het dak af met de hoge massa. Dit kan komen doordat de massa de neiging heeft om bij hogere buiten-temperaturen de gemiddelde binnen-temperaturen te verhogen. Ook is er de kwestie van de hoge ventilatievoud die overdag nodig is; dit heeft een belangrijk effect op de doeltreffendheid van het dak met de hoge massa.

#### Kantoor met een energiezuinig koelsysteem – mixed-mode gebouw

Dit is een modern gebouw dat voldoet aan de hoogste eisen (Figuur 10). Het gebouw is goed geïsoleerd en uitgerust met een goede zonwering. De constructie is van een middelmatige hoge thermische massa met stenen muren en een gegoten betonnen plafond, dat is blootgesteld aan de klimaatcondities buiten. De lucht van het mechanische ventilatiesysteem wordt toegevoerd door een vloeropening en afgevoerd door verlichtingsarmaturen. Deze opstelling zal resulteren in stratificatie, en daarmee tot een verhoogde prestatie van het systeem.

De enige beschikbare koeling is die van een adiatische nevel, die is geplaatst in het retoursysteem van de luchtstroming zoals aangegeven in figuur 10b. Het gebruik van een warmtewisselaar tussen de toevoer- en de afvoerluchtstromen met een hoog rendement verzekert een maximaal herstel van de 'koude' van de retourlucht, zonder enige stijging van de luchtvochtigheid in het gebouw.

Het gebouw wordt geregeld volgens een mixed-mode scenario, waarbij de ramen worden gesloten en mechanische ventilatie wordt ingeschakeld en actief blijft voor de rest van de dag, als op een enkele dag de operationele temperatuur binnen tot boven de 25 °C stijgt. Nachtkoeling kan worden gebruikt om de prestatie van het gebouw

te verbeteren. De strategie voor de regeling die wordt aangenomen bij nachtkoeling is:

- controleer of de buitenlucht boven de 15 °C is gestegen gedurende de periode waarin het gebouw bezet was; nachtkoeling is dan mogelijk;
- controleer of de temperatuur in een referentieruimte boven de 23 °C is gestegen; als dat het geval is dan is nachtkoeling mogelijk;
- schakel de ventilatoren voor nachtkoeling uit als de buitentemperatuur beneden de 8 °C daalt, of als de ruimtetemperatuur minder dan 3 K boven de buitentemperatuur ligt.

De laatste voorwaarde voorkomt dat er te veel wordt gekoeld en onnodig wordt verwarmd, op een vergelijkbare manier als in de regels voor de ventilatie van de school die eerder zijn beschreven.

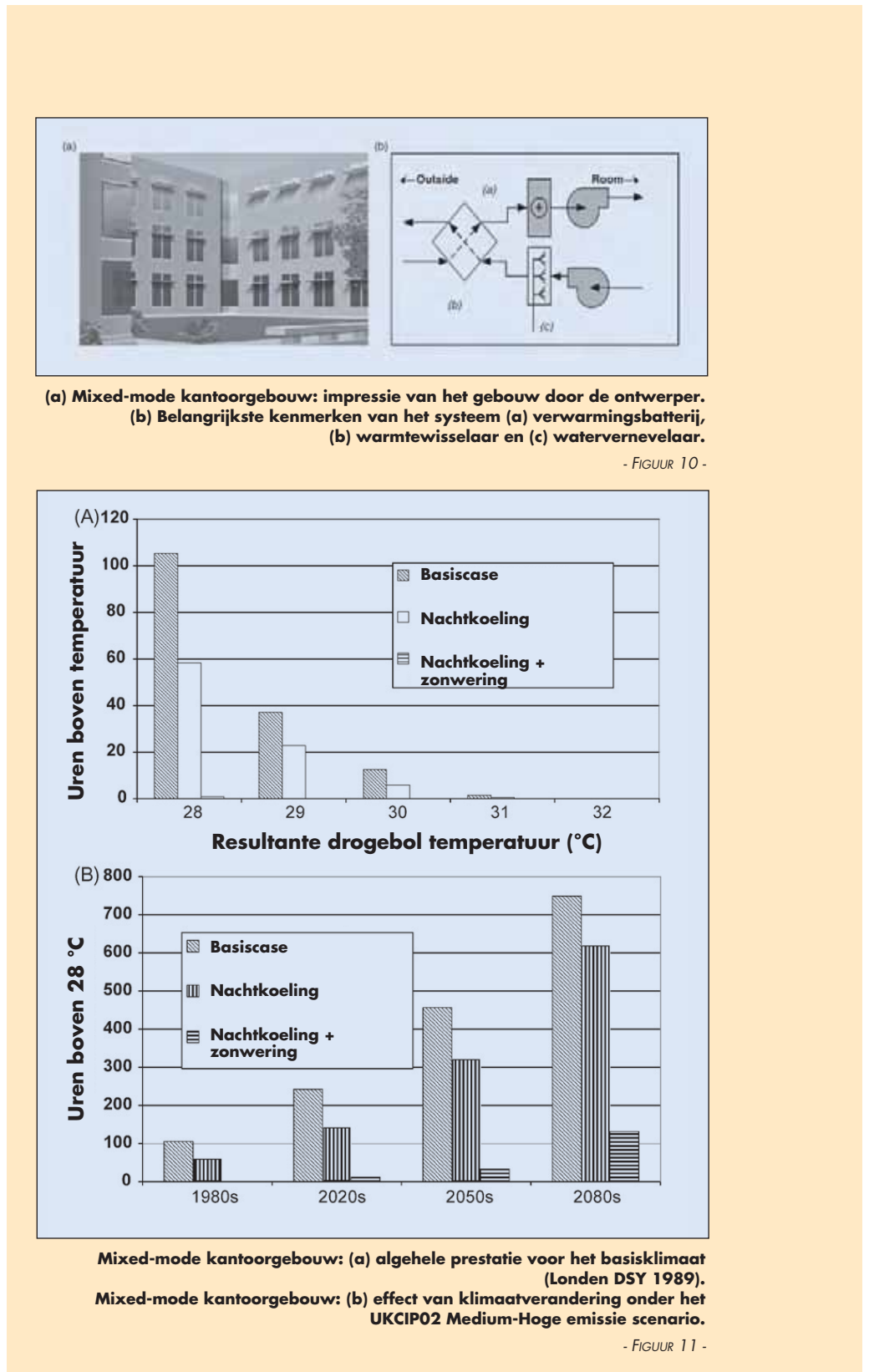
Wanneer natuurlijke ventilatie mogelijk is, wordt aangenomen dat het ventilatievoud met gesloten ramen 0,25 h<sup>-1</sup> bedraagt. Dit neemt proportioneel toe als de binnentemperatuur stijgt van 24 °C tot een maximum ventilatievoud van 6 h<sup>-1</sup> bij, en boven de 28 °C.

