

## Weergegevens voor gebouwprestatie simulatie

doc.dr.ir. Jan Hensen  
Centre for Building & Systems TNO – TU/e

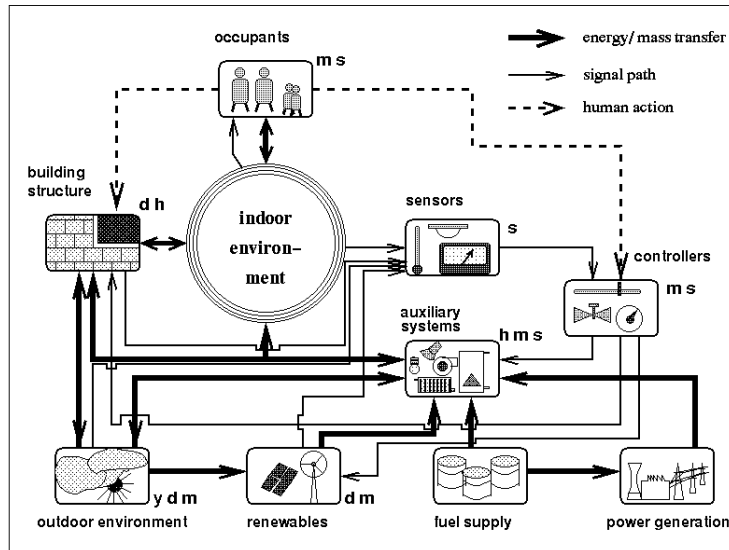
### Samenvatting

Na even in te gaan op het gecompliceerde thermodynamische gedrag van een gebouw, richt dit artikel zich op de weergegevens<sup>1</sup> (soms klimaatbestanden genoemd) die nodig zijn als randcondities bij gebouwprestatie simulaties. Het artikel beoogt geen volledigheid maar wil informatie geven en de aandacht vestigen op een aantal aspecten met betrekking tot weergegevens. Er wordt ingegaan op eisen die aan weergegevens moeten worden gesteld, informatie over en beschikbaarheid van weergegevens, het produceren van weergegevens, synthetische referentiejaar versus gemeten tijdreeksen en tenslotte het microklimaat. Het artikel eindigt met enkele conclusies en mogelijke richtingen voor toekomstig onderzoek.

### Achtergrond

Het energiegebruik en binnenmilieu in een gebouw kunnen worden gezien als de resultante van een aantal gekoppelde warmteoverdracht en massaoverdracht processen zoals schematisch weergegeven in Figuur 1. In principe is sprake van een aantal subsystemen met ieder hun eigen thermodynamische eigenschappen.

- De bewoners, die zelf beschouwd kunnen worden als zeer gecompliceerde, dynamische systemen.
- De normaal gesproken thermisch trage constructie, die echter ook onderdelen met relatief korte tijdsconstante kent (zoals bijv. de binnenlucht, meubilair, etc.).
- De installaties met gedeelten met een tijdsconstante in de orde van seconden (de regeling bijvoorbeeld) tot vele uren (bijv. een opslagtank voor warm water), en soms zelfs in de orde van een jaar (bijv. ondergrondse warmte- en koudeopslag).



Figuur 1 Het gebouw als een integraal geheel van dynamische subsystemen

De cyclustijd van de afzonderlijke systemen is ook erg verschillend. Het varieert van iets in de orde van seconden voor sommige installatieonderdelen, via minuten voor de bewoners en andere installatieonderdelen, tot minuten, uren, dagen en zelfs een jaarcyclus voor de buitenomgeving.

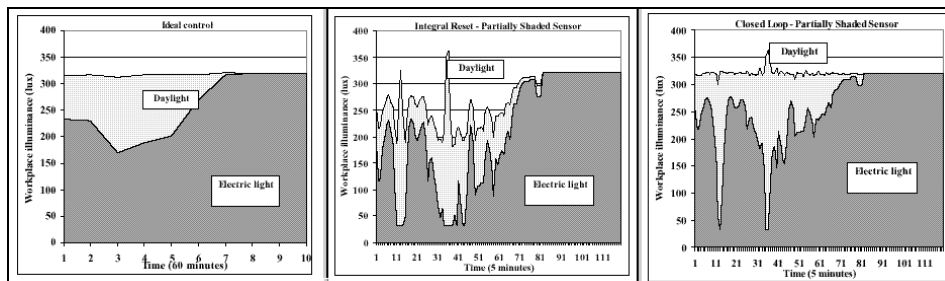
<sup>1</sup> Volgens Van Dale: klimaat = gemiddelde of samengevatte natuurlijke gesteldheid van de lucht en het weer in een landstreek; weer = de ter plaatse heersende gesteldheid van de atmosfeer m.b.t. temperatuur, luchtdruk, bewolking, wind en vochtigheidsgraad. Dit artikel gaat met name over computerbestanden met gegevens over het weer.

Uit bovenstaande moge duidelijk zijn dat een gebouw een gecompliceerd dynamisch geheel is, waarin veel van de onderlinge relaties niet-lineair zijn. De enige manier om zinnige voorspellingen te doen over het gedrag in de tijd van een dergelijk gecompliceerd dynamisch systeem is door middel van computer modellering en -simulatie. Bij simulatie is het uitermate belangrijk dat de randcondities goed worden gekozen. De rest van dit artikel gaat over gehanteerde randcondities met betrekking tot het weer. Zonder hier volledig in te willen zijn worden een aantal aandachtspunten nader besproken.

## Eisen aan weergegevens

Tot voor kort was het voldoende om als randcondities bij gebouwprestatie simulaties een representatieve tijdreeks te hanteren van uurwaarden (gemiddeld of geïntegreerd) voor luchttemperatuur, relatieve vochtigheid, zonnestraling, windsnelheid en windrichting. Afhankelijk van het doel van de simulatie, omvat een representatieve tijdreeks een stookseizoen (bijvoorbeeld voor het voorspellen van de energiebehoefte voor verwarming), een koelseizoen (voor het voorspellen van energiebehoefte voor koelen en/of temperatuuroverschrijdingen in de zomer), een extreem koude periode (voor het dimensioneren van het verwarmingssysteem), een extreem warme periode (voor het dimensioneren van het koelsysteem), enz.

Gebouwsimulatieprogramma's zijn door de jaren heen echter ontwikkeld tot een punt waarop het mogelijk is om complexe interacties van gebouwdelen en installaties te simuleren die veel verder gaan dan de relatief eenvoudige voorspellingen met betrekking tot warmtebehoefte en koudebehoefte.



