

# Milieuprestatie van een natuurlijk geventileerde stadsbibliotheek

*Om de klimaatverandering aan te pakken is het noodzakelijk om de koolstofdioxide-emissies te reduceren. Vanuit dit uitgangspunt is het belangrijk om de energievraag van niet-woongebouwen te reduceren. Natuurlijk geventileerde gebouwen kunnen een lage energievraag hebben. Het is echter moeilijk om deze strategie te implementeren in gebouwen in stedelijke gebieden met een, in verhouding, diepe plattegrond. De Frederick Lanchester Bibliotheek op de Coventry Universiteit in het Verenigd Koninkrijk brengt natuurlijke ventilatie, daglicht en passieve koeling samen tot één geheel. Door gebruik te maken van een atrium en ventilatieschachten voor de toevoer en afvoer van lucht, kan er op een natuurlijke wijze worden geventileerd ondanks de diepe plattegrond en de gesloten gevel. Dit artikel beschrijft het gebouw en presenteert het energiegebruik en de binnentemperaturen en CO<sub>2</sub>-niveau's die werden gemeten in 2004/2005. De prestatie van het gebouw is vergeleken met de originele ontwerpcriteria en goede praktijkrichtlijnen. Er zijn aanbevelingen gedaan voor het ontwerp van dergelijke gebouwen en de prestatie die zou worden behaald in andere steden in het Verenigd Koninkrijk is beoordeeld. Er kan worden geconcludeerd dat het gebouw de helft van de energie gebruikt in vergelijking met een standaard airconditioned kantoorgebouw, en in de zomer kan het een comfortabele binnentemperatuur bewerkstelligen die tot 5 °C beneden de buitentemperatuur ligt. Het gebouw zou vergelijkbaar presteren in dertien andere steden in het Verenigd Koninkrijk (niet in Londen) onder karakteristieke weercondities. Er kan eveneens worden geconcludeerd dat natuurlijk geventileerde gebouwen met een diepe plattegrond en een gesloten gevel, indien goed ontworpen, op bijna alle locaties thermisch comfort kunnen bewerkstelligen met een energiegebruik dat lager is dan in goede praktijkrichtlijnen wordt aanbevolen.*

**- door Birgit Krausse, Malcolm Cook, Kevin Lomas**

**O**pwarming van de aarde is waarschijnlijk de grootste uitdaging voor de mensheid. De emissie van CO<sub>2</sub> versterkt het broeikaseffect en kan daardoor worden gezien als één van grootste bijdragers aan de opwarming van de aarde. Het reduceren van de CO<sub>2</sub>-emissie van gebouwen, door het verminderen van het energiegebruik, is een belangrijk uitgangspunt van de strategie die in het Verenigd Koninkrijk wordt gebruikt voor het reduceren van de koolstofemissie [1]. Door de toenemende energiekosten is bij de gebouweigenaren de interesse gewekt voor het ontwerp en het beheer van hun gebouwen. Grote niet-woongebouwen, die natuurlijk zijn geventileerd, verbruiken doorgaans minder energie dan gebouwen die beschikken over airconditioning. Dit komt deels doordat gebouwen die natuurlijk zijn geventileerd effectiever gebruik maken van natuurlijk licht, en deels doordat er geen energie gebruikt wordt door ventilatoren, koelmachines en pompen [2]. Hoe dan ook, het verlangen bestaat om het gebruik van stedelijke gebieden te maximaliseren door toepassing van gebouwen met diepe plattegronden. Echter, de noodzakelijkheid om gesloten gevels toe te passen (om de geluidshinder te reduceren en de veiligheid te bewerkstelligen) en de toename van de interne warmteproductie door computers en de langere

---

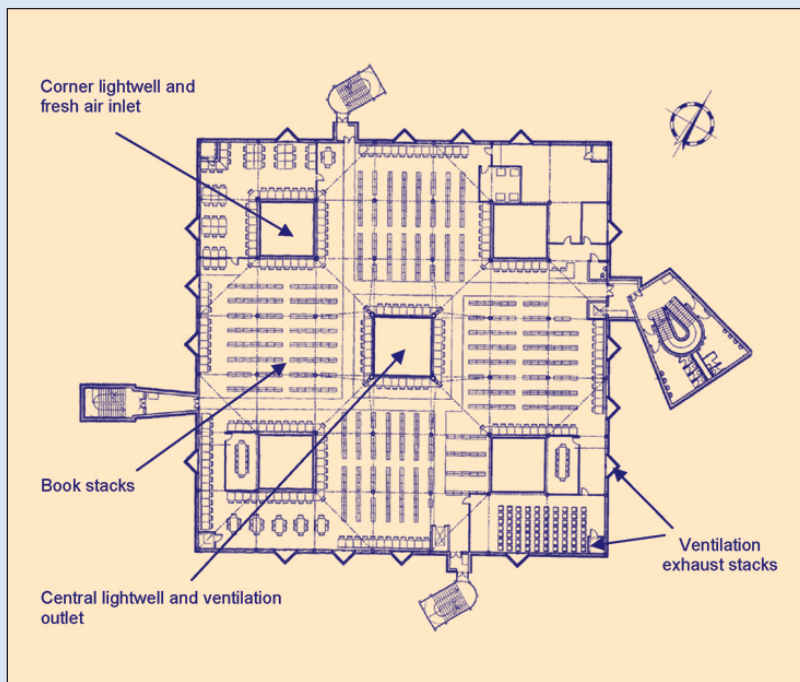
Vertaling van "Environmental performance of a naturally ventilated city centre library", door mv. ir. L. Schellen, promovenda bij de unit Building Physics & Systems van de TU Eindhoven.

periodes dat het gebouw in gebruik is, worden nog steeds gezien als barrières voor het toepassen van natuurlijke ventilatie. Er is gebleken dat deze barrières kunnen worden overwonnen door het ontwerpen van gebouwen die gebruik maken van het centre-in, edge-out schoorsteen ventilatieconcept [3 en 4]. Een voorbeeld van een dergelijk gebouw is de Lanchester Bibliotheek op de Coventry Universiteit (Figuur 1). Het ontwerp van de bibliotheek is elders beschreven door de leden van het ontwerpteam [3, 4, 5, 6 en 7] en door anderen [9, 10 en 11]. Dit artikel beschrijft alleen de hoofdaspecten van het gebouw en richt zich hierbij op het energiegebruik en de milieutechnische prestatie. Er is gebruik gemaakt van data die zijn geregistreerd door het energiebeheersysteem van het gebouw (Building Management Energy System – BEMS). Deze data zijn gebruikt om inzicht te krijgen in de binnentemperaturen, de CO<sub>2</sub>-concentraties en het energiegebruik. De gemeten temperaturen zijn vergeleken met de huidige ontwerpcriteria voor natuurlijk geventileerde gebouwen en met de prestatievoorspellingen die zijn gemaakt in het ontwerpstadium. Op een vergelijkbare wijze is het energiegebruik vergeleken met de criteria van het Verenigd Koninkrijk voor kantoorgebouwen. Als dergelijke innovatieve gebouwssystemen zijn bedoeld om een bredere acceptatie te verkrijgen onder gebouwontwerpers, dan is er meer informatie benodigd over hoe deze gebouwen presteren op verschillende locaties in



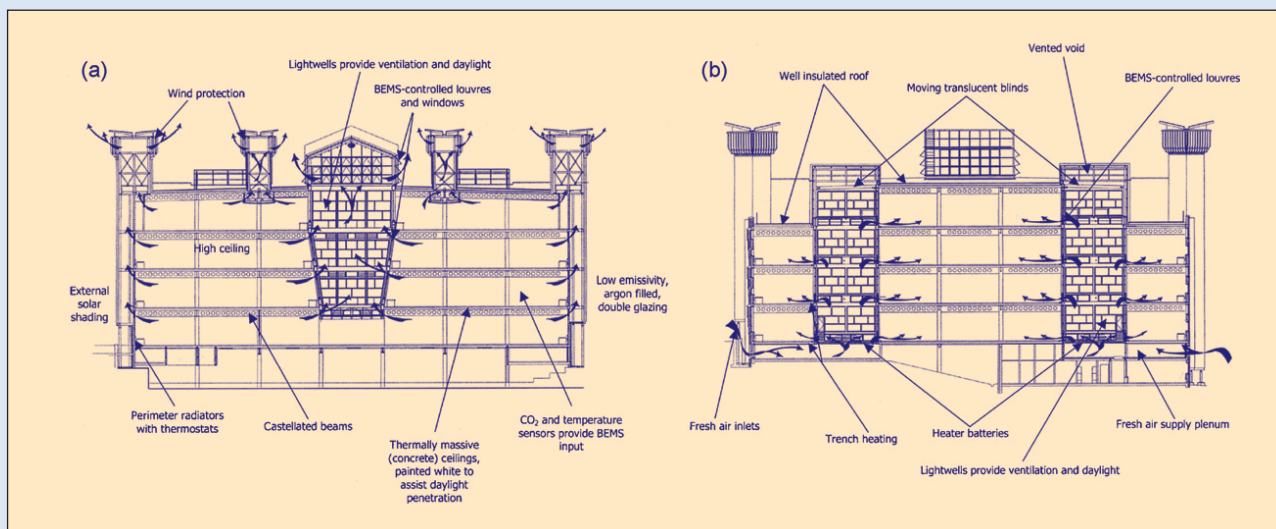
Afbeelding van de westkant van de Lanchester bibliotheek.