Bij de beoordeling van de prestatie is het volgende aangenomen:

- regeling zes dagen per week van 7:00 uur tot 20:00 uur, met volledige bezetting tussen 9:00 uur en 18:00 uur (één persoon per 10 m<sup>2</sup>);
- de warmteopbrengst van de verlichting bedraagt 12 W/m<sup>2</sup>, evenredig met het aantal gebruikers van de ruimte (in dit geval vermindert het gebruik van armaturen die de lucht behandelen de directe opbrengst naar de ruimte tot 8 W/m<sup>2</sup>);
- de warmteopbrengst van de apparatuur bedraagt 15 W/m<sup>2</sup>, opnieuw evenredig met de bezetting van de ruimte.

De voorspellingen van de prestatie zijn weergegeven in figuur 11 en gebaseerd op het aantal uren dat de temperatuur boven de acceptabele temperatuur ligt, die is voorspeld met behulp van de adaptieve methode van CIBSE.

De opties die worden beschouwd zijn voor een basiscase, waarin koeling alleen beschikbaar is op momenten dat het gebouw in gebruik is, waarin nachtkoeling wordt gebruikt, en waarin tot slot met een aanvullende buiten-



zonwering de zonnestraling die op de ramen terecht komt met 90 % wordt gereduceerd.

Deze analyse is wederom gemaakt voor de zomermaanden waarvan de totale uren waarin het gebouw wordt gebruikt, net boven de 1.000 ligt. De condities in de basiscase zullen waarschijnlijk niet acceptabel zijn: nachtkoeling verlaagt het aantal uren dat de temperatuur boven de 28 °C ligt tot onder de 60. Dit kan worden gezien als grenslijn. In de toekomst zal enige vorm van koeling echter wenselijk zijn.

Simulaties zijn uitgevoerd met topkoeling om ervoor te zorgen dat piektemperaturen niet boven de 25 °C uitstijgen. Deze koeling kan de vorm aannemen van met water gekoelde balken. Relatieve koolstofemissies van de energie<sup>1</sup>, die wordt gebruikt door de boiler (aardgas), ventilatoren en door de waterkoeler<sup>2</sup> (elektriciteit), zijn gegeven in figuur 12. De data, die zijn opgenomen in figuur 12, zijn bekeken ten opzichte van de emissies die zijn berekend voor de case met nachtkoeling en zonder aanvullende zonwering



(hierbij wordt gebruik gemaakt van het ontwerp zomerjaar van 1989 als een representatief jaar voor de jaren '80). Als de cijfers voor het gebruik van verlichting en apparatuur worden inbegrepen, dan worden de emissies ten gevolge van de additionele koeling bijna verwaarloosbaar. Dit omdat het effectieve ontwerp de behoefte aan mechanische koeling heeft geminimaliseerd. Het vermogen van de ventilatoren, dat gebruikt is in de simulaties, ligt net onder  $3 \text{ W/m}^2$  (ventilatievoud van 4 en een totale drukverhoging van 500 Pa voor de toevoerventilator en 500 Pa voor de afvoerventilator). De ventilatoren zullen veel korter worden ingeschakeld dan de periode waarin het gebouw wordt gebruikt, door het openen van ramen voor ventilatie wanneer dat mogelijk is. Kleine afnames in emissies in de toekomst worden voorspeld voor de cases zonder mechanische koeling, omdat

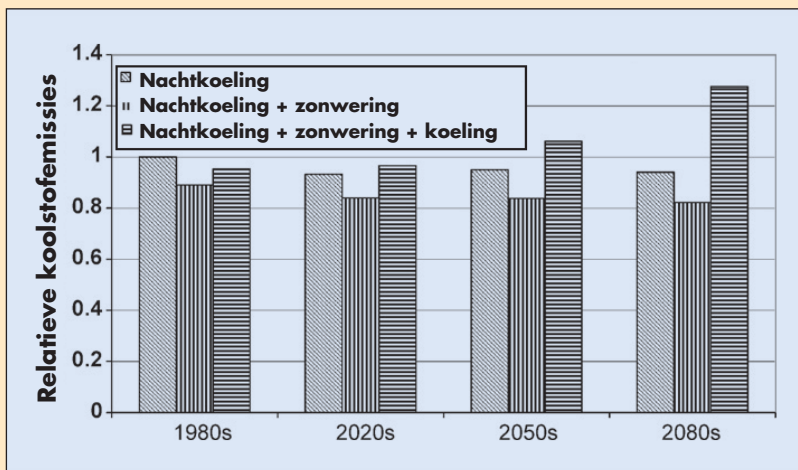
de toename van de buitentemperatuur leidt tot een vermindering van het gasverbruik door de boilers. Met een efficiënt ontwerp zou de meest effectieve manier om energiegebruik te verminderen, het minimaliseren van de warmtewinsten zijn. In dit geval is de berekende energie die wordt gebruikt door verlichting en apparatuur ongeveer 70 % van het totale gebruik van het gebouw.

#### **Mechanisch geventileerd kantoorgebouw met een grote massa**

Dit voorbeeld (figuur 13) beschrijft een erg goed geïsoleerd gebouw (raam, driedubbele beglazing met een U-waarde van  $1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ , wanden  $0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ ). Er is een uitstekende beheersing van de zon met een beschaduwingscoëfficiënt van 0,27 en de aangebrachte zonwering in de buitenste luchtspouw. Het gebouw wordt te allen tijde mechanisch geventileerd. Daarbij wordt de