Figuur 2 Voorspelde resulterende verlichtingssterktes voor een ideale dimregeling bij gebruik van uurwaarden voor het weer (linker grafiek), voor een dimregeling met geïntegreerde terugkoppeling en gebruik van weergegevens met een interval van vijf minuten (middelste grafiek) en voor een proportionele dimregeling ook met weergegevens per vijf minuten (rechter grafiek). (Aangepast uit: Janak en MacDonald 1999)

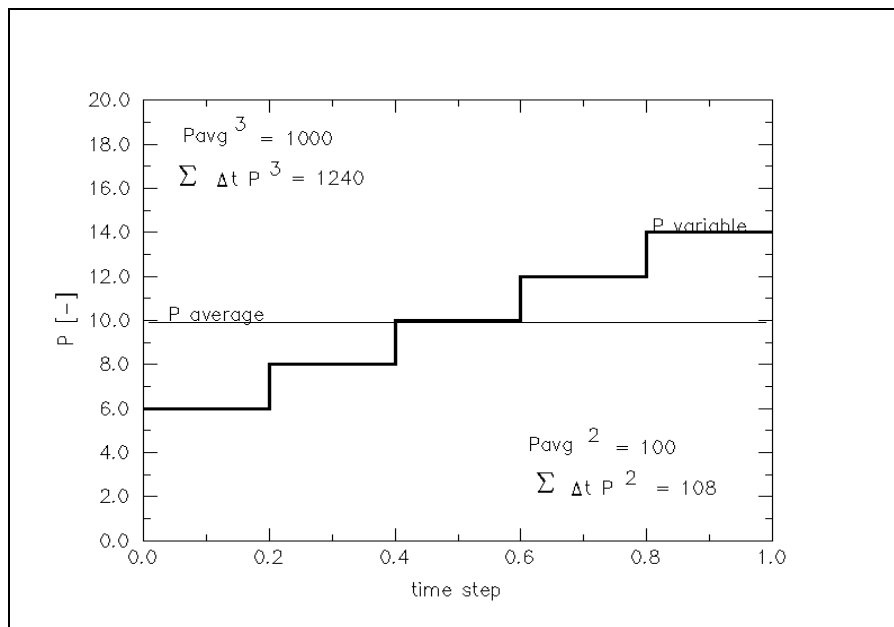
Het is tegenwoordig bijvoorbeeld mogelijk om het gedrag van daglichtregelingen te voorspellen. (Zie bijvoorbeeld Janak en MacDonald 1999). Om dit te kunnen doen worden er echter wel extra eisen aan de weergegevens gesteld omdat het nodig is om de luminantieverdeling van de hemelkoepel te kennen en omdat daglichtgegevens met een grotere tijdsresolutie, bijvoorbeeld per vijf minuten, nodig zijn. Dit is geïllustreerd in figuur 2, die eigenlijk laat zien dat een realistische regeling alleen realistisch gesimuleerd kan worden door gebruik van kleine tijdstappen met bijbehorende weergegevens.

De wijze waarop de meetgegevens per tijdseenheid zijn gemiddeld is een ander probleem. (Het volgende geldt overigens ook als de gegevens per tijdseenheid zijn geïntegreerd, of als er bijvoorbeeld prikmetingen op het hele uur zijn gedaan). Doorgaans wordt algebraïsch gemiddeld,

d.w.z. het gemiddelde van  $n$  afzonderlijke waarden van een variabele  $P$  is  $\sum_{i=1}^n P_i / n$ . Veel van de

processen in een gebouw zijn echter niet-lineair gerelateerd aan de weervariabelen. De opbrengst van een varieert bijvoorbeeld met de derde macht van de windsnelheid. De relatie tussen de opbrengst van fotovoltaïsche cellen en opvallende zonnestraling is ook niet-lineair. De belangrijkste drijfkracht van natuurlijke ventilatie, de winddruk, varieert met het kwadraat van de windsnelheid. Er bestaan veel meer van dergelijke voorbeelden. Om de prestaties van deze niet-lineaire systemen nauwkeurig te voorspellen zijn weergegevens met kleine tijdsintervallen nodig, waarbij het tijdsinterval aanzienlijk kleiner moet zijn dan de tijdconstante van het beschouwde systeem. In het geval van windturbines en fotovoltaïsche cellen is dit in de orde van een paar minuten of minder. Figuur 3 geeft een illustratie van de fout die door bovenstaande kan ontstaan.

Zoals hierboven is aangegeven omvatten de normaal beschikbare weergegevens luchttemperatuur, zonnestraling, relatieve vochtigheid, windsnelheid en windrichting. Voor meer geavanceerde toepassingen kunnen echter aanvullende weergegevens nodig zijn. De eerder genoemde luminantieverdeling van de hemelkoepel is hier een voorbeelden van. Andere weervariabelen die van belang kunnen zijn voor gebouwprestaties zijn de stralingsluchttemperatuur (tot nu toe wordt deze nogal ruw geschat uit de zonnestraling en de relatieve vochtigheid), sneeuw (wordt niet meegerekend, maar kan belangrijk zijn voor daglicht bijdrage), CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, ozon en andere bestanddelen die de kwaliteit van de lucht beïnvloeden. Het is niet moeilijk om nog andere voorbeelden te bedenken.



Figuur 3 Illustratie van de fout die kan ontstaan door gebruik van weergegevens per uur in plaats van kortere perioden (bijv. per zes minuten). Als de opbrengst van een systeem afhangt van een weervariabele tot de derde macht, zal de fout 24% bedragen in het gekozen voorbeeld. Bij kwadratische relatie zou de fout 8% bedragen. Overigens is aangenomen dat de weervariabele lineair verloopt gedurende het beschouwde uur.

Als mogelijke oplossing hiervoor, hebben Crawley e.a. (1999) een nieuw, uniform formaat voor datafiles met weergegevens voor gebouwprestatie simulatie ontwikkeld. Dit formaat wordt al gebruikt in bijvoorbeeld EnergyPlus (in de Verenigde Staten) en in ESP-r (in Groot-Britannië).

Vooruitlopend op de behoefte aan kleinere tijdstappen, wordt in dit formaat de tijd in minuten weergegeven. Verder zijn er identificaties met betrekking tot de locatie zoals plaatsnaam, bron vermelding, breedtegraad, lengtegraad, tijdzone, hoogte boven NAP, ontwerpcondities, typische vakantieperiodes, zomertijd, kenmerkende en extreme periodes, grondtemperaturen, begintijd en eindtijd van de data (er wordt niet per definitie uitgegaan van 365 dagen) en betrouwbaarheidsindicaties. Door het toevoegen van informatie over de bron en de betrouwbaarheid van de gegevens wordt het eenvoudiger om de potentiële invloed van weervariaties op de gebouwprestaties te voorspellen. (Zie bijvoorbeeld MacDonald e.a. 1999.)