- FIGUUR 1-



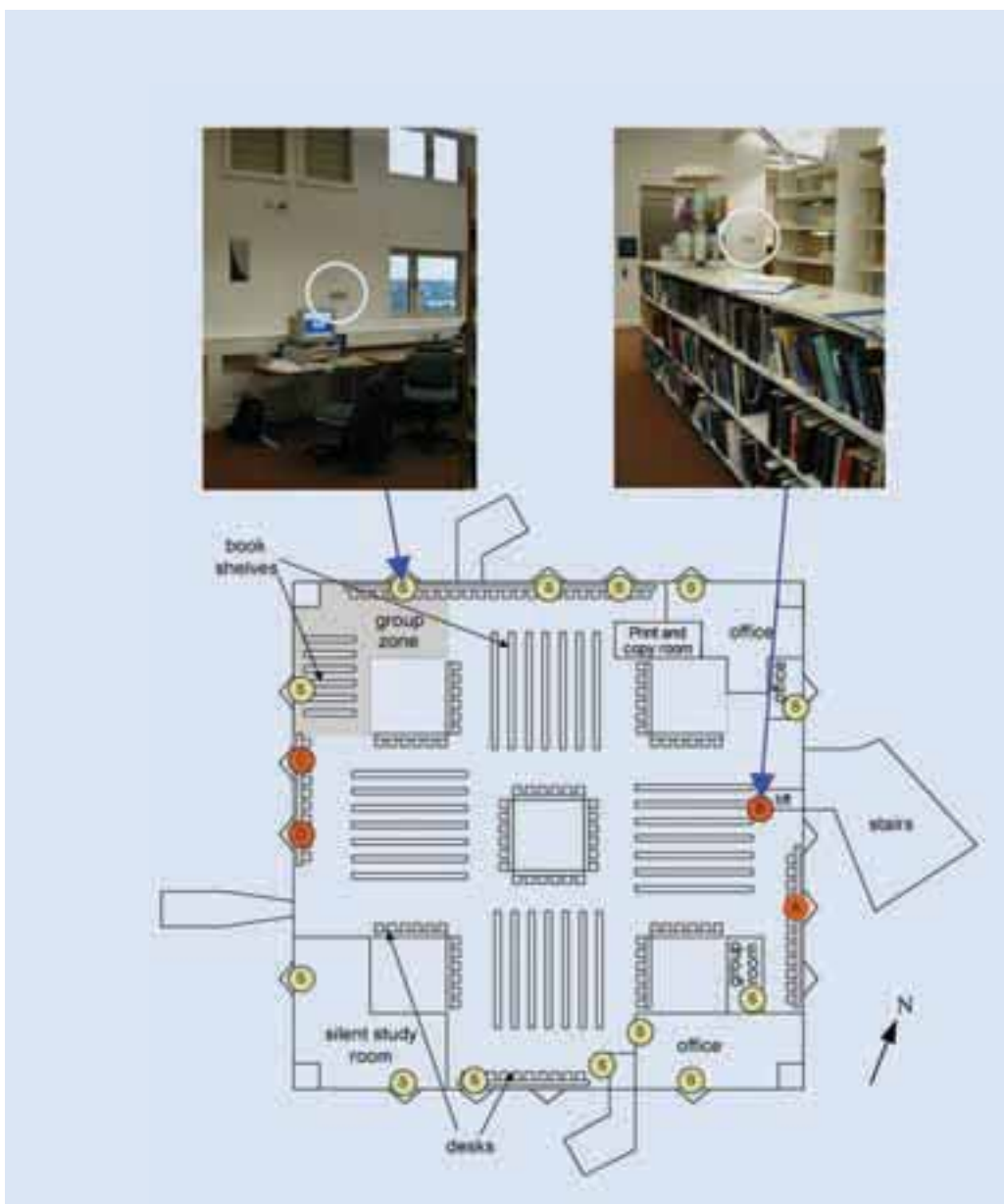
Karakteristieke plattegrond.

- FIGUUR 2-



Doorsneden van het gebouw met (a) het centrale atrium dat dient als luchtafvoer en (b) de atria voor luchttoevoer.

- FIGUUR 3-



**Plattegrond van de tweede verdieping met daarin weergegeven de locaties van de BEMS temperatuursensoren en de luchtkwaliteitsensoren (elke cirkel representeert een sensorpaar: één temperatuursensor en één CO<sub>2</sub>-sensor). Data van de sensorparen A-D worden op het huidige moment geregistreerd, terwijl de data van de andere sensoren (E) op het moment niet worden geregistreerd, maar wellicht in de toekomst wel zullen worden gebruikt voor de metingen.**

FIGUUR 4

het Verenigd Koninkrijk en bij verschillende weersomstandigheden. Dit artikel vergelijkt weersomstandigheden die zijn geregistreerd in Coventry (in het binnenland van Engeland) in 2004/2005, met de condities die zijn geregistreerd in veertien andere steden in Engeland, Ierland, Schotland en Wales en de condities die in tien jaar tijd in deze steden in één jaar zijn voorgekomen. De prestatie van gebouwen zoals de Coventry Bibliotheek, die zijn gesitueerd in andere steden, kunnen hieruit worden afgeleid.

#### BESCHRIJVING VAN HET GEBOUW

De Frederick Lanchester Bibliotheek op de Coventry Universiteit heeft een bruto vloeroppervlak van 9.103 m<sup>2</sup>, en bestaat uit vier verdiepingen en een

kelder, binnen een oppervlak van 50 m<sup>2</sup>. De opdracht pleitte voor een hoog energie-efficiënt gebouw, maar de locatie en het verlangen naar een eenvoudige en duidelijke indeling van de bibliotheek, vereiste een gebouw met een diepe plattegrond. Bijkomende beperkingen waren de dichte nabijheid van belangrijke wegen, dat resulteerde in hoge geluidsniveaus en hoge fijnstofconcentraties. Ondanks deze beperkingen is er een ontwerp gerealiseerd dat is gebaseerd op natuurlijke ventilatie voor de vier hoofdverdiepingen (figuur 2 en 3). De kelder huisvest een archief van boeken en een computergeedeelte dat 24 uur per dag toegankelijk is. Door deze hoge en aanhoudende warmtebronnen is in dit gedeelte van het gebouw een airconditioning benodigd.

Verse lucht wordt toegevoerd door middel van een plenum, dat is aangebracht tussen de begane grondvloer en het souterrain. Deze ruimte voorziet in de toevoer van verse lucht voor vier atria, die elk gelegen zijn in één van de vier kwadranten van het gebouw. De warmte, die wordt geproduceerd door gebruikers en computers, wordt gebruikt voor het opwarmen van de binnenlucht. Op deze manier worden er drijvende krachten gerealiseerd die er voor zorgen dat de warmte opstijgt en accumuleert in een laag beneden de 3,9 meter hoge plafonds. Het 'schoorsteeneffect' wordt gegenereerd door de 20 schoorstenen (elk 1,8 m<sup>2</sup>) en het taps toelopende atrium.

In de winter wordt de binnenkomende lucht voorverwarmd door elektrische verwarmingselementen die horizontaal verspreid over de basis van de toevoer atria (6 m<sup>2</sup>) liggen. Deze doorsnijden de punten waar de lucht, uit de atria, de verdiepingen binnenstroomt. In de warme zomermaanden wordt door passieve methoden in koeling voorzien. Nachtventilatie wordt gebruikt om de blootgestelde massa van het gebouw te koelen, zodat deze warmte kan absorberen gedurende de warme perioden van de volgende dag. Ventilatie van de bovenste verdieping wordt bewerkstelligd door vier afzonderlijke ventilatie schoorstenen. Deze werden aan het gebouw toegevoegd om er voor te zorgen dat terugstroming van de afvoerlucht niet kon plaatsvinden. Door middel van luchtstromings simulaties tijdens de ontwerpfase [5] werd aangetoond dat als deze voorziening niet zou worden getroffen, er terugstroming van de afvoerlucht van het centrale atrium zou gaan plaatsvinden. De positionering van de atria is afgestemd op een adequate distributie van verse lucht en een optimale daglichtbenutting. Opwarming door zoninstraling wordt geminimaliseerd door beweegbare, translucente, horizontale lamellen aan de bovenzijde van de toevoeratria. Zorgvuldige plaatsing van de raamopeningen en het gebruik van overhangende en metalen vinnen (zie figuur 1) zorgen er eveneens voor dat opwarming door zoninstraling wordt geminimaliseerd. Dit helpt het risico van oververhitting te reduceren, wat de effectiviteit van het natuurlijke ventilatiesysteem verbetert.

Aangezien de bibliotheek wordt gebruikt voor verschillende doeleinden, is het



uiterlijk van de open vierkante basisverdieping aangepast, zodat veel ruimte-indelingen mogelijk zijn. Alle verdiepingen beschikken over een hoofdzakelijk open plattegrond, met een grote ruimte voor de boekenrekken (de begane grondverdieping beschikt niet over een dergelijke ruimte, omdat deze een onofficiële ontmoetingsruimte herbergt en toegang biedt tot de balies en de belangrijkste kantoren). Interne gedeeltes creëren aanvullende ruimten. Op elke verdieping zijn ook aparte zones met bijbehorende karakteristieken te onderscheiden, zoals een open ruimte met boekenplanken, studieruimtes, groepsruimtes, bureaus met en zonder PC's, kopieerruimten en kantoren (zie figuur 4 voor een voorbeeld).