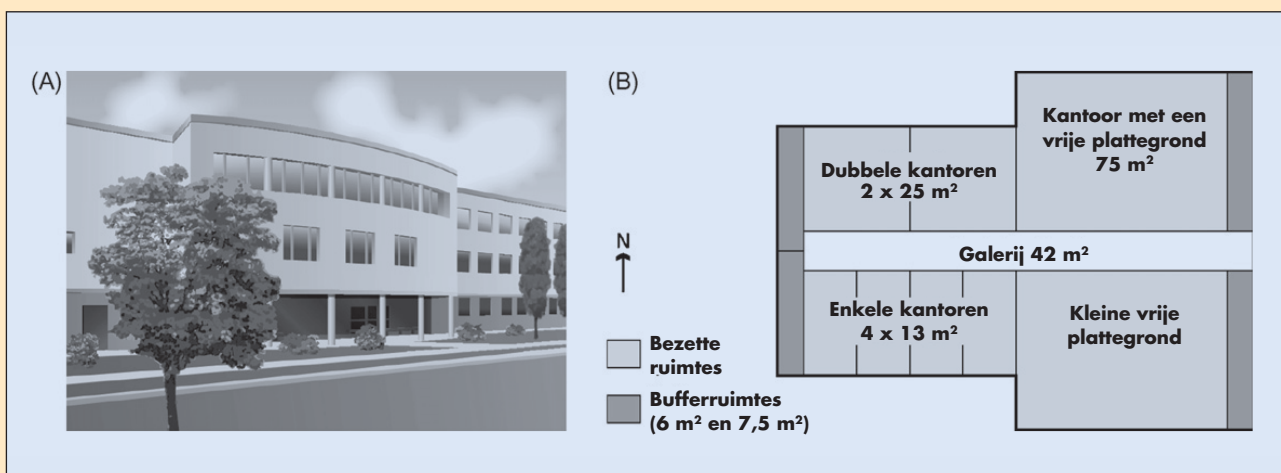
toevoerlucht door een thermisch massieve betonnen vloerplaat met een holle kern gevoerd, voordat het de bezette ruimtes door verdelers in het plafond bereikt. Dit betekent dat het vermogen van de constructie om warmte op te slaan enorm is verhoogd ten opzichte van het vorige voorbeeld, maar door de richting van de luchttoevoer aan de ruimtes vindt er geen stratificatie plaats in de bezette ruimtes. Een efficiënte warmtewisselaar voor warmterugwinning uit de uitlaatlucht in verwarmingsmodus is in het systeem opgenomen.

Het systeem maakt gebruik van een nachtkoeling-strategie, dat vergelijkbaar is met de strategie die is beschreven in het vorige voorbeeld (kantoor met een energiezuinig koelsysteem). Er is echter een verschil in de manier waarop de toevoerlucht wordt geregeld, omdat de binnenkomende lucht wordt verwarmd voordat deze door de vloer naar de binnenruimtes wordt gevoerd. De bedoeling hiervan is om te verzekeren dat ruimtetemperaturen niet ver onder de  $18 \text{ }^\circ\text{C}$  zullen dalen. Als de temperatuur in een referentieruimte onder de  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  daalt, wordt de lucht verwarmd die aan de vloer met de holle kern wordt toegevoerd, met gebruikmaking van het schema in figuur 14. De prestatie van dit gebouw is gesimuleerd voor een tweevoudige ventilatie: de lucht wordt daarbij vier en zes keer per uur verversd. Om de gevoeligheid voor zoninstraling te onderzoeken, is er ook gesimuleerd met en zonder gebruikmaking van zonwering.<sup>3</sup> De interne warmteopbrengsten en het profiel van de bezetting zijn gehanteerd zoals



**Mixed-mode kantoorgebouw: relatieve koolstofemissies onder het UKCIP02 Medium-Hoge emissie scenario.**

- FIGUUR 12 -



**Mechanisch geventileerd kantoorgebouw met een grote massa: (a) impressie van het gebouw door de ontwerper. (b) typische plattegrond.**

- FIGUUR 13 -

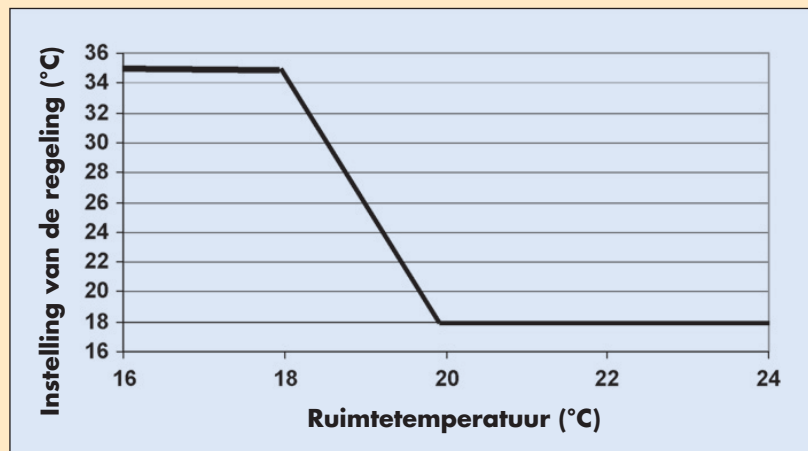
beschreven bij het kantoorgebouw dat in het vorige voorbeeld is behandeld. De prestatie van het kantoorgebouw in kwestie is aanmerkelijk beter. Dit komt door de verhoogde effectiviteit van de thermische massa en, mogelijk, door het hogere isolatieniveau. De beheersing van de zoninstraling, zonder gebruikmaking van zonwering (beschaduwingscoëfficiënt van 0,27) in combinatie met een klein beglazingsooppervlak (20-30 %, afhankelijk van de gevel), betekent dat de zonwering niet zo doeltreffend is als de mogelijkheid voor adaptatie, zoals in de vorige voorbeelden. Opnieuw is er een indicatie voor de behoefte aan aanvullende koeling in toekomstige jaren (figuur 15). Zoals in het vorige voorbeeld, is het voorspelde energienadeel voor topkoeling niet groot (ongeveer 10 % van het ventilatorvermogen in de jaren 2080).

Dit prestatieniveau (figuur 16) werd behaald met als nadeel een toegenomen energiegebruik, dat voor ventilatie 4 tot 6 keer hoger is dan dat voor het mixed-mode gebouw (er is aangenomen dat het drukverlies in alle cases gelijk is, iets wat niet mogelijk zou zijn bij gebruik van het huidige systeem). Het verbruik van de boiler is echter ongeveer 10 % van het verbruik dat voorspeld is voor het mixed-mode gebouw.<sup>4</sup> De voorspelde koolstofemissies zijn vergelijkbaar voor de twee gebouwen. Het huidige voorbeeld laat ongeveer 10 % minder emissie-uitstoot zien bij een ventilatievoud van vier dan de case met de koeling, en ongeveer 10 % meer bij een ventilatievoud van zes.