De tijdsafhankelijke gegevens kunnen omvatten: droge-bol temperatuur, dauwpuntstemperatuur, relatieve vochtigheid, atmosferische druk, zonnestraling, hemelluminatie, windgegevens, bewolkinggraad, neerslag, atmosferische turbiditeit en bijvoorbeeld sneeuwbedekking.

Hoewel dit formaat al veel meer informatie bevat dan thans gebruikelijk, is het toch zeer waarschijnlijk dat er in de nabije toekomst behoefte is aan nog meer gegevens; bijvoorbeeld met betrekking tot buitenluchtkwaliteit. Daarom is het wenselijk dat het formaat zoals voorgesteld door Crawley e.a. (1999) flexibel gemaakt wordt om uitbreidingen in de toekomst mogelijk te maken en achterwaartse compatibiliteit te waarborgen.

## Weergegevens: informatie en beschikbaarheid

In het navolgende worden, zonder volledigheid te willen zijn, enkele voorbeelden gegeven over informatiebronnen en beschikbaarheid van weergegevens voor verschillende locaties in de wereld.

De meeste bouwgerelateerde ingenieursverenigingen houden zich meer of minder bezig met weergegevens. De American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) is een van de toonaangevende internationale verenigingen in onze branche. ASHRAE heeft een technische commissie die zich specifiek bezig houdt met gegevens over het weer (TC 4.2). Recentelijk is bijvoorbeeld het hoofdstuk over weergegevens in het ASHRAE Handbook of Fundamentals volledig herzien. Met name de keuze van 1, 3, 5 en 7- daagse perioden met semi-extreme weergegevens was/ is van belang voor ontwerpen en dimensioneren van installaties en gebouwen. Tabel 1, aangepast van (Harriman e.a. 1999), geeft een overzicht van normaal gebruik en bronnen voor weergegevens. Deze informatie richt zich met name op de Verenigde Staten, maar het ligt voor de hand dat gelijksoortige informatie ook in andere landen bestaat (zou moeten bestaan).

Tabel 1 Gebruikelijke types en bronnen van weergegevens, met name voor de USA.  
(Aangepast uit Harriman et al. 1999 en andere bronnen)

Doel	Omschrijving	Type	Dekking	Uitgever
Dimensioneren van installaties	2001 ASHRAE Handbook of Fundamentals	Lange-termijn extreme waarden	1459 USA en internationale locaties	ASHRAE, GRI
	Series van extreme temperaturen en vochtigheid		320 USA en Canadese locaties	ASHRAE
Monitoring en klachtafhandeling van geïnstalleerde apparatuur	Uurlijkse weergegevens	Huidige uurlijkse droge-bol en vochtigheid	240 USA en Canadese locaties	GRI
Voorspellen van lange-termijn gedrag en energie behoefte	TMY-2 Typical Meteorological Years	Kenmerkende uurlijkse meetwaarden	239 USA locaties en Puerto Rico	GRI
	WYEC-2 Weather Years for Energy Calculations		76 USA locaties	ASHRAE
	CWEC Canadian Weather year for Energy Calculations		145 Canadese locaties	AES
	IWEC International Weather for Energy Calculations		227 locaties buiten USA en Canada	ASHRAE
	EWY Example Weather Year		15 locaties in Groot Britannië	CIBSE
	TRY Test Reference Year en DRY Design Reference Year		156 locaties in Europa, Rusland en Turkije	CEC
	HRY Hygrothermal Reference Year		Locaties in Duitsland en Europa	WTA
Simulatie van installatie gedrag voor een specifiek jaar	SAMSON Solar and Meteorological Surface Observational Network	Werkelijke uurlijkse meetwaarden voor specifieke jaren	237 USA locaties	NOAA
	CWEEDS Canadian Weather for Energy and Engineering		145 Canadese locaties	AES
	INSWO International Surface Weather Observations		1500 wereldwijde locaties	NOAA

De European Solar Atlas (EU 1997) is een andere bron van weergegevens,. Deze bevat tabellen en kaarten met maandelijks gemiddelde waarden voor globale, diffuse en directe straling, en ook gegevens over zonneshijns uren voor een groot aantal representatieve plaatsen in Europa. Er zijn tabellen voor straling op zowel horizontale als hellende vlakken.

Het internet moet ook niet vergeten worden als een rijke bron voor weergegevens. In een elektronisch artikel vermeld Ku (1999) diverse vrij toegankelijke bronnen, zoals weerspecifieke websites, meteorologische diensten en onderzoeksinstituten, nieuws- en reispagina's met informatie over het weer in het kader van van "wat-je-moet -weten", internet directories en service providers.

In Groot Brittannië is de Chartered Institution of Building Services Engineers (CIBSE) momenteel een nieuwe publicatie over weergegevens aan het samenstellen. De CIBSE TRY zal hierin worden opgenomen, evenals nieuwe ontwerprichtlijnen en hulpmiddelen met betrekking tot weergegevens. Nieuw voor CIBSE is het gebruik van werkelijke uurlijkse weergegevens; in tegenstelling tot de traditionele sinusvormige temperatuur en zonnestraling fluctuaties zoals die van oudsher werden gebruikt bij de handmatige, op de admitantiemethode gebaseerde, CIBSE berekeningen voor, bijvoorbeeld, het voorspellen van de koellast in de zomer.

De Society of Heating, Air-conditioning and Sanitary Engineers in Japan (SHASE) heeft uitgebreide Japanse weergegevens voorhanden voor gebouwsimulaties. Zij hebben ook een Standard Weather Year, SWY, geproduceerd voor gebruik in Japan.

Sinds 1997 heeft de International Council for Research and Innovation in Building and Construction (Commission International du Batiment, CIB) een taakgroep (TG 21) die zich toelegt op weergegevens voor installatietechnologie. De doelstelling van CIB TG 21 is het verspreiden, bediscussiëren en promoten van het belang van klimaatgegevens voor klimatiseringinstallaties en simulaties. Dit wordt bereikt door het verzamelen en opstellen van publicaties over rapporten en documenten uit de hele wereld over klimaatveranderingen en de consequenties daarvan; het verzamelen van bronnen van uurlijkse weergegevens voor alle grote steden ter wereld voor simulaties (als er geen echte meetgegevens voorhanden zijn dan moeten karakteristieke weerparameters worden verzameld om uurlijkse weergegevens te kunnen synthetiseren); het aangaan van samenwerking met ASHRAE, IEA, EU, ISO, CEN, IBPSA, enz.