Het gebouw wordt beheerd door een BEMS-systeem. Dit systeem bedient de ventilatieregelaars en ramen, afhankelijk van de binnen- en buitentemperaturen, de windsnelheid en windrichting en de CO<sub>2</sub>-concentraties in de bibliotheek. De ventilatie die benodigd is voor de nachtelijke koeling wordt gebaseerd op het BEMS zelflerend algoritme, dat de koeling voorspelt die benodigd is voor de volgende dag. Een overschot aan koeling wordt voorkomen door het monitoren van de temperatuur van de constructie. Het gebouw is een aangetoond succes, studenten en bibliotheekpersoneel beleven plezier aan het leren en werken in het gebouw. In aanvulling op de 2.500 bezoekers per dag, waar het gebouw oorspronkelijk op ontworpen was, trekt het gebouw een groot aantal bezoekers dat het gebouw gebruikt als een tussenstop tussen twee colleges. Dit zorgt ervoor dat het gebouw dagelijks 5.000 bezoekers over de vloer krijgt.

#### VOORSPELDE PRESTATIE

De belangrijkste uitdaging in het ontwerp van natuurlijk geventileerde gebouwen in het Verenigd Koninkrijk is om comfortabele binnentemperaturen te bewerkstelligen in perioden met hoge buitentemperaturen. De dynamische thermische simulaties die worden verricht gedurende de ontwerpfasen, worden verricht met behulp van ESP-r [12] en de Kew67-weerdata [13]. Deze simulaties tonen aan dat de passieve koeling en de ventilatiemethoden voldoende zouden moeten zijn om in comfortabele condities in de biblio-

theek te voorzien, zelfs gedurende de warmste periodes. In de beschrijving van het concept stellen [5] dat droge resulterende temperaturen altijd beneden de 28 °C zullen liggen. Tevens stellen zij dat een temperatuur van 27 °C slechts 11 uren per jaar zal worden overschreden. Er werd verwacht dat verfijnde BEMS controlemechanismen (niet gesimuleerd) in staat zouden zijn om de binnentemperaturen nog verder te reduceren.

Deze prestatie-indicatoren suggereren dat het gebouw zou moeten voldoen aan het recent gepubliceerde criterium dat wordt gesteld aan oververhitting door het Chartered Institution of Building Services Engineers (CIBSE):

- de drogebol temperatuur van 28 °C mag niet meer dan 1 % van de uren dat het gebouw in gebruik is worden overschreden (CIBSE Guide A [14] en TM36 [15]);
- een drogebol temperatuur van 25 °C mag niet meer dan 5 % van de tijd dat het gebouw in gebruik is gedurende een jaar worden overschreden.

Gedurende de ontwerpfasen zijn alternatieve ontwerpvoorstellen overwogen vanuit verschillende standpunten, inclusief kosten, effectiviteit van gebruik van de ruimte, leesbaarheid van de indeling van de verdiepingen, etc. Het jaarlijkse energiegebruik voor verwarming en verlichting was eveneens voor elk ontwerp geschat. Dit werd geschat met behulp van de LT-methode [17]. Deze methode is voornamelijk bedoeld om een vergelijking te maken tussen de verschillende ontwerpmethoden, en is niet zozeer om een werkelijke schatting te maken van de jaarlijks energiebehoeften.

Het is interessant om te zien of de gemeten binnentemperaturen concurreren met de voorspelde waarden en om het werkelijke energiegebruik te vergelijken met het energiegebruik dat typisch is voor andere gebouwtypen (voornamelijk gebouwen met airconditioning, dit is namelijk het meest gebruikelijk voor een gesloten gebouw met een diepe plattegrond).

#### HET MONITOREN VAN DE TEMPERA- TUUR EN DE CO<sub>2</sub>-CONCENTRATIES

##### *BEMS sensoren*

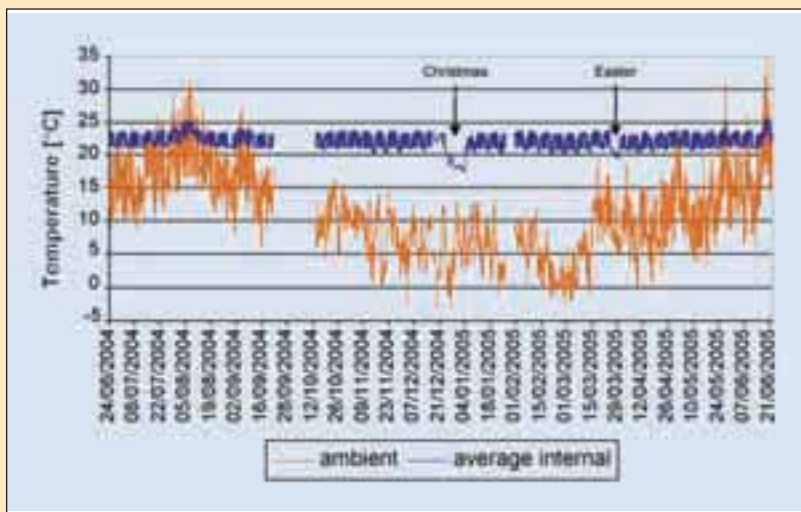
Om comfortabele binnencondities voor alle gebruikers te garanderen, dient de BEMS in staat te zijn om de

ventilatie en de temperaturen in verschillende zones te regelen (zowel in open ruimten als in gesloten studieruimten en kantoren). Om deze reden is er een groot aantal sensoren verdeeld over de ruimten (figuur 4).

Gebaseerd op registraties van deze sensoren, zijn individueel controleerbare regelaars aangebracht voor het bewerkstelligen van ventilatie, thermisch comfort en luchtkwaliteit in iedere zone. In aanvulling op hun functie als deel van het gebouwbeheersysteem, kunnen de sensoren ook een bijdrage leveren aan de beoordeling van de bouwprestatie indien de registraties continu worden opgeslagen. Voor een uitvoerige analyse zijn langeduur metingen benodigd van verschillende zones (in een ideale situatie van alle sensoren). Echter, opgeslagen data is op dit moment alleen beschikbaar voor een beperkt aantal BEMS-sensoren. Bijvoorbeeld, CO<sub>2</sub>- en temperatuurdata zijn alleen beschikbaar van twee locaties op de begane grondvloer en de derde verdieping en van vier locaties op de tweede verdieping. Opgeslagen data van de eerste verdieping bevatten alleen temperatuurgegevens voor drie locaties. Dit artikel maakt opportunistisch gebruik van deze data. Echter, de sensoren waar de data van zijn geregistreerd en opgeslagen, zijn destijds niet gekozen om aan de hand hiervan de prestatie van het gebouw te kunnen analyseren. Om deze reden is het niet mogelijk om een grondige statistische analyse te verrichten. In dit artikel zal gebruik worden gemaakt van tijdseries en beknopte statistiek om de thermische - en ventilatieprestatie van het gebouw te evalueren. Er dient te worden opgemerkt dat de aanvullende BEMS-sensoren die recent zijn geselecteerd voor het opslaan van de data, zijn gekozen met het oog op de toekomst om de prestatieanalyses te verbeteren. Tevens kunnen aan de hand van de resultaten die in dit artikel worden gepresenteerd, prestaties in de toekomst worden verklaard.

#### *Temperatuursensoren*

De sensoren zijn ontworpen om de luchttemperatuur te monitoren. Echter, door de dichte plaatsing van de sensoren nabij de wanden zijn de geregistreerde temperaturen niet gelijk aan de werkelijke luchttemperaturen. Vanwege deze reden kunnen deze data alleen worden gebruikt als indicatie



Binnen- en buitentemperaturen gedurende de meetperiode (juni 2004-juni 2005).

- FIGUUR 5-

voor de condities die de gebruikers ervaren. Om de relatie tussen de sensordata en de parameters die meestal worden gebruikt voor het kwantificeren van het thermisch comfort, worden er momenteel korteduur monitoringstudies verricht. Deze studies omvatten metingen van de operationele temperatuur, PPD, PMV, luchtsnelheid en vochtigheid. Eenmaal beschikbaar is het mogelijk deze data te gebruiken om te bepalen of, en hoe nauwkeurig, de BEMS temperatuurdata zijn gerelateerd aan de temperatuur die daadwerkelijk door de gebruikers wordt ervaren.

Verder is het waardevol om op te merken dat de CIBSE-oververhittingscriteria, die hier worden gebruikt voor de prestatiebeoordeling, zijn gebaseerd op de droge resulterende temperatuur (deze kan worden berekend uit de luchttemperatuur en de gemiddelde stralingstemperatuur). Het is mogelijk dat, gedurende de zomerdagen, de droge resulterende temperatuur (DRT) lager is dan de luchttemperatuur doordat de thermische massa is afgekoeld gedurende de nacht. Op grond daarvan is het aannemelijk dat het aantal keren dat hoge temperaturen worden gemeten door de BEMS-sensoren een overschatting is van het aantal keren dat daadwerkelijk hoge droge resulterende temperaturen zijn opgetreden. Dat wil zeggen dat het gebouw wellicht beter presteert dan dat de resultaten, die in dit artikel worden gepresenteerd, aanduiden. Verder onderzoek wordt uitgevoerd om deze kwestie te verhelderen.