#### Geavanceerd natuurlijk geventileerd kantoorgebouw

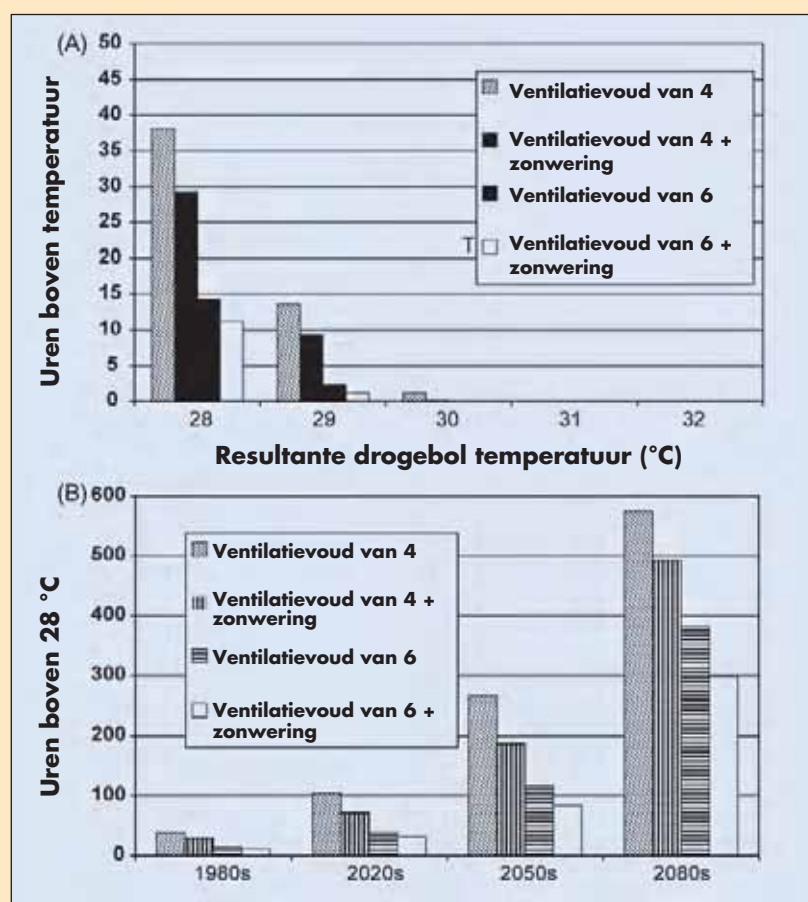
Deze case studie is gebaseerd op een gebouw dat is ontworpen en gebouwd als een voorbeeld van energiezuinig ontwerpen (figuur 17). De belangrijkste kenmerken van dit gebouw zijn:

- constructie met een hoge thermische massa (met uitzondering van het schuine dak boven de open ruimtes op de bovenste verdieping, dat goed geïsoleerd is, maar een kleine thermische capaciteit heeft);
- natuurlijke ventilatie met gebruikmaking van zonnenschorstenen en bedienbare ramen;
- luchtkanalen door de tussengelegen plafonds/vloerplaten;



Mechanisch geventileerd kantoorgebouw met een grote massa: schema van de temperatuurbeheersing.

- FIGUUR 14 -



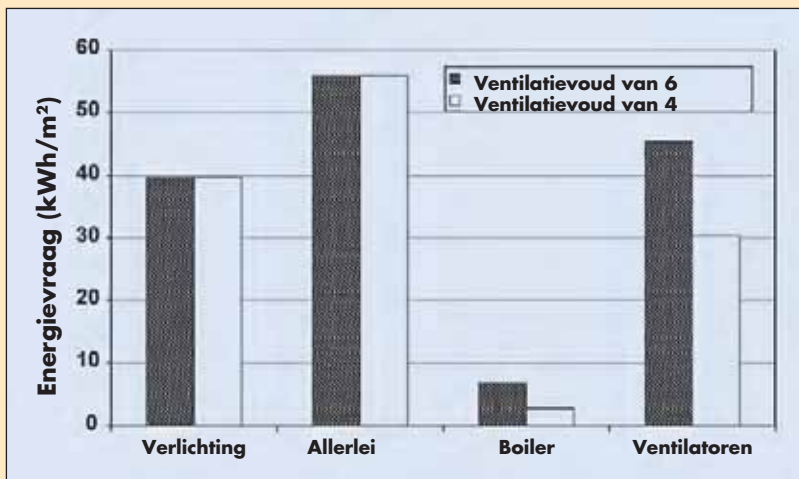
Mechanisch geventileerd kantoorgebouw met een grote massa: (a) algehele prestatie voor het basisklimaat (Londen DSY 1989). Mechanisch geventileerd kantoorgebouw met een grote massa: (b) effect van klimaatverandering onder het UKCIP02 Medium-Hoge emissie scenario.

- FIGUUR 15 -

- hoog zonweringsniveau;
- hoog isolatieniveau;
- fotovoltaïsche cellen op een gedeelte van de gevelbekleding.

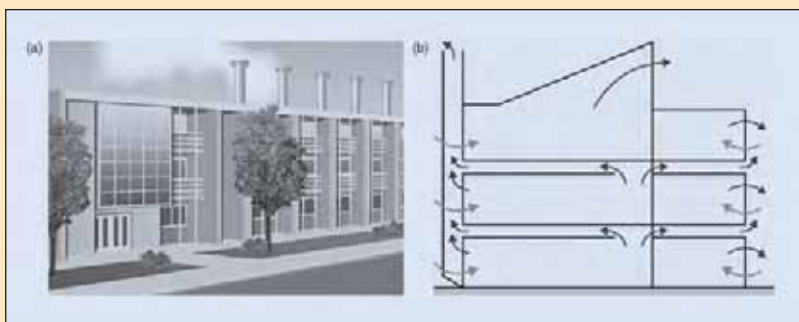
Het ventilatiesysteem dat is aangenomen voor de simulaties, was op twee uitzonderingen na gelijk aan het systeem dat is gebruikt in de school. De verschillen zijn:

- het minimale ventilatievoud gedurende de dag was 0,5 h<sup>-1</sup>. Dit kan laag worden gevonden, maar het is goed mogelijk dat op plaatsen waar gebruikers van de ruimte controle hebben over de ramen en zijn geïnstrueerd om deze te sluiten wanneer het erg warm of koud is buiten, nog lagere ventilatievouden voorkomen;
- het 'set point' van de temperatuur in



**Mechanisch geventileerd kantoorgebouw met een grote massa: voorspeld energiegebruik voor het basisklimaat (Londen DSY 1989).**

- FIGUUR 16 -



**Een gebouw dat is ontworpen en gebouwd als een voorbeeld van energiezuinig ontwerpen.**

- FIGUUR 17 -

de bezette ruimte is gestegen naar 24 °C.

Het gebouw bevat zowel kantoorgebieden met een vrije plattegrond, als compleet ingedeelde kantoorgebieden, zoals aangegeven in figuur 17b. De ruimtes in de ingedeelde kantoorgebieden worden geventileerd door een tweetal openingen in de gevel. In het model zijn kleine open gebieden tussen deze ruimtes en de kantoorgebieden met een vrije plattegrond opgenomen, zodat lekkage door gesloten deuren wordt meegerekend. De kantoorgebieden met een vrije plattegrond hebben daarnaast te openen ramen en zijn bovendien rechtstreeks verbonden aan de openingen in de plafonds en de zonneshoorstenen.