Internationale experts die samenwerken binnen de Federation of European Heating and Air-Conditioning Associations (REHVA) zijn een Europese ontwerphandleiding voor klimatiseringsinstallaties aan het maken. Het belangrijkste doel hiervan is het vergelijken van methodes, gegevens en hulpmiddelen voor het ontwerpen van installaties, het maken van een handboek voor energie efficiënt ontwerpen en een aanzet geven tot verdere samenwerking. In het handboek komen ook weergegevens inclusief zonnestraling en gegevens over daglicht en de bijbehorende algoritmen.

Binnen de European Committee for Standardization (CEN) wordt gewerkt aan weergegevens voor bouwkundige toepassingen door de CEN/TC89 Thermal Performance of Buildings and Building Components, werkgroep WG 9 Climatic Data. Deze werkgroep adviseert om voor ontwerpdoeleinden 1, 3, 5 en 7-daagse semi-extreme perioden te gebruiken. Dit komt overeen met de door ASHRAE en CIBSE aanbevolen werkwijze.

In Nederland worden verschillende weergegevens bestanden gebruikt: (niet vaak) het Verkort Referentiejaar (VRJ) voor buitencondities volgens NEN 5060 (NNI 1986), (zelden) het door de EU ontwikkelde Short Reference Year (SRY), (soms) het zogenaamde Test Reference Year (TRY), (meestal) de weergegevens voor De Bilt gedurende 1964-1965, en (recentelijk soms als alternatief warm referentiejaar) de weergegevens voor De Bilt gedurende 1994. Zoals aangegeven door Zeiler et al. (2001) in de context van het belang van nauwkeurige weergegevens, heeft ISSO (1999) onlangs het initiatief genomen voor de oprichting van een werkgroep die een of meerdere bestand(en) moet genereren met weergegevens die over een langdurige periode zijn gemeten ten behoeve van gebouwprestatie simulaties. De bedoeling is dat dit bestand in de toekomst regelmatig bijgewerkt zal worden. Wellicht zou IBPSA-NVL hier ook een rol bij kunnen spelen.

## **Genereren van weergegevens**

Voor veel locaties buiten de Verenigde Staten, West Europa, Japan, enz. zijn er geen weergegevens direct voorhanden voor het gebruik bij gebouwsimulaties. Lange termijn (maandelijks) gemiddelden en andere statistieken van de belangrijkste weervariabelen (droge-bol temperatuur, relatieve vochtigheid en globale straling) zijn echter wel vaak te vinden in klimaatatlassen en meteorologische publicaties overal ter wereld; bijvoorbeeld voor Groot Brittannië (Booth 1969, Page et al. 1986).

Dergelijke meteorologische gegevens kunnen vervolgens gebruikt worden om synthetisch uurlijkse weergegevens te produceren, zoals bijvoorbeeld beschreven door Knight et al (1991). Dezelfde methodologie is door de auteur van dit artikel voorgesteld om uurlijkse weergegevens te produceren voor Praag (zie Dunovska 1993).

In een recent artikel, rapporteren Aguiar et al. (1999) (op basis van vergelijkende simulaties voor testcellen in Lissabon) dat synthetisch vervaardigde weergegevens zelfs flexibeler en geschikter lijken te zijn dan de karakteristieke meteorologische jaren die op basis van statistische analyse geselecteerd zijn uit lange termijn waarnemingen.

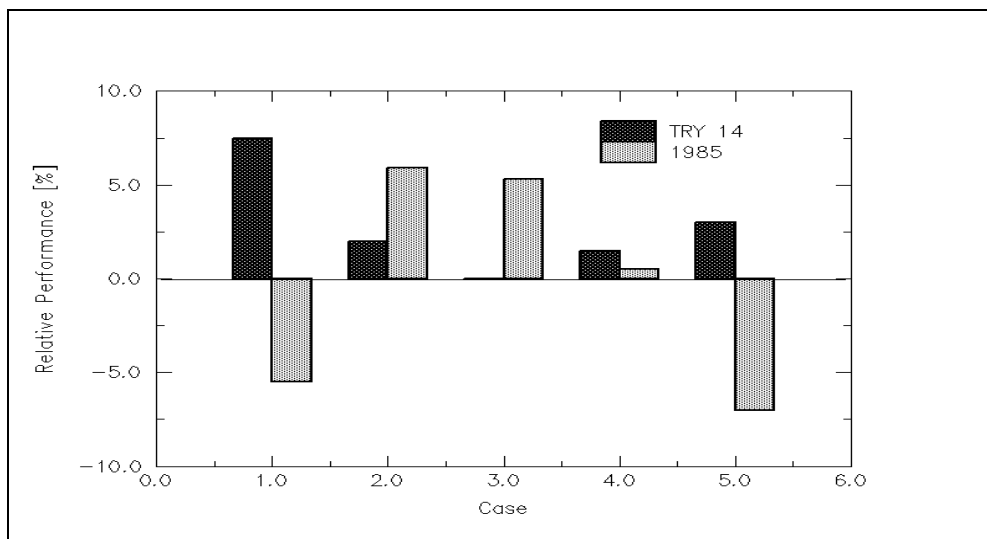
Degelman (1991) beschrijft public domain software voor het zelf maken van synthetische weergegevens. Een voorbeeld van commerciële software voor het produceren van weergegevens is

METEONORM. De recente versie van dit programma (is eind 1999 uitgebracht) bevat de klimatologische normaalwaarden voor de jaren 1961-1990 van ongeveer 2500 weerstations over de hele wereld. Deze normaalwaarden van de World Meteorological Organization (WMO) bestaan voornamelijk uit maandelijkse waarden voor luchttemperatuur, relatieve vochtigheid, regen, zonnenschijnduur en regendagen. Aanvullende stralingsgegevens zullen worden toegevoegd zodat weergegevens voor ongeveer 2400 weerstations direct voorhanden zullen zijn.