### CO<sub>2</sub>-sensoren

De BEMS-luchtkwaliteitsensoren registreren CO<sub>2</sub>-concentraties op uurlijkse intervallen. Een inspectie van de geregistreerde data laat zien dat sommige CO<sub>2</sub>-sensoren een consistent hogere CO<sub>2</sub>-concentratie registreren. Echter, een vergelijking van de tijdseries van CO<sub>2</sub>-traces laat zien dat de globale vorm van de profielen van alle sensoren goed met elkaar overeenkomen. Tevens kan aan de hand van deze vergelijking worden geconcludeerd dat de waarden van de individuele sensoren gedurende de nacht dalen tot een consistent minimum. Gezien het feit dat de interne CO<sub>2</sub>-concentraties gedurende de ongebruikte perioden (zoals gedurende de nacht) waarschijnlijk gelijk zijn aan de atmosferische CO<sub>2</sub>-concentratie, kan worden aangenomen dat de minimumwaarden die de atmosferische waarden overschrijden voortkomen uit een fout door de kalibratieprocedure. Om deze reden werden de data van deze sensoren aangepast met een compensatiewaarde, zodat de basiswaarden van alle sensoren overeenkwamen met de sensor met de laagst gemeten basiswaarde. Voor nachtwarmen kwam dit overeen met ongeveer 360-370 ppm, wat overeenkomt met een typische achtergrond CO<sub>2</sub>-concentraties [18].

### GEMETEN THERMISCHE PRESTATIE

Het navolgende is gebaseerd op temperatuurdata die zijn geregistreerd gedurende de periode juni 2004-juni 2005 (drie weken ontbreken in de herfst van 2004 en 1 week ontbreekt in januari

2005).

De resultaten die worden gepresenteerd zijn verkregen uit data-tijdseries die zijn geregistreerd op een uurlijks interval door acht BEMS-sensoren: twee voor iedere verdieping, aangebracht op twee verschillende wanden op een hoogte van ongeveer 1,5 m. De data laten zien dat de gemiddelde temperatuur in het gebouw relatief stabiel blijft gedurende het jaar (zie figuur 5). Gedurende de stookseizoenen worden de binnentemperaturen overdag overheerst door het verwarmingsschema, de instelwaarden van de verwarming en de interne warmtebronnen. De temperaturen bleven overdag beneden de 24 °C en namen af tot ongeveer 21 °C gedurende de nacht. Deze laatst genoemde temperatuur is de minimumtemperatuur door de week, die ingesteld is door de facilitaire managers voor de lucht die wordt toegevoerd door de atria. Een daling van de temperatuur beneden de 21 °C kan worden waargenomen in de weekenden en nog duidelijker in de kerst- en paasvakanties, wanneer het gebouw niet in gebruik was en niet werd verwarmd.

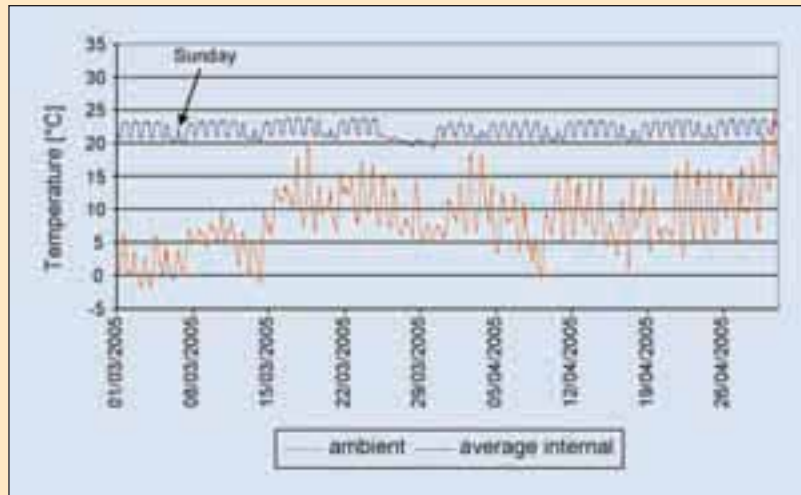
Er is in het stookseizoen een regelmatig temperatuurpatroon waarneembaar tijdens iedere week (zie figuur 6). Het gebouw koelt op zondagnacht af naar de laagste temperatuur (slechts marginaal beneden de 20 °C), oftewel na de langste ongebruikte periode van de week. De pieken in de dagelijkse temperatuur stijgen geleidelijk voor de eerste drie werkdagen en zijn vergelijkbaar van woensdag tot en met vrijdag. Op zaterdag is de piektemperatuur en de duur van de warmere temperaturen geringer, waarschijnlijk door de kortere gebruiksperiode.

Gedurende de warmere perioden van het jaar worden de binnentemperaturen sterk beïnvloed door de buitentemperaturen (zie figuur 5). Echter, door de thermische massa en de nachtventilatiestrategie, wordt er voor gezorgd dat de binnentemperatuur gedurende de individuele warme dagen niet significant stijgt. Voor een voorbeeld hiervan wordt verwezen naar de dagen rond 1 juli, 22 juli en 6 september in 2004. Zelfs tijdens de twee perioden van aanhoudende hoge omgevingstemperaturen, oplopend tot 35 °C (augustus 2004 en juni 2005), overschreden de binnentemperaturen slechts in enkele gevallen de 25 °C.

Gedurende de warmere periode in augustus 2004 (zie figuur 7), stegen de omgevingstemperaturen boven de 30 °C. De omgevingstemperaturen bleven tijdens deze periode echter beneden de 18 °C. De dagelijkse temperatuurvariatie bedroeg rond de 9 °C, met op de warmste dag een variatie van 15 °C. Hieruit volgde dat er een potentie bestond voor het toepassen van nachtelijke koeling.

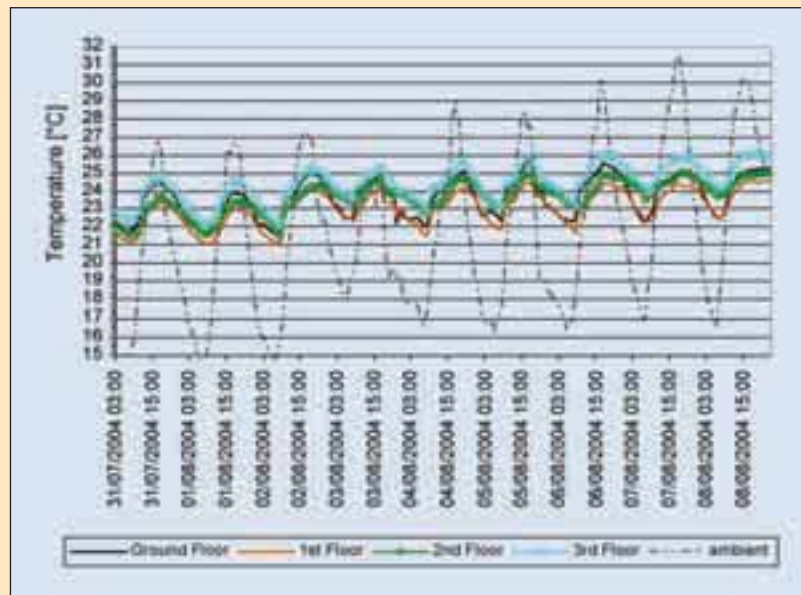
Gedurende de eerste vier dagen van de warme periode (zie figuur 7) bleef de binnentemperatuur relatief laag; aan het begin van de ochtend bedroegen de temperaturen in de bibliotheek ongeveer 21-22,5 °C en de piektemperaturen bleven beneden de 25,5 °C. De dagelijkse variaties in de binnentemperatuur bedroegen tussen de 2 °C en 3 °C. Er was een geleidelijke toename in de piektemperatuur binnen waar te nemen tijdens opeenvolgende warme dagen, dit zette door wanneer de buitentemperaturen overdag warmer werden (4-8 augustus 2004). Echter, door de afkoeling gedurende de nacht door nachtelijke ventilatie in combinatie met de thermische massa zorgde ervoor dat de binnentemperatuur de 26 °C niet oversteeg. Op de warmste dag zorgde dit ervoor dat de temperatuur 5 °C beneden de omgevingstemperatuur bleef. Gedurende de gehele observatieperiode van twee jaar, bedroeg de maximaal geregistreerde binnentemperatuur 26,4 °C. Deze temperatuur werd geregistreerd op de derde verdieping op 19 juni 2005, de buitentemperatuur bedroeg toen 35,4 °C (het temperatuurverschil bedroeg 9 °C, zie figuur 5).