Voor de voorspellingen van de prestatie die hier worden gegeven zijn dezelfde profielen van de interne warmteopbrengsten en de bezetting gebruikt als bij de vorige twee onderzoeken. Van bijzonder belang in het onderzoek is de prestatie van de kantoren op de bovenste verdieping. Zoals bij de school, kan worden verwacht dat deze kantoren

oververhit raken. De simulaties geven aan (figuur 18) dat, zoals verwacht, het grootste gedeelte van oververhitting optreedt in het open kantoorgedeelte op de bovenste verdieping. Mogelijk wordt dit veroorzaakt door het gebruik van een lichtgewicht dakconstructie boven dat gebied. Voor een natuurlijk geventileerd kantoorgebouw presteren alle ruimtes goed, met slechts ongeveer 50 uren waarin de 28 °C-grens wordt overschreden in de gesloten kantoorruimte op de bovenste verdieping. Dit roept de vraag op: 'zou een dak met een hoge massa de prestatie van deze ruimte verbeteren?'.

Dit alternatief heeft minder invloed dan in de case van de school (zie figuur 18c). Er is een reductie van slechts 12 uur in de voorspelde tijd waarin de temperatuur boven de 28 °C zal liggen. Dit kan komen door de complexiteit om significante verbeteringen te bewerkstelligen onder de klimaatcondities die hier zijn gebruikt (1989 ontwerp zomerjaar), omdat het gebouw al erg goed presteert. Zoals bij de andere kantoorvoorbeelden, zijn er simulaties uitgevoerd voor voorspelde toekomstige

klimaten. De resultaten zijn weergegeven in figuur 19. Het is duidelijk dat dit ontwerp, evenals de andere kantoorvoorbeelden, enige vorm van koeling nodig zal hebben in de toekomst. Simulaties laten zien dat de benodigde energie gelijk zal zijn aan de energie die bij de andere twee kantoorvoorbeelden benodigd is.

### *Inspectie na gebruik*

Om de simulatieresultaten die hierboven zijn beschreven in een context te kunnen plaatsen, worden in dit gedeelte enkele waarnemingen van de prestatie van een echt gebouw beschreven. Het betreft een kantoorgebouw dat ontworpen is voor een enkele gebruiker die in de telecommunicatie industrie werkzaam is (figuur 20). De aard van de commercie heeft een aantal ontwerpbeslissingen beïnvloed; bijvoorbeeld het gebruik van telefoons om veranderingen in de verlichtingsniveaus aan te vragen voor een bepaalde werkplek. Zoninstraling wordt beheerst door automatische zonwering, wat mogelijk de enige manier is om te verzekeren dat de zonwering wordt neergelaten wanneer dat nodig is. Zonwering dient bijvoorbeeld te worden neergelaten net voordat directe zonnestraling op de ramen valt, handmatig geregelde zonweringen worden gebruikelijk pas neergelaten nadat het effect van de warmteopbrengst door zoninstraling wordt gevoeld, en dat is te laat. Het HVAC-ontwerp maakt gebruik van een mixed-mode systeem bij de buitenrand van de plattegrond met mechanisch geventileerde kerngebieden. De wijze van bediening is vergelijkbaar met de wijze die is beschreven voor het eerste kantoorvoorbeeld. Dat houdt in dat ramen kunnen worden geopend, maar als de temperatuur boven een bepaald punt komt moeten deze worden gesloten en wordt het mechanische systeem in werking gesteld. In dit geval wordt mechanische koeling gebruikt om de temperatuur van de toevoerlucht rond de 18 °C te houden. De lucht komt daarbij op vloerniveau in de ruimte door wervelroosters. In tegenstelling tot het gesimuleerde gebouw worden de ramen hier geopend en gesloten door de personen die er dichtbij zitten. Een systeem van stoplichten is gebruikt om aan te geven wanneer de ramen dienen te worden gesloten. Het energiegebruik van het gebouw wordt omschreven als