## Referentie jaren versus gemeten tijdreeksen

De behoefte aan nauwkeurige referentie jaren voor gebouwprestatie simulaties is door de jaren duidelijk gebleken. Diverse benaderingen en methoden zijn ontwikkeld. Dit varieerde van het eenvoudigweg selecteren – en afspreken om het als referentie te gebruiken – van een tijdreeks van meetwaarden (bijvoorbeeld de meetwaarden voor Kew bij Londen gedurende 1969, of voor De Bilt gedurende 1964-1965, of 1994), het creëren van een kunstmatig referentiejaar bestaande uit “lange-termijn gemiddelde maanden”(bijvoorbeeld door Van der Bruggen 1978), tot het produceren van synthetisch vervaardigde verkorte referentie jaren (bijvoorbeeld door Van Paassen 1981), of andere synthetische referentie jaren. Voor een recent overzicht van de verschillende methodes voor het maken van referentie jaren, zie Argiriou et al. (1999).

Er zijn enkele problemen met het maken van referentie jaren anders dan werkelijke tijdreeksen van meetwaarden. Een van de grootste problemen is dat het weer uit verschillende variabelen bestaat (temperatuur, zonnestraling, wind, enz.) die niet per definitie gecorreleerd zijn; er zijn bijvoorbeeld zowel (relatief) warme als (relatief) koude dagen met veel zon en (relatief) warme als (relatief) koude dagen met weinig zon. Bij het maken van een referentie jaar wordt uren of dagen geselecteerd op basis van statische weging. Deze geeft, bijvoorbeeld, meer gewicht aan de temperatuur dan aan de zonnestraling (of meer aan temperatuur en zonnestraling dan aan wind, of...). Voor bepaalde gebouwen (bijvoorbeeld gebouwen zonder of met kleine ramen en zonder natuurlijke ventilatie) is echter alleen de temperatuur van belang, zodat voor dergelijke gebouwen een referentie jaar ontwikkeld moet worden met een relatief zwaar gewicht aan de temperatuur. Voor andere gebouwen (type zonnecollector) zou de straling veel dominanter moeten zijn, en voor weer andere gebouwen (bijvoorbeeld gebouwen die sterk afhankelijk zijn van windgedreven natuurlijke ventilatie) zouden de windsnelheid en de windrichting de dominante variabelen moeten zijn. Een referentie jaar zal op de één of andere manier “een gemiddeld gebouw” veronderstellen; terwijl er in werkelijkheid veel gebouwen zijn die niet gemiddeld zijn en die in het ideale geval hun eigen referentie jaar zouden moeten hebben.



Figuur 4 Voorspelde gebouwprestaties op basis van het best geteste synthetisch referentiejaar (TRY 14) en een willekeurig (1985) ten opzichte van de over twintig echte jaren gemiddelde voorspellingen (0% waarde), voor: 1 – verwarmd gebouw; 2 – gekoeld gebouw; 3 – eenvoudig zonnecollector systeem; 4 – collectorsysteem met seizoensopslag; 5 – fotovoltaïsch systeem. (Aangepast uit Argiriou et al. 1999)

Dit probleem wordt door Argiriou et al. (1999) beschreven en gekwantificeerd. In dit artikel zijn de belangrijkste referentiejaar methodes (Hall et al. 1978, Lund en Eidorf 1980 en Festa en Ratto 1993) – zowel in de oorspronkelijke versie als met enkele aanpassingen – gebruikt in combinatie met twintig jaar (1977 – 1996) meetwaarden voor Athene. In totaal zijn zeventien synthetische referentiejaar geproduceerd. TRNSYS is gebruikt om verschillende typische gebouwprestatie toepassingen te simuleren. De voorspelde jaarlijkse energiebehoefte met elke TRY is vergeleken met de voorspellingen gemiddeld over de gehele periode van twintig jaar. Zie Figur 3 ter illustratie. De resultaten bevestigen de uitspraak hierboven dat het gevalafhankelijk is welke TRY het beste scoort; bijvoorbeeld TRY14 is over alle gevallen gemiddeld het beste, TRY04 is het best voor het verwarmd gebouw, TRY05 voor het koelseizoen, TRY16 voor het fotonvoltaïsche systeem, enz. Het moge duidelijk zijn dat een verkeerde keuze m.b.t. een synthetisch referentiejaar tot verkeerde conclusies zou kunnen leiden m.b.t. gebouwprestatie voorspellingen en dus ook m.b.t. het ontwerpen en dimensioneren gebouw en installaties.

Overigens moet worden opgemerkt dat de studie van Argiriou et al. (1999) de jaarlijkse energiebehoefte, d.w.z. een geïntegreerde waarde, vergelijkt. Het ligt voor de hand dat de verschillen veel groter zouden zijn indien gekeken zou worden naar piekbelastingen. Dit is aangetoond in een ander recent, en wederom zeer uitgebreid, onderzoek door Crawley (1998). Crawley vergelijkt resultaten van simulaties met verschillende referentiejaar (TRY, TMY, TMY2, WYEC, WYEC2) met resultaten op basis van uurlijkse weergegevens gedurende dertig jaar (SAMSON, 1961-1990). Voor dit onderzoek is een prototype kantoorgebouw gesimuleerd met DOE-2.1E voor acht locaties in de Verenigde Staten. Crawley beschrijft de invloed van de verschillende synthetische weergegevens op de voorspelde jaarlijkse energiebehoefte, de jaarlijkse energiekosten en de piekwaarden voor elektriciteitsvraag, warmtelast en koellast. Ook worden statistieken voor temperatuur, zonnestraling en graaddagen voor verwarming en koeling gepresenteerd. Tabel 2 toont, bijvoorbeeld, enkele resultaten voor Washington, DC. Uit de tabel blijkt dat, zoals boven is aangegeven, de belangrijkste verschillen niet tot uitdrukking komen in de jaarlijkse energiebehoefte maar in de piekbelasting.