Tijdens de laatste vijf dagen van de warme periode (zie figuur 7), bleef de dagelijkse variatie in de binnentemperatuur tussen de 2 °C en 3 °C op alle verdiepingen inclusief de begane grondverdieping. Daarnaast blijkt dat op de begane grond verdieping de grootste temperatuurreducties worden gerealiseerd, door de hoogste ventilatieschacht en de daarmee samenhangende opwaartse drijvende krachten. Wanneer er wordt gekeken naar de andere drie verdiepingen dan lijkt het op de derde verdieping warmer te zijn dan op de tweede verdieping, die weer warmer was dan de eerste verdieping. Als de schachthoogten op elke verdieping in overweging worden genomen, en hun nochtans vergelijkbare karakteristieken, dan is het voorgaande in



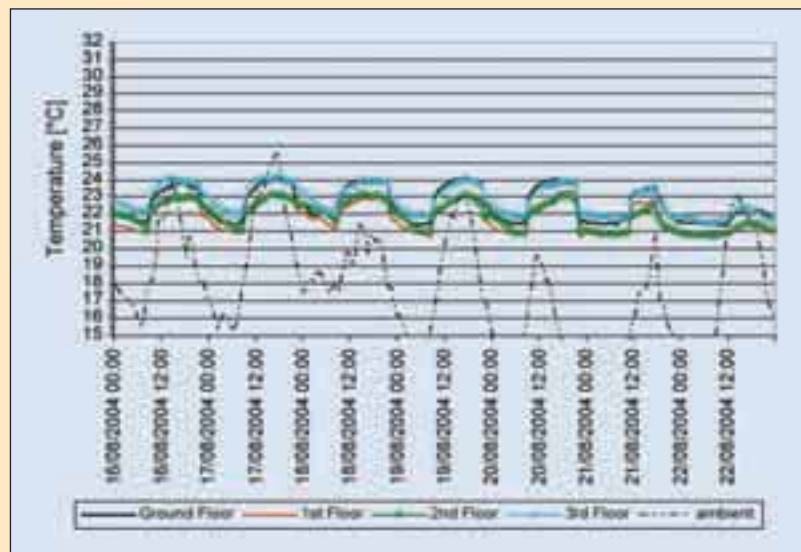
Deel van de tijdserie-data (maart-april 2005), dit deel laat de dagelijkse en wekelijkse variabiliteit in de binnentemperaturen zien.

- FIGUUR 6-



Gemiddelde temperaturen op iedere verdieping en de buitentemperatuur gedurende een 'warme periode'.

- FIGUUR 7-



Een voorbeeld van de tijdserie-data van alle verdiepingen en de buitentemperatuur gedurende gemiddelde zomercondities.

- FIGUUR 8-



Guideline temperature (°C)	Number of hours over stated temperature (h)/percentage of occupied hours over stated temperature (%)				
	Ambient	Ground floor	First floor	Second floor	Third floor
25	149 h/4,1%	78 h/1,95%	0 h/0%	32 h/0,8%	152 h/3,8%
27	73 h/2,0%	0/0	0/0	0/0	0/0
28	48 h/1,3%	0/0	0/0	0/0	0/0

Het aantal uren waarvoor de verschillende temperaturen werden overschreden gedurende de bezette perioden tussen 26 juni 2004 en 24 juni 2005.

- TABEL 1 -

overeenstemming met de verwachting. Het bekrachtigt de gedachte dat de bovenste verdiepingen van natuurlijk geventileerde gebouwen het meeste gevoelig zijn voor oververhitting. Naar het einde van de warme periode toe (zie figuur 8), wanneer de omgevingstemperaturen over het algemeen beneden de 25 °C bleven, keerde het patroon van de binnentemperatuur terug naar het patroon zoals hierboven werd beschreven; dagelijkse pieken rond 24 °C en minima gedurende de nacht van 21 °C. Het is interessant om op te merken dat gedurende deze periode de temperatuurprofielen voor de eerste en tweede verdieping zeer vergelijkbaar zijn. De temperatuur op de derde en vierde verdieping is ongeveer 1 °C hoger, waarschijnlijk doordat de nachtelijke koeling een minder groot effect heeft door de gereduceerde schachthoogte. De temperatuur op de begane grondverdieping is onverwacht, maar kan worden veroorzaakt door de volgende factoren: observaties tijdens locatiebezoeken en anekdotisch bewijs (van bibliotheekmedewerkers) laten zien dat de begane grondverdieping meer wordt gebruikt dan werd verwacht, wat samen met de kantoor-scheidingen (die een blokkade vormen voor de luchtstroming) zal leiden tot hogere temperaturen. Het is tevens mogelijk dat modificaties van de BEMS-sensoren en -regelingen benodigd zijn. Toekomstige studies zullen hier nader onderzoek naar verrichten.

#### VERGELIJKING VAN DE GEMETEN THERMISCHE PRESTATIE MET DE RICHTLIJNEN EN VOORSPELLINGEN

De statistieken van de oververhitting (zie tabel 1) laten zien dat de temperatuurniveaus de 25 °C voornamelijk werden overschreden op de derde verdieping en de begane grondverdieping,

terwijl op de eerste verdieping de temperatuur gedurende de gehele meetperiode beneden de 25 °C bleef. Echter, zelfs op de derde verdieping werd voldaan aan de CIBSE 2002-oververhittings-criteria (minder dan 5 % van de gebruikte uren boven de 25 °C): gedurende slechts 3,8 % van de gebruikte uren overschreed de temperatuur de 25 °C. De binnentemperaturen overschreden nooit de 27 °C, dat is minder dan de 11 uren die werden voorspeld tijdens het ontwerpstadium. Dit komt overeen met de verwachtingen die worden gesteld door Cook et al. (1999): met een intelligente BEMS-controle is het mogelijk om een betere gebouwprestatie te verkrijgen dan met de simulatieresultaten wordt gesuggereerd. Het is duidelijk dat het gebouw voldoet aan de huidige CIBSE 2005/2006-criteria: de temperatuur mag minder dan 1 % van de gebruikte uren de 28 °C grens overschrijden [14 en 15].

#### RUIMTELIJKE VARIATIE IN TEMPERATUUR- EN CO<sub>2</sub>-NIVEAU'S

Om te kunnen onderzoeken of uniforme condities worden waargenomen op de bibliotheekverdiepingen zijn de data van de tijdseries van verschillende locaties op de tweede verdieping vergeleken.

Temperatuur- en CO<sub>2</sub>-data zijn beschikbaar voor een periode van zes weken in de zomer van 2005 (10 mei-22 juni 2005) van vier paren sensoren op locaties A tot en met D (zie figuur 4). De sensoren op locaties A, C en D zijn gesitueerd boven de studie bureaus (zonder PC's) rond de zijwanden van het gebouw, overeenkomend met de omtrek van de ventilatieschachten. De sensoren op locatie B zijn gesitueerd op de binnenwand nabij de lift, grenzend aan de deur van de entree. Alle sensoren zijn aangebracht op een

hoogte van 1,5 m.

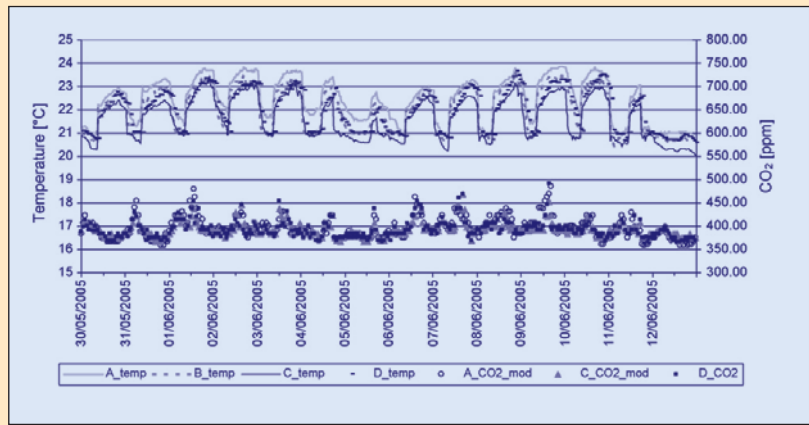
Grafieken van de tijdseries, zoals de grafiek over twee weken in figuur 9, illustreren duidelijk de verschillende variabiliteit van de temperaturen en de CO<sub>2</sub>-concentraties. Ondanks dat beide parameters worden beïnvloed door de ventilatie-instellingen en de bezettingsgraad, laten de CO<sub>2</sub>-concentraties verschillende pieken zien (voornamelijk in de middag) terwijl de temperatuur stijgt gedurende de dag voordat deze sterk afneemt in de nacht door de nachtelijke ventilatie.