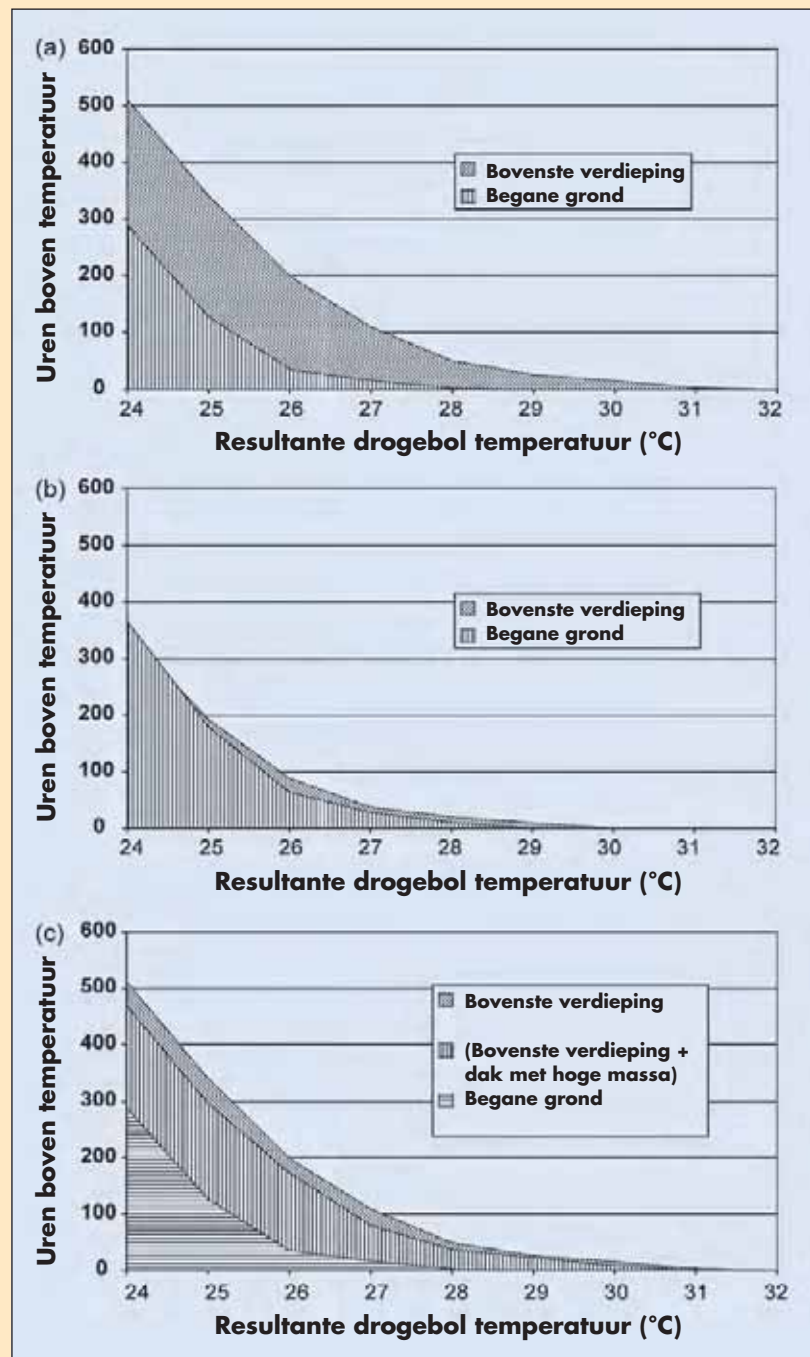


‘redelijk tot gemiddeld’, wat gezien de hoeveelheid ICT-installaties goed is.

Het onderzoek naar de tevredenheid van de gebruikers van het gebouw is uitgevoerd door gebruik te maken van dezelfde methoden als in de PROBE onderzoeken [3]. Dit maakt het mogelijk om resultaten te vergelijken met resultaten uit een nationale database. Over het algemeen heeft het gebouw uitzonderlijk goed gepresteerd, met resultaten die het gebouw in de top 2-5 % zetten. De gebruikers hebben waargenomen dat de hoge kwaliteit van de omgeving heeft geleid tot een toename in productiviteit. Dit kan toe te schrijven zijn aan het feit dat de omgevingscondities tamelijk stabiel waren zonder extremen, dat in combinatie met een element van persoonlijke controle wordt gewaardeerd door gebouwgebruikers. Dus een goed ontworpen mixed-mode gebouw kan een binnenomgeving met een hoge kwaliteit produceren zonder een energienadeel op te leveren. Zoals zou kunnen worden verwacht was niet alles perfect, bijvoorbeeld:

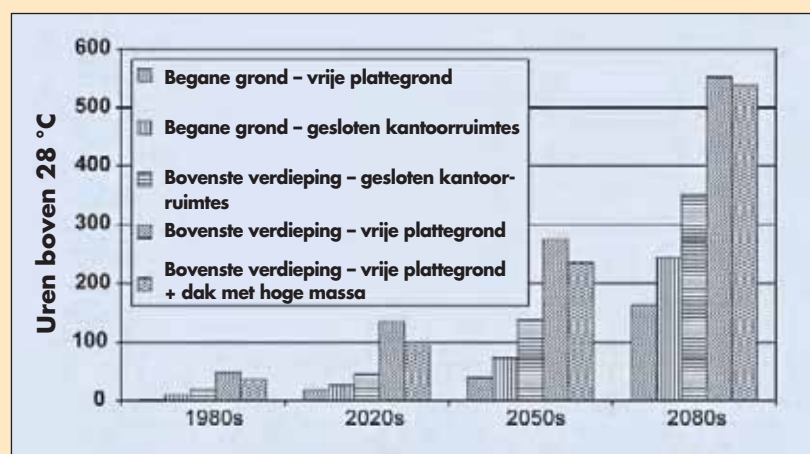
- een aantal gebruikers was gefrustreerd door de automatische bediening van de zonwering. Zij hadden het idee dat de zonwering niet neergelaten werd op de juiste momenten. De handmatige overname werd gewaardeerd, maar sommigen vonden de reactie ervan niet snel genoeg;
- het bedrijf maakt gebruik van hot desks, wat een probleem heeft veroorzaakt met de telefoongestuurde bediening van de verlichting. Wanneer mensen hun bureaus verplaatsten, verhuisde hun telefoonnummer met ze mee. Jammer genoeg relateerde het bedieningssysteem dat nummer aan een bepaalde gefixeerde positie van het bureau. Het gevolg daarvan was dat mensen de mogelijkheid hadden om de verlichting van anderen te bedienen.

Over het algemeen is dit gebouw een erg succesvol bewijs dat een mixed-mode gebouw een uitstekende manier is om energiegebruik te verminderen en om comfortabele en duurzame gebouwen te realiseren.