Tabel 2 Vergelijking van de voorspelde jaarlijkse energiebehoefte, energiekosten, en piekbelasting op basis van verschillende synthetische referentiejaar en werkelijke meetwaarden over dertig jaar voor Washington, DC. (Aangepast uit Crawley 1999)

Weergegevens	Jaarlijkse energiebehoefte		Piekbelasting		
	Verbruik in $MJ/m^2$ c.q. relatief t.o.v. 30 jaar gemiddelde	Kosten in $USD/m^2$ c.q. relatief t.o.v. 30 jaar gemiddelde	Elektriciteit in $W/m^2$ c.q. relatief t.o.v. 30 jaar gemiddelde	Koellast in $W/m^2$ c.q. relatief t.o.v. ontwerpwaarde	Warmtelast in $W/m^2$ c.q. relatief t.o.v. ontwerpwaarde
SAMSON - gemiddelde over 1961 - 1990	725	13.24	48.4	9.8%	-7.0%
Ontwerpwaarde	--	--	--	70.4	104
TRY	-2.3%	-1.3%	-1.4%	0.6%	-9.4%
TMY	0.2%	-0.3%	-0.7%	2.2%	-5.1%
TMY2	1.4%	0.7%	1.5%	19.6%	-7.3%
WYEC	-0.9%	0.1%	0.9%	23.6%	-12.0%
WYEC2 (TMY)	0.3%	-0.2%	-0.5%	4.4%	-5.0%
WYEC2 (WYEC)	-0.9%	-0.1%	0.7%	23.8%	-12.2%

De belangrijkste aanbevelingen van Crawley (1998) zijn dat voorzichtigheid geboden is bij gebruik van een enkel TRY-achtig referentiejaar, en dat het voor de toekomst wellicht beter is om voorspellingen te baseren op weergegevens die drie jaren omvatten: kenmerkend (gemiddeld), koud/bewolkt en warm/zonnig. Op deze wijze omvatten de weergegevens meer dan de gemiddelde of kenmerkende perioden en zullen de simulatieresultaten (een deel van) de met het weer verbonden onzekerheid en variabiliteit identificeren.

Om ambiguïteit ten gevolge van de toepassing van referentiejaar en ontwerp buitenklimaatgegevens verder te voorkomen, stellen Hui en Cheung (1997) een meer-jaren benadering voor. De voordelen hiervan worden bewezen met een op zeventien jaar weergegevens gebaseerde simulatiestudie voor

een kantoorgebouw in Hong Kong. Een voor de hand liggende nadeel van de meer-jaren benadering is natuurlijk dat meer gegevens beschikbaar moeten zijn en dat de berekeningen langer duren.

Omdat het aantal onafhankelijke, van belang zijnde variabelen steeds groter wordt (d.w.z. behalve luchttemperatuur, zonnestraling, relatieve vochtigheid, windsnelheid en windrichting, willen we nu ook informatie hebben over hemeltemperatuur, luminantieverdeling, en wellicht in de toekomst over CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, ozon en andere componenten die van invloed zijn op de luchtkwaliteit) zal het steeds moeilijker worden om voldoende nauwkeurige synthetische referentiejaar te produceren.

## Micro-klimaat effecten

Een aan het weer gerelateerd onderwerp waaraan tot nu toe nauwelijks onderzoek is verricht betreft het verschil tussen het micro-klimaat rond een gebouw en de weergegevens die vaak gelden voor een meetlocatie op meer of mindere afstand. Er van uitgaande dat beschaduwing door objecten in de omgeving wel goed wordt meegenomen, zijn deze verschillen het grootst voor wat betreft luchttemperatuur, windsnelheid en windrichting; d.w.z. de belangrijkste drijvende krachten voor warmte- en massaoverdracht in gebouwen!

De temperatuurverschillen zijn duidelijk voelbaar als men in de zomer in een stedelijke omgeving rondloopt. Er zijn recentelijk publicaties verschenen waaruit een toenemende aandacht hiervoor blijkt (Santamouris 2001).

Voor de lokale windsnelheid en windrichting, zijn er enkele grove modellen ter voorspelling van de reductie in windsnelheid tussen de lokale situatie en de plaats van de meteorologische metingen. Deze reductiefactor verdisconteert verschillen tussen meethoogte en gebouwhoogte en de ruwheid van het tussenliggende terrein. Het wordt berekend uit een aangenomen windsnelheidsprofiel, dat afhankelijk is van de terreinruwheid (stroomopwaarts) en van de verticale stabiliteit van de atmosferische grenslaag. Deels door gebrek aan informatie, moeten we meestal aannemen dat deze grenslaag stabiel is. Hensen (1991) beschrijft bijvoorbeeld dat in ESP-r de volgende benaderingen geselecteerd kunnen worden voor het berekenen van de windsnelheid reductie.

- Exponentieel windprofiel (Liddament 1986):

$$\frac{U_l}{U_{10}} = K z_l^a \quad (-)$$

waarin  $U_l$  de lokale windsnelheid is op een hoogte van  $z_l$  m boven de grond (m/s),  $U_{10}$  de in open terrein gemeten windsnelheid (m/s) op een standaard hoogte van 10 m, en  $K$  en  $a$  constanten volgens Tabel 3.

- Logaritmisch windprofiel (Simiu & Scanlan 1986):

$$\frac{U_l}{U_m} = \frac{U_{*,l}}{U_{*,m}} \left( \frac{\ln \frac{z_l - d_l}{z_{0,l}}}{\ln \frac{z_m - d_m}{z_{0,m}}} \right) \quad (-) \quad \text{waarin} \quad \frac{U_{*,l}}{U_{*,m}} \approx \left( \frac{z_{0,l}}{z_{0,m}} \right)^{0.1} \quad (-)$$

waarin  $U_m$  de gemeten windsnelheid is (m/s) op een hoogte van  $z_m$  m boven de grond,  $U_*$  de atmosferische wrijvingsnelheid (m/s),  $z_0$  de terreinafhankelijke ruwheidslengte (m) en  $d$  de terreinafhankelijke verschuivingslengte (m) volgens Tabel 3.

- Lawrence Berkeley Laboratory – LBL windprofiel (in Liddament 1986):

$$\frac{U_l}{U_m} = \frac{\alpha (z/10)^\gamma}{\alpha_m (z_m/10)^{\gamma_m}} \quad (-)$$

waarin  $\alpha$  en  $\gamma$  de terreinafhankelijke constanten volgens Tabel 3.

In principe zou de voorkeur moeten worden gegeven aan het logaritmische windprofiel omdat het gebaseerd is op fysische wetten in plaats van op een empirische formulering zoals de andere twee. Er moet ook worden opgemerkt dat de bovenstaande windprofielen feitelijk slechts geldig zijn voor hoogten boven de  $(20 * z_0 + d)$  en onder de 60...100 m; d.w.z. voor een gebouwhoogte van 10 m in een landelijke omgeving, zijn de profielen eigenlijk alleen geldig voor hoogten boven de 17 m, in een stedelijke omgeving boven de 28 m en in een stad boven de 50 m. De laag beneden de  $(20 * z_0 + d)$  wordt de stedelijke canopy (= luifel) genoemd. Hier worden de windsnelheid en windrichting sterk beïnvloed door individuele obstakels en kunnen alleen voorspeld worden door middel van windtunnel



onderzoek of CFD simulaties. Als dit niet mogelijk is, dan moet men **zeer voorzichtig** zijn en kan men beter – afhankelijk van het voorhanden zijnde probleem – een hoge of lage schatting van de reductiefactor voor de windsnelheid gebruiken. In geval van een “energiegebruik en infiltratie probleem” is het veiliger om een hoge schatting van de reductiefactor voor de windsnelheid te gebruiken (bijv. de windsnelheid berekend op een hoogte van  $(20 * z_0 + d)$ ). In geval van bijvoorbeeld een “luchtkwaliteit of oververhitting en ventilatie probleem” is het veiliger om een lage schatting (bijv. de windsnelheid berekend op de werkelijke gebouwhoogte) te gebruiken.