Uit de grafieken blijkt dat er kleine temperatuurverschillen bestaan over de verdieping gedurende de onderzochte periode. De temperaturen op locatie A en B lijken significant hoger te zijn dan op locatie C en D, het gemiddelde verschil tussen A en D bedraagt 0,52 °C. Dit verschil kan worden veroorzaakt doordat mensen zich verplaatsen door de deuren die leiden naar de hoofdtrappenhal, hetgeen een luchtuitwisseling veroorzaakt tussen de aangrenzende ruimten waarin sensoren A en B zijn gesitueerd. Het is interessant om op te merken dat dit patroon soms verandert, de temperaturen op locatie D stijgen dan tot een vergelijkbaar niveau zoals op locatie A, terwijl de temperaturen op de aangrenzende locatie C lager blijven. Een aannemelijke oorzaak hiervoor is een lokaal effect van bureaugebruikers op de temperatuurniveaus in de nabijheid van sensor D. De aanwezigheid van mensen aan de bureau's beneden de sensor, zal de lucht opwarmen waardoor deze stijgt richting de ventilatieopeningen van de ventilatieschacht (waardoor deze lucht de sensor verticaal passeert). Sensor C, aan de aangrenzende ventilatieschacht (7 m verder), registreert juist kleine veranderingen in de temperatuur als de bureaus die direct beneden de sensor

zijn gesitueerd, ongebruikt zijn. Een vergelijkbare observatie kan worden gemaakt voor de CO<sub>2</sub>-concentraties. Hoewel de profielen van de data van de drie sensoren meestal overeen lijken te komen, stijgen de concentraties van één locatie zo nu en dan uit boven de concentraties die op de andere locaties worden gemeten. Dit valt vaak samen met de verhoogde temperatuur op dezelfde locatie. Wederom is de verhoogde bezettingsgraad van de bureau's nabij de sensoren een aanneemelijke oorzaak voor deze pieken. De CO<sub>2</sub>-concentraties voor de bezette perioden, gedurende de zes onderzochte weken, lagen tussen de 400 en 500 ppm, met incidentele pieken tot ongeveer 700 ppm. De maximale CO<sub>2</sub>-concentratie die werd geregistreerd bedroeg 720 ppm, dat beneden de limiet van 1.000 ppm ligt die voor scholen wordt aanbevolen [19]. Deze inleidende onderzoeken suggereren dat de natuurlijke ventilatiestrategie voldoet, en een voldoende luchttoevoer garandeert waardoor relatief uniforme condities worden bewerkstelligd op de tweede verdieping. Uitvoerigere metingen, met gebruikmaking van aanvullende sensoren geplaatst in verschillende zones die een bredere range van bedrijfscondities bedekken, zullen uitwijzen of comfortabele binnencondities consistent worden gerealiseerd.

### ENERGIEGEBRUIK

Het gemeten jaarlijkse energiegebruik in 2004 (bepaald door het aflezen van meters), van elektriciteit en gas, bedroeg 198 kW/m<sup>2</sup>. Dit omvatte het verwarmen, de verlichting en het stroomverbruik van het souterrain en de vier verdiepingen van de bibliotheek (deze twee kunnen niet worden samengevoegd). Het souterrain is een computerruimte die 24 uur per dag toegankelijk is, met een hoog elektriciteit- en lichtverbruik. Hierdoor dient deze ruimte mechanisch te worden gekoeld. De bibliotheek is ongeveer 4.000 uren per jaar toegankelijk. Met deze data is het moeilijk om een vergelijking te maken tussen het energiegebruik van de bibliotheek en de standaard figuren die worden gehanteerd voor uitsluitend natuurlijk geventileerde gebouwen of met de voorspellingen van het energiegebruik die werden gemaakt tijdens het ontwerp stadium van de bibliotheek. Ech-



Temperatuur- en CO<sub>2</sub>-niveau's gemeten op locaties A-D op de tweede verdieping gedurende de periode 30 mei 2005-12 juni 2005.

- FIGUUR 9-

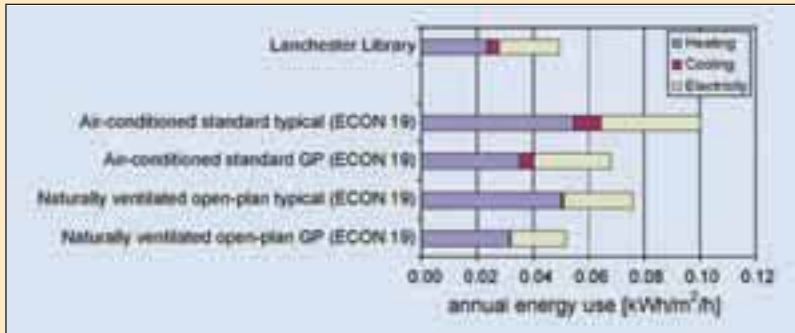
ter, een vergelijking van het hele gebouw is mogelijk door de data van de bibliotheek en de standaarden te normaliseren voor zowel de vloeroppervlakte als de bezettingsperiode (zie tabel 2). Met een jaarlijks energiegebruik van 0,049 kWh/(m<sup>2</sup>h) presteert het gebouw significant beter dan aanbevolen wordt in de ECON19, goede praktijkrichtlijnen voor kantoorgebouwen. (Zie figuur 10) [20]. Het gebouw gebruikt 51 % minder energie dan een karakteristiek airconditioned gebouw, en 35 % minder dan een karakteristiek natuurlijk geventileerd gebouw met een open plattegrond. Bovendien presteert de Lanchester Bibliotheek zelfs beter dan een kantoorgebouw dat is gebouwd in navolging van de goede praktijkstandaard voor natuurlijk geventileerde gebouwen met een open plattegrond.

### PRESTATIE IN ANDERE UK STEDEN

Door het vergelijken van de weerdata die werden geregistreerd in Coventry, met de data van een andere locatie in de UK is het mogelijk om af te leiden hoe de bibliotheek zou presteren op andere locaties en in het bijzonder op acceptabele binnencondities over comfort zouden worden gerealiseerd. De UK CIBSE heeft recent weerdata geproduceerd voor veertien steden in het Verenigd Koninkrijk, met locaties die zich hemelsbreed verspreiden van Plymouth en Southampton in het zuiden tot Edinburgh en Glasgow in Schotland en Belfast in Noord Ierland. Dichtbij Coventry is er data beschikbaar van Birmingham en Nottingham. De andere steden zijn Cardiff (Wales), Leeds, Manchester en Newcastle in het noorden van Engeland, Norwich

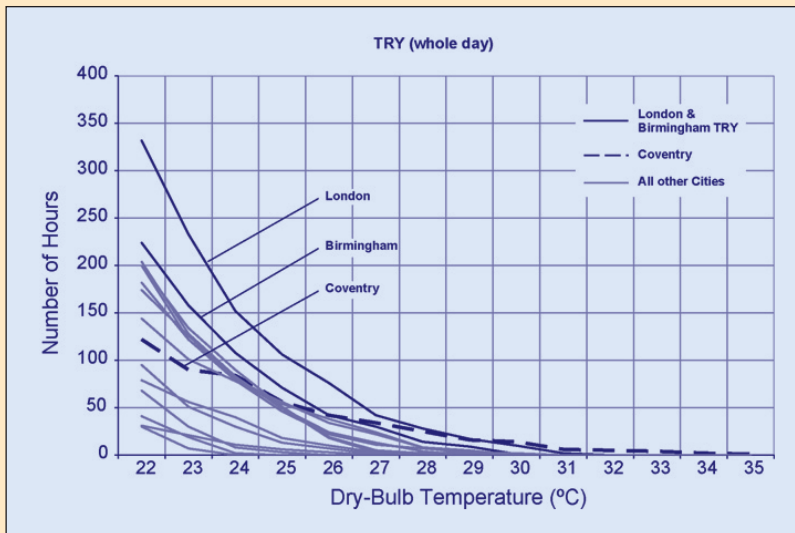
in het oosten en Swindon en Londen in het zuidoosten. Voor iedere stad is er een Test Referentie Jaar (TRY), die de condities karakteriseert die werden ondervonden op de locatie. Daarnaast is er voor iedere stad een Ontwerp Zomer Jaar (DSY) dat is bedoeld voor het gebruik bij analyses om het risico op oververhitting gedurende de zomer vast te stellen in natuurlijk geventileerde gebouwen. Het TRY is samengesteld uit twaalf individuele maanden die aan elkaar zijn gerelateerd, hierin is iedere maand de meest typische maand van de afgelopen 20 jaar. Het DSY is het op twee na warmste jaar van de afgelopen 20 jaar, dat wil zeggen dat er slechts 1 jaar in de 10 jaar warmer is. De afleiding van de jaren en hun karakteristieken wordt in andere onderzoeken toegelicht [20, 21, 22 en 23]. Het totale aantal uren waarvoor de geregistreerde omgevingstemperatuur in Coventry de verschillende temperaturen overschrijdt, zijn vergeleken met de overeenkomende waarden voor de veertien TRY's en DSY's in figuur 11 en 12. Deze zijn respectievelijk vergeleken met het aantal uren dat de temperatuur de 25, 27 en 28 °C overschrijdt, zoals weergegeven in tabel 3 en 4. Het is duidelijk dat de Coventry temperaturen een vergelijkbare trend laten zien met de TRY-data, maar dat het aantal uren dat de temperatuur hoger is dan 30 °C groter is dan in elke andere van de veertien steden. In het temperatuurgebied van 26-29 °C overschrijdt de Coventry-temperatuur alle andere steden, met uitzondering van de temperatuur in Londen (zie figuur 11). Wanneer de data van Coventry worden vergeleken met de DSY's kan er worden gezien dat Coventry in het





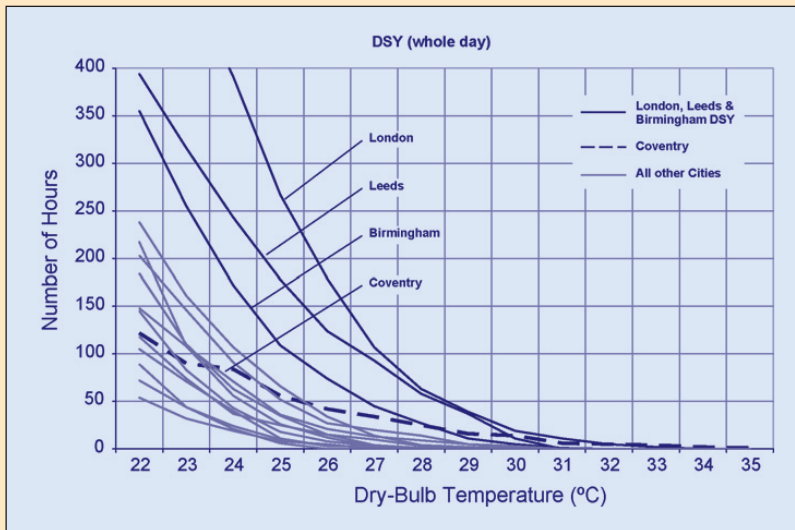
Vergelijking van het jaarlijkse energiegebruik van de bibliotheek in 2004 met de ECON19 standaardwaarden voor karakteristieke kantoorgebouwen [20].