Weergave simulaties

- FIGUUR 18-



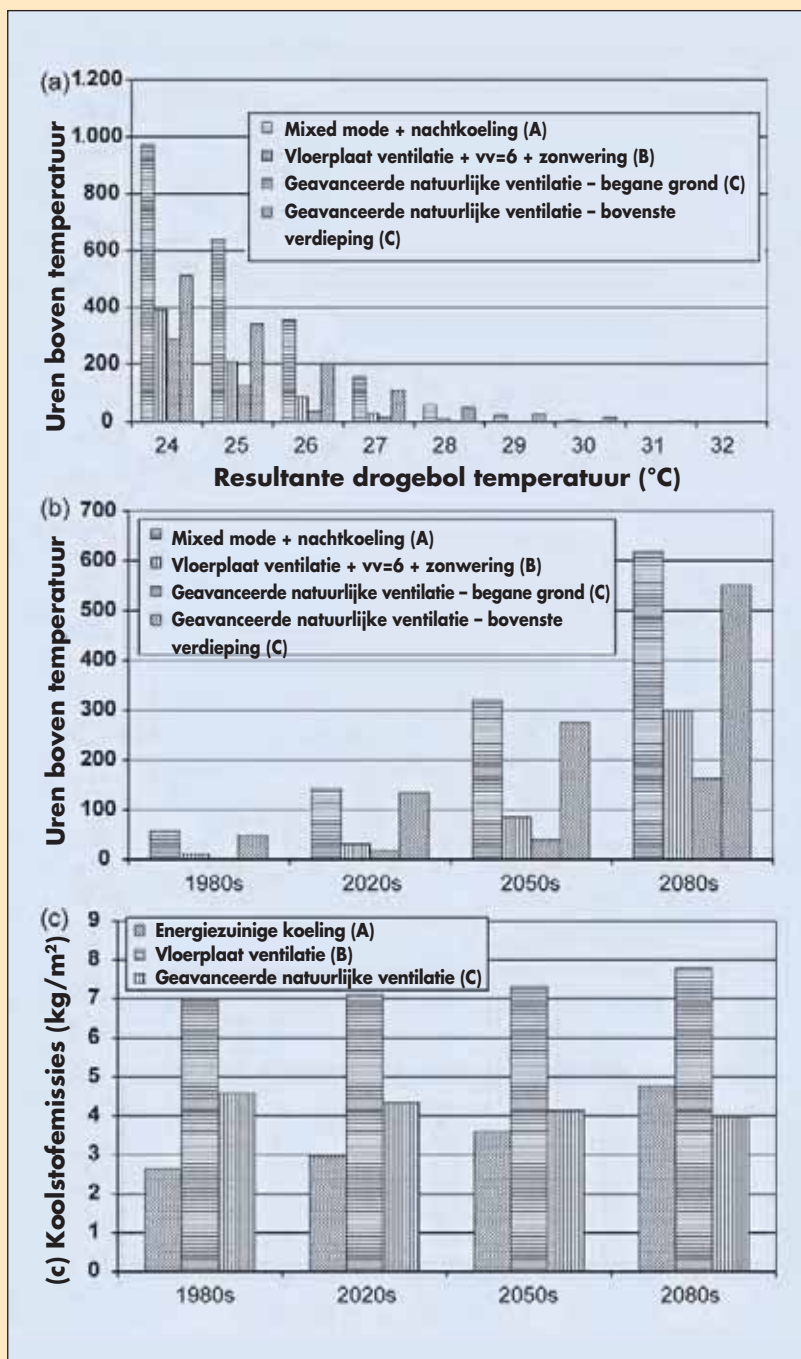
Weergave resultaten

- FIGUUR 19-



Inspectie van een mixed-mode gebouw na gebruik: (a) exterieur, (b) zicht over de eerste verdieping.

- FIGUUR 20 -



(a) Vergelijking van de voorspelde prestatie van de kantoorgebouwen voor het basisklimaat (Londen DSY 1989).  
 (b) Toekomstige prestatie: vergelijking van de voorspelde prestatie van de kantoorgebouwen (uren boven 28 °C) onder het UKCIP02 Medium-Hoge emissie scenario.  
 (c) Koolstofemissies: vergelijking van de voorspelde prestatie van de kantoorgebouwen (met koeling) onder het UKCIP02 Medium-Hoge emissie scenario.

- FIGUUR 21 -

## PRESTATIE VERGELIJKING

Alle vijf de gebouwen zijn geselecteerd omdat ze als goed voorbeeld van een energiezuinig ontwerp worden gezien. Het laatste gebouw is uit deze vergelijking gelaten, omdat het onredelijk is om de prestatie van een echt gebouw met de prestatie van een virtueel gebouw te vergelijken. De school presteert goed onder het huidige klimaat, het voldoet aan de ontwerpdoelen, maar heeft regelingsvoorwaarden die erg verschillen van die van de kantoorvoorbeelden. Om deze reden wordt ook de school buiten de vergelijking gelaten. Het laat echter zien dat vergelijkbare principes in gebouwen met erg verschillende schema's voor de regeling, kunnen worden toegepast. Het model ondersteunt ook het belang van thermische massa, voornamelijk dat daken met een lage thermische massa dienen te worden vermeden. De vergelijking die hier is gemaakt, heeft betrekking op drie kantoorvoorbeelden. Deze zijn alle drie bedoeld als energiezuinige oplossingen, die in een hoog comfortniveau voorzien. Voor de duidelijkheid wordt naar deze kantoren verwezen met A, B en C, waarvan de belangrijkste kenmerken zijn:

- kantoor A – energiezuinig koelsysteem met gebruikmaking van adiabatische koeling;
- kantoor B – hoge massa, toevoer lucht door kanalen in de vloerplaat;
- kantoor C – geavanceerd, intelligent beheerste natuurlijke ventilatie.

De vergelijkingen (figuur 21) zijn gemaakt in termen van het bereik van de binnentemperaturen voor het klimaat in 1989, de prestatie in toekomstige klimaten en de koolstofemissies. De figuren die betrekking hebben op de prestatie gaan ervan uit dat er geen aanvullende koeling is gebruikt, terwijl bij de data van de koolstofemissie de introductie van topkoeling inbegrepen is. Deze koeling is toegevoegd om te verzekeren dat temperaturen niet boven de 25 °C uitstijgen.

De resultaten geven aan dat de best presterende ruimte de begane grondvloer van kantoor C is; het best presterende gebouw in termen van het totaal aan ruimtetemperaturen is kantoor B. Beide ontwerpen wendten thermische massa aan en laten daarmee zien wat de waarde van thermische opslag is om variaties in binnentemperaturen te

beperken. Helaas zal, wanneer de buitentemperatuur dusdanig stijgt dat de dagelijkse gemiddelde temperaturen dicht bij de temperaturen komen te liggen die in een gebouw onacceptabel zijn, alleen massa niet voldoende is om te verzekeren dat ruimtetemperaturen binnen acceptabele grenzen blijven. Onder deze omstandigheden zal het noodzakelijk zijn om enige vorm van mechanische koeling te introduceren. De simulaties die hier zijn gepresenteerd, hebben deze optie overwogen en figuur 21c geeft voorspelde koolstofemissies van de hoofdonderdelen van de HVAC-installatie (boiler, koeler en waar van toepassing, ventilatoren). Gebouw B heeft de hoogste koolstofemissies, gevolgd door A en daarna C. De oorzaak hiervan is het veel grotere vermogen dat in gebouw B voor de ventilatoren benodigd is, terwijl de mixed-mode strategie in gebouw A het vermogen voor de ventilatoren minimaliseert. Onderzoek naar manieren om het ventilatievoud door B, en de weerstand van het kanalsysteem te verkleinen, zou een waardevolle exercitie zijn. (Merk op dat het gevraagde vermogen voor ventilatoren in het echte gebouw wat lager is dan voorspeld, het drukverlies van de systemen in A en C is opzettelijk identiek gemaakt voor de voorspelling van de prestatie. Daarom is het waarschijnlijk dat het vermogen voor de ventilatoren die worden gebruikt door B, gehalveerd zou kunnen worden. Als dit wordt gedaan, zouden de koolstofemissies van B nabij die van A liggen.)

In de emissiecijfers die gegeven zijn in figuur 21c is de bijdrage van verlichting en apparatuur niet meegenomen. De voorspellingen van de prestatie hebben hiervoor gestandaardiseerde cijfers gebruikt, en verder werd aangenomen dat de verlichting niet werd bediend. Voor de vergelijking met figuur 21c: de koolstofemissies van deze componenten zijn bij benadering  $13 \text{ kg C / m}^2$ . Dus bij goede energiezuinige en duurzame ontwerp oplossingen moet er veel aandacht worden geschonken aan het ontwerp van het verlichtingssysteem en het beheer van het gebruik van kantoorapparatuur. De verantwoordelijkheid hiervoor ligt niet alleen bij de ontwerper; de gebruiker dient te verzekeren dat de bediening van de verlichting goed functioneert en dat apparatuur is uitgeschakeld wanneer deze niet wordt gebruikt.