Tabel 3 Terreinafhankelijke parameters (bron Liddament 1986; Simiu & Scanlan 1986)

Terrein	K	a	$z_0$	d	$\alpha$	$\gamma$
Open en vlak	0.68	0.17	0.03	0.0	1.00	0.15
Verspreide beschuttingen	0.52	0.20	0.1	0.0	1.00	0.15
Landelijk			0.5	0.7 h	0.85	0.20
Stedelijk	0.35	0.25	1.0	0.8 h	0.67	0.25
Stad	0.21	0.33	> 2.0	0.8 h	0.47	0.35

Om een numeriek voorbeeld te geven: veronderstel een gebouw met een hoogte van 7,5 m in een stedelijk gebied (zeg  $z_0 = 1.0$  m en  $d = 6$  m; d.w.z. de stedelijke canopy is ongeveer 26 m hoog) en de windsnelheid is gemeten op 10 m hoog in het vrije veld. Uit lage en hoge schattingen zoals hierboven aangegeven, volgen dan lokale reductiefactoren voor de windsnelheid op nokhoogte:

Exponentieel:	0.58	...	0.79	(-)
Logaritmisch:	<b>0.10</b>	...	0.73	(-)
LBL profiel:	0.62	...	<b>0.85</b>	(-)

## Conclusies & toekomstig werk

In het kader van kwaliteitsbewaking bij gebouwprestatie simulaties, is het duidelijk dat er aandacht moet worden besteed aan de gebruikte weergegevens. Er bestaat een toenemende behoefte aan uitgebreidere weergegevens, zowel in termen van het aantal parameters als in termen van frequentie. Gezien de verschillen in toepassingen, zou een flexibel formaat van bestanden met weergegevens voor de hand liggen. Wellicht dat IBPSA of IBPSA-NVL hier een rol bij kan spelen.

Veel informatie over bestanden met weergegevens is her en der verspreid. Voor de alledaagse praktijk zou het handig zijn om dergelijke informatie te verzamelen en overzichtelijk ter beschikking te stellen; bijvoorbeeld op de IBPSA-NVL website.

Met betrekking tot synthetische referentiejaar versus gemeten tijdreeksen van weergegevens is het overduidelijk dat men voorzichtig moet zijn met de eerst genoemde. Het belangrijkste probleem is dat elk referentiejaar is ontworpen met een bepaald doel voor ogen; bijvoorbeeld voorspellen van jaarlijkse energiebehoefte van een “gemiddeld” gebouw. De validiteit van het referentiejaar wordt minder zodra men iets anders wil; bijvoorbeeld het bepalen van piekbelastingen.

Omdat, zoals hierboven is aangegeven, het aantal van belang zijnde weervariabelen steeds groter wordt zal het steeds moeilijker worden om valide referentiejaar te produceren. Wellicht is het gebruik van werkelijk gemeten tijdreeksen (met de juiste gemiddelde en extreme perioden) de beste oplossing.

ISSO (1999) heeft onlangs het initiatief genomen voor de oprichting van een werkgroep die een of meerdere bestand(en) moet genereren met weergegevens die over een langdurige periode zijn gemeten ten behoeve van gebouwprestatie simulaties. De bedoeling is dat dit bestand in de toekomst regelmatig bijgewerkt zal worden. Wellicht zou IBPSA-NVL hier ook een rol bij kunnen spelen.

Een nauwelijks onderzocht probleem betreft het verschil tussen het micro-klimaat om een gebouw en de weergegevens die meestal elders gemeten zijn. Afgezien van mogelijke beschaduwings door andere objecten, zijn deze verschillen het grootst in termen van temperatuur, windsnelheid en windrichting; d.w.z. de belangrijkste drijvende kracht voor warmte- en massaoverdracht in gebouwen! Dit lijkt een interessant en uitdagend terrein voor verder onderzoek.

## Afkortingen

AES	Atmospheric Environment Service (CA)
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
CEC	Commission of the European Community
CEC	California Energy Commission
CEN	Comite Europeen de Normalisation = European Committee for Standardization
CFD	Computational Fluid Dynamics
CIB	Commission International du Batiment = International Council for Research and Innovation in Building and Construction
CIBSE	Chartered Institution of Building Services Engineers (UK)
CTZ	California Thermal Zones
CWEC	Canadian Weather for Energy Calculations
CWEEDS	Canadian Weather for Energy and Engineering
DRY	Design Reference Year
HRY	Hygrothermal Reference Year
HVAC	Heating, Ventilation and Air-Conditioning
IBPSA	International Building Performance Simulation Association
INSWO	International Surface Weather Observations
IWEC	International Weather for Energy Calculations
EU	European Union
EWY	Example Weather Year (UK)
GRI	Gas Research Institute (USA)
IEA	International Energy Agency
ISO	International Organization for Standardization
NOAA	National Oceanographic and Atmospheric Administration (USA)
REHVA	Federation of European Heating and Air-Conditioning Associations
SAMSON	Solar and Meteorological Surface Observational Network (USA)
SHASE	Society of Heating, Air-conditioning and Sanitary Engineers of Japan
SRY	Short Reference Year (EU)
SWY	Standard Weather Year (Japan)
TRY	Test Reference Year (EU, USA)
VRJ	Verkort Referentiejaar voor buitencondities (NL)
TMY	Typical Meteorological Year (USA, EU)
WTA	Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege (DE)
WYEC	Weather Year for Energy Calculations (USA)

## Literatuur

- R. Aguiar, S. Camelo, and H. Goncalves 1999. "Assessing the value of typical meteorological years built from observed and from synthetic data for building thermal simulation," in Proc. 6th International IBPSA Conference Building Simulation '99 in Kyoto, vol. II, pp. 627-634, International Building Performance Simulation Association.
- A. Argiriou, S. Lykoudis, S. Kontoyiannidis, C.A. Balaras, D. Asimakopoulos, M. Petrakis, and P. Kassomenos 1999. "Comparison of methodologies for TMY generation using 20 years data for Athens, Greece," Solar Energy, vol. 66, no. 1, pp. 33-45.
- R.E. Booth 1969. 1931-1960 monthly, seasonal and annual maps of mean daily maximum, mean daily minimum, mean temperature and mean temperature-range over the British Isles, Meteorological Office, London.
- R.J.A. van der Bruggen 1978. "Energy consumption for heating and cooling in relation to building design," Doctoral dissertation Eindhoven University of Technology (FAGO).
- J.A. Clarke, J.L.M. Hensen, C.M. Johnstone, and I. McDonald 1999. "On the use of simulation in the design of embedded energy systems," in Proc. 6th International IBPSA Conference Building Simulation '99 in Kyoto, vol. I, pp. 113-119, International Building Performance Simulation Association.