- FIGUUR 10-



Vergelijking van de gemeten overschreden temperaturen van Coventry met de CIBSE's Test Referentie Jaar data (TRY) voor veertien UK-steden.

- FIGUUR 11-



Vergelijking van de gemeten overschreden temperaturen van Coventry met de CIBSE's Ontwerp Zomer Jaar data (DSY) voor veertien UK-steden.

- FIGUUR 12-

gebied van 26-29 °C op drie steden na (Birmingham, Leeds en Londen) warmer was dan alle andere steden (zie figuur 12). Echter, alleen in Leeds en Londen kwam het vaker voor dat de temperatuur steeg boven de 28 °C. Met het gegeven dat de bibliotheek in

Coventry voldoet aan alle drie de criteria (zie tabel 1), kan er wellicht worden geconcludeerd dat het gebouw comfort bewerkstelligd is in dertien van de veertien UK-steden in een karakteristiek jaar. Het is waarschijnlijk ook in staat om comfort te bewerkstelligen

tijdens de uren dat de 28 °C grens wordt overschreden in de omgevingen van Londen. Maar waarschijnlijk dient voor het comfort in het midden van de stad, waar sprake is van een substantieel warm stedelijk eiland-effect, een compromis te worden gesloten [24]. De resultaten geven aan dat het gebouw eveneens in staat is om het comfort te bewerkstelligen gedurende warme jaren (dat wil zeggen voor deze die alleen overstijgen voor één jaar in de tien jaren) op alle locaties, misschien met uitzondering van Birmingham, Leeds en Londen. Echter, het is goed om op te merken dat de bibliotheek goed presteert binnen de limieten van oververhittingscriteria, en dat het misschien op een juiste manier hogere temperaturen tolereert in Birmingham en Leeds in één van de tien jaren.

#### AANBEVELINGEN VOOR ONTWERPERS

Ondanks dat de bibliotheek goed presteert zijn er een aantal aanbevelingen die volgen uit deze studie, en die wellicht de ontwerpers assisteren bij het ontwerp van dergelijke gebouwen in de toekomst. De aanbevelingen zijn in aanvulling op de aanbevelingen die meestal worden aangenomen bij het ontwerp van lage energie gebouwen (bijvoorbeeld thermische massa en nachtelijke ventilatie, beschaduwing, hoe isolatiewaarden, goede glasspecificaties, maximaal gebruik van daglicht, etc.):

- ruimten die gedurende langere perioden in gebruik zijn, voornamelijk in de avond en wellicht 's nachts, kunnen worden gesitueerd in een beveiligd toegankelijk deel van het gebouw. Hierdoor wordt het mogelijk gemaakt om nachtelijke ventilatie toe te passen zonder dat het comfort van de nachtelijke gebruikers wordt beïnvloed;
- de prestatie gedurende de zomer kan worden verbeterd als de bevochtigers nabij de inlaat worden uitgeschakeld wanneer de droge resulterende binnentemperatuur lager is dan de buitentemperatuur. Die kunnen onder deze omstandigheden worden geregeld op de CO<sub>2</sub>-concentraties in de ruimte;
- de prestatie van gebouwen wordt drastisch verbeterd wanneer er een standvastige manager aan het werk is, die interesse heeft voor het behe-

	End use		
	Heating	Electricity	Cooling
Total annual Consumption (MWh)	1117	1012	205
Consumption per m <sup>2</sup> (kWh/m <sup>2</sup> )	95	86	17
Consumption per m <sup>2</sup> and per occupied hour (kWh/(m <sup>2</sup> h))	0,024	0,021	0,004

Energiegebruik van de bibliotheek in 2004.

- TABEL 2-

- ren van het gebouw, zodat zowel aan de behoeften van de gebruikers wordt voldaan als aan het efficiënt gebruik van energie;
- het is wellicht noodzakelijk om te voorzien in seizoensgebonden controle, waarbij de omvanglimiet van ventilatieopeningen in de winter is gereduceerd ten opzichte van de zomer. Dit heeft als voordeel dat het risico van te veel ventilatie wordt gereduceerd in de winter, daardoor wordt het energiegebruik en het risico op tocht verminderd;
  - algemener geldt dat het moeilijk is om de controlestrategie voor geavanceerde natuurlijk geventileerde gebouwen te vertalen in een operationeel BEMS-programma gedurende het ontwerp stadium. Dit wordt grotendeels veroorzaakt doordat er een groot aantal professionals betrokken kan zijn bij het ontwerp, zoals een architect, een installatietechnicus en regeltechnici. En ook deels doordat elk van deze professionals in een ander deel van het ontwerpproces betrokken raakt bij het ontwerp. Hierdoor is het lastig om in het vroege ontwerp stadium vasthoudend te zijn, en om voor informatie iedere betrokkene te raadplegen. Verder geldt, terwijl de concepten afhangen van de BEMS-programmeurs, dat het zeldzaam is, in de optiek van de auteur, dat de geprogrammeerde controlestrategie voor goedkeuring teruggaat naar een ingenieur of architect. Dit raakvlak van controlestrategie/implementatie is een gebied dat waardevol is voor verder onderzoek.

## CONCLUSIES

De Lanchester Bibliotheek op de Coventry Universiteit heeft een diepe plattegrond en een gesloten gevel. De vier verdiepingen van de bibliotheek en de studieruimten worden op een natuurlijke wijze geventileerd en in

City	Temperature threshold (°C)		
	25	27	28
Coventry <sup>a</sup>	162	79	52
Belfast	0	0	0
Birmingham	71	30	14
Cardiff	13	1	0
Edinburgh	6	0	0
Glasgow	0	0	0
Leeds	51	5	2
London	106	42	28
Manchester	56	22	8
Newcastle	18	3	1
Norwich	54	24	8
Nottingham	50	3	0
Plymouth	3	0	0
Southampton	46	11	7
Swindon	49	13	4

<sup>a</sup> Year from 26/6/04 to 24/6/05

Het aantal uren waarvoor verschillende drogeboltemperaturen buiten werden overschreden in Coventry en voor elk CIBSE Test Referentie Jaar.

- TABEL 3-

City	Temperature threshold (°C)		
	25	27	28
Coventry <sup>a</sup>	162	79	552
Belfast	8	0	0
Birmingham	109	45	27
Cardiff	18	3	0
Edinburgh	10	3	0
Glasgow	11	3	0
Leeds	178	93	58
London	267	107	63
Manchester	52	20	14
Newcastle	6	0	0
Norwich	35	4	1
Nottingham	25	10	3
Plymouth	36	13	9
Southampton	26	2	0
Swindon	66	14	4

<sup>a</sup> Year from 26/6/04 to 24/6/05

Het aantal uren waarvoor verschillende drogeboltemperaturen buiten werden overschreden in Coventry en voor elk CIBSE Ontwerp Zomer Jaar.