Uit een niet-gepubliceerd onderzoek door Arup Research + Development is gebleken dat de helft van het elektriciteitsverbruik van een specifiek gebouw optrad gedurende de nacht, op het moment dat het gebouw niet werd gebruikt.

Een laatste opmerking gerelateerd aan de echte versies van deze gebouwen, is dat ze allemaal een hoog tevredenheidsniveau bij de gebouwgebruikers hebben bereikt.

### CONCLUSIES

De geselecteerde voorbeelden kunnen niet worden gebruikt om te voorzien in algemene oplossingen. Wat kan worden gezegd, is dat bij het maken van duurzame ontwerpen rekening moet worden gehouden met de toekomstige prestatie. Voor energiezuinigheid zijn de volgende vier basisprincipes bepalend:

- schakelaar uit;
- spreiding;
- afzuigen;
- koeling.

Met andere woorden:

- Zonwering kan worden gebruikt om zoninstraling te reduceren. Interne warmteopbrengsten kunnen beheerst worden.
- Verdeel de warmteopbrengsten door middel van thermische massa om de pieken af te vlakken.
- Gebruik een goed gedefinieerde ventilatiestrategie; nachtcooling bijvoorbeeld.
- Gebruik alleen koeling wanneer dat nodig is, mixed-mode bediening en/of statische koelapparaten zoals gekoelde balken of plafonds om piektemperaturen te beperken, kunnen effectief en duurzaam zijn.

De voorspellingen geven aan dat gebouwen met een hoge thermische massa in staat zijn om te voorzien in een hogere kwaliteit van het binnenklimaat. Hoe dan ook, dit kan niet worden bereikt zonder gepaste aandacht voor alle principes van energiezuinig en duurzaam ontwerpen, inclusief aandacht voor de huidige en waarschijnlijk toekomstige klimatologische context van de omgeving.

### DANKBETUIGING

Het werk dat hier beschreven is, werd gezamenlijk gefinancierd door Arup en de United Kingdom Department of Trade and Industry onder het Partners in Innovation Scheme. We zouden graag onze collega's bij Arup: Gavin Davies, Stephen Belcher en Michael Edwards willen bedanken, die hebben bijgedragen aan dit werk, in het bijzonder; Professor Brian Moss (Voorzitter), The Building Research Establishment, CIBSE, De Montfort University, Imperial College London, Hopkins Architects, Nu-Aire, Oxford Brooks University, Reading University, UK Meteorological Office en de University of East Anglia. We zijn CIBSE dankbaar voor de toestemming om de afbeeldingen van de gebouwen uit de case studie te reproduceren die origineel verschenen in CIBSE 2005. 

### REFERENTIES

1. M. Hulme, G.J. Jenkins, X. Lu, J.R. Turnpenny, T.D. Mitchell, R.G. Jones, J. Lowe, J.M. Murphy, D. Hassel, P. Boorman, R. McDonald, S. Hill, *Climate Change Scenarios for the United Kingdom*, The UKCIP Scientific Report, Tyndall Centre for Climatic Change Research, School of Environmental Engineering, University of East Anglia, Norwich, 2002 (available from <http://www.ukcip.org.uk/resources/publications>).
2. CIBSE 2005 TM36, *Climate change and the indoor environment: impacts and adaptation*, Technical Memorandum no. 36, Chartered Institution of Building Services Engineers, London.
3. PROBE, *Post-occupancy evaluation*, Building Research and Information 2 (29) (2001).
4. CIBSE, *Weather, Solar and Illuminance Data*. Guide J, Chartered Institution of Building Services Engineers, London, 2002.
5. S.E. Belcher, J.N. Hacker, D.S. Powell, *Constructing design weather data for future climates*, Build Service and Engineering Research Technology 26 (1) (2005) 49–61.
6. P.O. Fanger, *Thermal Comfort*, Danish Technical Press, Copenhagen, 1970.
7. H. Eppel, K.J. Lomas, *Comparison of alternative criteria for assessing*




- overheating in buildings*, BRE Support Contract Report 12, Leicester Polytechnic (De Montfort University), School of the Built Environment, 1992.
8. J.F. Nicol, M. Humphreys, *Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings*, in: Proceedings of Conference on Moving Thermal Comfort Standards into the 21st Century, Windsor, UK, 2001.
  9. CIBSE, *Guide A: Environmental Design*. London: Chartered Institution of Building Services Engineers.
  10. A.K. Raue, A.C. Boerstra, A.C. van der Linden, S.R. Kurvers, *Natvent buildings versus HVAC buildings—a new Dutch thermal comfort guideline*, in: Proceedings of Air Infiltration and Ventilation Centre Conference on International Energy Agency Programme Buildings and Community Systems, 2004.
  11. M.J. Holmes, *Energy 2: Whole Building Energy Model*. Manual, Arup, 1992.
  12. K.J. Lomas, et al., *Empirical validation of thermal simulation programs using test room data*, in: Energy Conservation in Buildings and Community Systems Annex 21, 1994 (www.iea.org).
  13. Judkoff, Neymark, *Building Energy Simulation Test (BESTEST) and Diagnostic Method*, International Energy Agency, 1994 (www.iea.org).
  14. BB87, *Guidelines for Environmental Design in Schools*. Building Bulletin BB87, Department of Education and Skills, School Building and Design, London, 2003.

#### NOTEN


- <sup>1</sup> De omrekeningsfactoren die zijn gebruikt waren 0,052 kg koolstof per kW aardgas en 0,142 voor elektriciteit. NB. 1 kg C = 3,67 kg CO<sub>2</sub>.
- <sup>2</sup> Voor de constante coëfficiënt van de prestatie (COP) is een waarde van 3,0 aangenomen.
- <sup>3</sup> In deze simulatie is aangenomen dat de zonneschermen worden neergela-

ten wanneer de invallende straling op de ramen de grens van 200 W/m<sup>2</sup> overschrijdt.

<sup>4</sup> Laag verbruik van de ruimteverwarming is een kenmerk van het gebouw in kwestie. De capaciteit van de geïnstalleerde boiler is gelijk aan de capaciteit van drie gasboilers voor huishoudens.




**“SOMS MOET JE DE NATUUR  
EEN HANDJE HELPEN”**



WESTERN  
1988

small business  
midrange & projects  
service



WESTERN™  
AIRCONDITIONING

www.western.nl