- D.B. Crawley 1998. "Which weather data should you use for energy simulations of commercial buildings," in ASHRAE Transactions, vol. 104, Pt 2, American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, GA.
- D.B. Crawley, J.W. Hand, and L.K. Lawrie 1999. "Improving the weather information available to simulation programs," in Proc. 6th International IBPSA Conference Building Simulation '99 in Kyoto, vol. II, pp. 529-536, International Building Performance Simulation Association.
- L.O. Degelman 1991. "A statistically-based hourly weather data generator for driving energy simulation and equipment design software for buildings," in Proc. 2nd International IBPSA Conference Building Simulation '91 in Nice, Sophia-Antipolis, pp. 592-599, International Building Performance Simulation Association.
- DOE-2.1E . <http://gundog.lbl.gov/dirsoft/d2whatis.html>.
- T. Dunovska 1993. "Energy conservation and comfort improvement for a house in Prague via computer simulation," FAGO traineeship report 93.22.K, Eindhoven University of Technology / Czech Technical University of Prague, Eindhoven.
- EnergyPlus . [http://www.eren.doe.gov/buildings/energy\\_tools/energyplus.htm](http://www.eren.doe.gov/buildings/energy_tools/energyplus.htm).
- ESP-r . <http://www.esru.strath.ac.uk/>
- EU 1997. European Solar Radiation Atlas - Solar Radiation on Horizontal and Inclined Surfaces, Springer Verlag GmbH. ISBN 3540611797
- R. Festo and C.F. Ratto 1993. "Proposal of a numerical procedure to select Reference Years," Solar Energy, vol. 50(1), pp. 9-17.
- I.J. Hall, R.R. Prairie, H.E. Anderson, and E.C. Boes 1978. "Generation of Typical Meteorological Years for 26 SOLMET stations," Sandia Laboratories Report SAND 78-1601, Sandia Laboratories, Albuquerque, NM.
- L.G. Harriman, D.G. Colliver, and K. Quinn Hart 1999. "New weather data for energy calculations," ASHRAE Journal, no. March, pp. 31-38.
- J.L.M. Hensen 1991. "On the thermal interaction of building structure and heating and ventilating system," Doctoral dissertation Eindhoven University of Technology (FAGO). (ISBN 90-386-0081-X)
- S.C.M. Hui and K.P. Cheung 1997. "Multi-year (MY) building simulation: is it useful and practical?," in Proc. 5th International IBPSA Conference Building Simulation '97 in Prague, Czech Republic, vol. II, pp. 285-292.
- ISSO 1999. Oproep werkgroep deelname: klimaatgegevens ten behoeve van de installatiesector. Stichting ISSO, Rotterdam.
- M. Janak and I. MacDonald 1999. "Current state-of-the-art of integrated thermal and lighting simulation and future issues.," in Proc. 6th International IBPSA Conference Building Simulation '99 in Kyoto, vol. III, pp. 1173-1180, International Building Performance Simulation Association.
- K. Knight, S. Klein, and J. Duffie 1991. "A methodology for the synthesis of hourly weather data," Solar Energy, vol. 46(2), pp. 109-120.
- A. Ku 1999. "Weather Sources on the Web," in Free Pint, no. 40, June, <http://www.freepint.co.uk/>
- M.W. Liddament 1986. Air infiltration calculation techniques - an applications guide, IEA Air Infiltration And Ventilation Centre (AIVC), Bracknell (UK).
- H. Lund and S. Eidorff 1980. "Selection methods for production of Test Reference Years," Appendix D, Contract 284-77 ES DK, Final Report, EUR 7306 EN, Technical University of Denmark, Thermal Insulation Laboratory, Copenhagen.
- I.A. MacDonald, J.A. Clarke, and P.A. Strachan 1999. "Assessing uncertainty in building simulation," in Proc. 6th International IBPSA Conference Building Simulation '99 in Kyoto, vol. II, pp. 683-690, International Building Performance Simulation Association.
- METEONORM . <http://www.meteotest.ch>.

- N. Nakahara, H. Yoshida, M. Udagawa, and J. Hensen (Editors) 1999. Building Simulation '99. Proceedings of the 6th International IBPSA Conference, 13 - 15 September 1999, International Building Performance Simulation Association, Kyoto. (ISBN 4-931416-01-2, ISBN 4-931416-02-0, and ISBN 4-931416-03-9) Volumes I, II, and III. Also available on CD-ROM.
- NNI 1986. "NEN 5060 Verkort referentiejaar voor buitencondities", Nederlands Normalisatie-instituut, Delft.
- A.H.C. van Paassen 1981. "Indoor climate, outdoor climate and energy consumption: a new approach to the calculation of the effect of the outdoor and indoor climate on the energy consumption in buildings based on methods of statistical analysis," Doctoral dissertation Delft University of Technology.
- J. Page, R.M. Lebens, and D. Bartholomew 1986. Climate in the United Kingdom : a handbook of solar radiation, temperature and other data for thirteen principal cities and towns, H.M.S.O., London.
- M. Santamouris 2001. "Solar energy in the urban environment (guest editorial)," special issue Solar Energy, vol. 30, nr. 3.
- E. Simiu and R.H. Scanlan 1986. Wind effects on structures: an introduction to wind engineering, Wiley-Interscience, Chichester (UK).
- TRNSYS . <http://sel.me.wisc.edu/TRNSYS>
- W. Zeiler, K.E.J. van Dongen en R.J. Mulder 2001. "Klimaatveranderingen kunnen meer overschrijdingsuren geven," in TVVL Magazine, vol. 30, nr. 7/8, pp. 52-54.