- TABEL 4-

daglicht voorzien door gebruikmaking van de interne atria en luchtschachten. Het gebouw heeft baat bij de thermische massa en de nachtelijke ventilatiestrategie. Afzonderlijke warme dagen zorgen voor een minimale stijging in de binnentemperatuur. Zelfs gedurende aanhoudende warme perioden, zoals in de periode juni 2004-juni 2005 met buitentemperaturen van 35,4 °C, steeg de binnentemperatuur niet boven de 26,4 °C. Hieruit volgde dat de binnentemperaturen tot 9 °C lager waren dan de hoogste buitentemperaturen. Alle verdiepingen werden daardoor comfortabel bevonden conform de CIBSE Guide A thermische comfort criteria (de droge resulterende temperatuur mag niet meer dan 1 % van de bezette uren hoger zijn dan 28 °C) [14]. Het gebouw voldoet zelfs aan de strengere eisen die worden gesteld in de CIBSE Guide J (de temperatuur mag niet hoger zijn dan 25 °C gedurende 5 % van de bezette uren) [16]. De piektemperaturen gedurende de zomer zijn op de derde verdieping van de bibliotheek hoger dan op verdiepingen 1 en 2; de bovenste verdieping beschikt over de kleinste schachthoogte die dient te zorgen voor een luchtstroming. Dit geeft aan dat in gebouwen die worden geventileerd door middel van een schacht, de bovenste verdieping het meest kritisch is wanneer er dient te worden voldaan aan de oververhittingscriteria. Uit temperatuur- en CO<sub>2</sub>-data van de vier sensorlocaties blijkt dat de natuurlijke ventilatiestrategie goed werkt. Het bewerkstelligt relatief uniforme condities over de verdieping en verzekert in voldoende toevoer van verse lucht. Dit blijkt ook uit de CO<sub>2</sub>-concentraties; deze overschrijden zelden de waarde van 700 ppm, die beneden het aanbevolen maximum van 1.000 ppm ligt [19]. Met een totaal jaarlijks energiegebruik van 0,049 kWh/(m<sup>2</sup>h), presteert het gebouw beter dan dat wordt aanbevolen in de praktijkrichtlijnen voor kantoren [20]. De bibliotheek gebruikt 51 % minder energie dan een karakteristiek airconditioned kantoor en 35 % minder dan een karakteristiek natuurlijk geventileerd kantoor met een open plattegrond. Echter, deze 'energiebesparingen' zijn behoudend wanneer deze waarden de toevoer omvatten naar de 24-uurs toegankelijke computerruimte (die geen deel is van de

natuurlijke ventilatiestrategie).

De metingen omvatten een warme periode waarin vaker temperaturen boven de 26 °C werden geregistreerd, dan gebruikelijk is voor de onderzochte veertien steden (met uitzondering van Londen). De temperaturen waren hoger dan werden geregistreerd in de laatste tien jaren in, op drie na, alle steden. Er kan worden geconcludeerd, met de gegeven geografische spreiding van de steden, dat natuurlijk geventileerde gebouwen met een diepe plattegrond kunnen voldoen in alle steden (op enkele na) in het Verenigd Koninkrijk aan de thermische comfortstandaarden.

Het gebouw is een tekenend succes, gebaseerd op de terugkoppeling van de gebruikers en het aantal aangetrokken studenten dat gebruikt maakt van de bibliotheek. Desalniettemin zijn opmerkingen te maken over het verbeteren van de regeling van het gebouw en in het algemeen over het verbeteren van de prestatie van geavanceerde natuurlijk geventileerde gebouwen. Hopelijk scheidt dit artikel vertrouwen naar ontwerpers toe om natuurlijk geventileerde gebouwen te ontwerpen, zelfs in lastige stedelijke gebieden.

#### TOEKOMSTIG ONDERZOEK

De focus lag in deze resumerende analyse op lange termijn temperatuur- en CO<sub>2</sub>-data. Echter, om de prestatie van het gebouw grondig te kunnen beoordelen en om de redenen voor de keuze van de prestatiekenmerken vast te kunnen stellen, staan er op middellange termijn gedetailleerde metingen van het thermisch comfort en de gebruikerstevredenheid op het programma. Hopelijk omvat dit ook vragen ter vastlegging van de gebruikersperceptie over deze resultaten.

#### DANKBETUIGING

Het gebouw werd ontworpen door Short en Associates Architects met zowel personeel van het Institute of Energy and Sustainable Development als van Environmental Design Consultants. We zijn zeer dankbaar voor de continue steun van Caroline Rock, hoofd van de bibliotheek en haar collega's, voor de steun van het Estates Department van de Coventry Universiteit, met in het bijzonder Jim Skelhon. 

#### REFERENTIES

1. Our energy future—*Creating a low carbon economy*, *Energy White paper*, Department of Trade and Industry, HMSO, London, 2003.
2. B. Bordass, R. Cohen, M. Standeven, A. Leaman, *Assessing building performance in use: energy performance of the PROBE buildings*, Building Research and Information 29 (2) (2001) 114–128.
3. K.J. Lomas, M.J. Cook, *Sustainable buildings for a warmer world*, in: Proceedings of the World Renewable Energy Congress, Aberdeen, May 22–27, 2005.
4. K.J. Lomas, *Architectural design of an advanced naturally ventilated building form*, Energy and Buildings 39 (2007) 166–181.
5. M.J. Cook, K.J. Lomas, H. Eppel, *Design and operating concept for an innovative naturally ventilated library*, in: Proceedings of the CIBSE National Conference, Harrogate, UK, October, 1999.
6. M.J. Cook, K.J. Lomas, H. Eppel, *Use of computer simulation in the design of a naturally ventilated library*, in: Proceedings of the PLEA99 Conference, Brisbane, Australia, 1999.
7. C.A. Short, K.J. Lomas, A. Woods, *Design strategy for low-energy ventilation and cooling within an urban heat island*, Building Research and Information 32 (3) (2004) 187–206.
8. M.J. Cook, C.A. Short, *Natural ventilation and low energy cooling of large, non-domestic buildings—four case studies*, The International Journal of Ventilation 3 (4) (2005) 283–294.
9. A. McDonald, *Celebrating outstanding new library buildings*. Society of College, National and University Libraries, 2002 [Accessed August 2006]. [http://www.sconul.ac.uk/pubs\\_stats/newsletter/27/ARTICL27.RTF](http://www.sconul.ac.uk/pubs_stats/newsletter/27/ARTICL27.RTF).
10. J. Field, *Breeze blocks*, Building Services Journal, December 2000, pp. 18–22.
11. S. Pidwell, *Lanchester Library by short and associates*, Architecture Today 115 (2001) 38–49.
12. *Data Model Summary ESP-r version 9 series*, report no. TR96/2, Energy Systems Research Unit, 1996.
13. M.J. Holmes, E.R. Hitchin, *An*



example year for the calculation of energy demands in buildings, Building Services Engineering 45 (1978) 186–190.

14. CIBSE Guide A: *Environmental Design*, The Chartered Institution of Building Services Engineers, London, 2006.
15. TM 36: *Climate change and the internal environment, a guide for designers*. Technical Memorandum, The Chartered Institution of Building Services Engineers, London, 2005.
16. CIBSE Guide J: *Weather, solar and illuminance data*, The Chartered Institution of Building Services Engineers, London, 2002.
17. N. Baker, K. Steemers, *The LT Method Version 2.0: An Energy Design Tool for Non-Domestic Buildings*, Cambridge Architectural Research Ltd., 1994.
18. Global Monitoring Division, *Trends in atmospheric carbon dioxide*, National Oceanic and Atmospheric Administration [Accessed August 2006]. <http://www.cmdl.noaa.gov/ccgg/trends/>.
19. Building Bulletin 101: *Ventilation in School Buildings*, Department for Education and Skills, 2006.
20. *Energy use in offices*, Energy Consumption Guide 19, Building Research Energy Conservation Support Unit, Energy Efficiency Best Practice Programme, 2000 [Accessed August 2006]. <http://www.cibse.org/pdf/egg019.pdf>.
21. D.H.C. Chow, G. Levermore, P. Jones, D. Lister, P.J. Laycock, J. Page, *Extreme and near-extreme climate change data in relation to building and plant design*, CIBSE Building Services Engineering Research and Technology 23 (4) (2002) 233–242.
22. M. Ren, N. Doylend, G.J. Levermore, *The impact of new CIBSE weather data on natural ventilation design*, CIBSE Building Services Engineering Research and Technology 24 (2) (2003) 83–922.
23. CIBSE, *CIBSE/Met Office TRY/DSY Hourly Weather Data Set (CDROM) - 14 sites*, Available from the Chartered Institution of Building Services Engineers, 2003.
24. R. Watkins, J. Palmer, M. Kolokotroni, P. Littlefair, *The London Heat Island: results from summertime monitoring*, CIBSE Building Services Engineering Research and Technology 23 (2) (2002) 97–106.

#### NOOT

1 De Coventry-uren zijn genormaliseerd om rekening te houden met de 679 uren die ontbreken in september en oktober in 2004 en januari in 2005.

## Luchtgordijn onderhoud?



**LSA** > Gemakkelijk

**LSA** > Zonder gereedschap

**LSA** > Reinigbaar filter

**LSA** > Effect!

**LSA**  
AIR CURTAINS

Luchtgordijnen  
Air curtains  
Luftschleier  
Rideaux d'air  
Cortina de aire  
Barriere d'aria

LSA Air Curtains

P. Calandweg 54 • 6827 BK Arnhem NL

+31(0)26 - 361 16 11

+31(0)26 - 362 18 91

E-mail: [lsa@lsaarnhem.nl](mailto:lsa@lsaarnhem.nl) • [www.lsaarnhem.nl](http://www.lsaarnhem.nl)



**CHRIST**

Christ Water Technology Group

### Je doet het niet in je "eendje"

Bij **CHRIST HOLLAND** Waterbehandeling staan wij voor

- Kwaliteitsproducten
- Ontwerp & Projectmanagement
- Productie
- Montage
- Inbedrijfstelling
- Validatie
- After Sales Service
- (24 uur) Service & Onderhoud

Dat doe je  
echt niet  
in je "eendje"



**CHRIST HOLLAND B.V.**  
Energieweg 5  
2382 NA Zoeterwoude

Tel. 071 - 589 92 18  
[www.christ.nl](http://www.christ.nl)  
[sales@christ.nl](mailto:sales@christ.nl)