

Gebouwprestatiesimulatie en duurzaam energiegebruik

Dit artikel geeft een beeld van de achtergrond en de huidige stand en mogelijkheden van gebouwprestatiesimulatie. Er kan al veel. Toch zijn er nog heel veel uitdagingen. Die betreffen vooral de behoefte aan betere ontwerpondersteuning. Maar er is ook behoefte aan meer ondersteuning voor gebouwregeling en -beheer. Belangrijk hierbij is de nauwkeurige voorspelling van het werkelijk energiegebruik en de modelgebaseerde installatieregeling.

Prof.dr.ir. J.L.M. (Jan) Hensen, Technische Universiteit Eindhoven

INLEIDING

Het ontwerp en beheer van duurzame gebouwen lijken steeds sneller te veranderen. De ons omringende dynamische en complexe processen bieden onderzoekers, praktijkmensen en andere belanghebbenden ontzettend veel uitdagingen. Voorbeelden hiervan zijn: klimaatverandering, het opraken van de voorraden fossiele brandstoffen, de toenemende flexibiliteit van organisaties, de groeiende behoeftes van gebouwgebruikers, de groeiende verwachtingen ten aanzien van comfort en het toenemende bewustzijn van de relatie tussen binnenklimaat en productiviteit. Dit vraagt om een geïntegreerde aanpak van de subsystemen, zoals weergegeven in figuur 1. Het doel is het realiseren van robuuste gebouw- en systeemoplossingen om in toekomstige behoeftes te voorzien.

Wereldwijd zijn er bestuurlijke agenda's die vergelijkbaar zijn met, of zelfs veeleisender dan

het 20-20-20 initiatief van de Europese Unie (in 2020 20% minder energiegebruik dan in 1999, 20% minder CO₂ en de introductie van 20% duurzame energie). De doelstellingen voor 2050 zijn nog veeleisender, zie bijvoorbeeld [1]. De ontwikkeling van energieproducerende gebouwen of wijken is noodzakelijk om de ambitieuze doelstellingen voor duurzaamheid te verwezenlijken. Hiervoor zijn modellen en software nodig waarmee ook gerelateerde domeinen kunnen worden beschouwd, zoals transport en elektriciteitsnetwerken. Alleen zo kan energieproductie en -consumptie in de gebouwde omgeving worden geoptimaliseerd. Naast een hogere duurzaamheid zouden toekomstige gebouwen een aanzienlijk beter binnenklimaat moeten bieden: een positief binnenklimaat dat stimulerend, genezend of ontspannend is, afhankelijk van de functie van het gebouw. Dit levert pas echt 'high-performance'-gebouwen op [2]. De huidige gang van zaken is om slechts minimale eisen (of

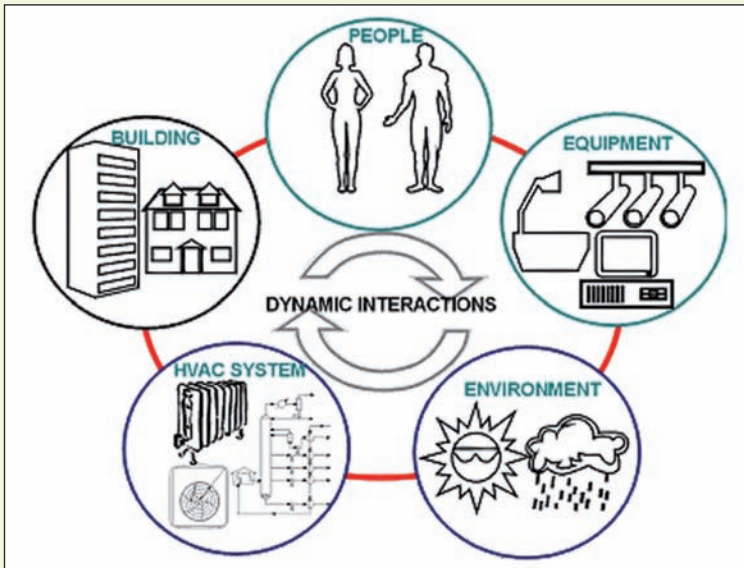
een maximaal aantal ontevredenen) aan het binnenklimaat te stellen (voor bijvoorbeeld temperatuur, luchtkwaliteit, verlichting en geluidsniveaus).

Maar op dit moment ligt de nadruk – zelfs in 'high-performance'-gebouwen – op het reduceren van de energievraag. Gezien het relatief kleine aantal nieuwbouwprojecten (in Europa slechts ongeveer 10% per jaar van de totale bouwvoorraad) is het evident dat de er een enorme hoeveelheid bestaande gebouwen zal moeten worden gerenoveerd om de duurzaamheidsdoelstellingen op tijd te realiseren (zie bijvoorbeeld [3]). Toekomstige projecten, zowel nieuwbouw als renovatie, bieden dus enorme uitdagingen die te complex zijn om op traditionele wijze en met traditionele ontwerptools te worden aangepakt.

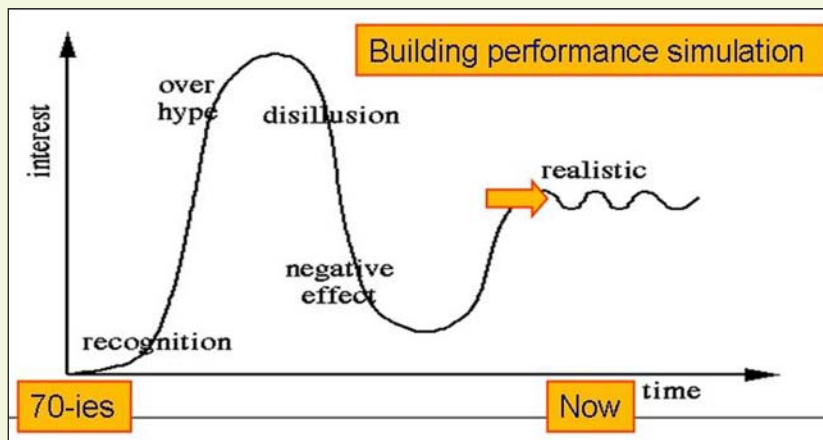
GEBOUWPRESTATIESIMULATIE

Computersimulatie is vandaag de dag één van de meest krachtige analysehulpmiddelen. Het wordt gebruikt om van alles te simuleren, van computerspellen en economische groei tot technische problemen. Zowel de kracht als de complexiteit van gebouwprestatiesimulatie zit in het grote aantal onderliggende theorieën vanuit verschillende disciplines. Dit zijn met name de disciplines natuurkunde, wiskunde, materiaalkunde, biofysica, gedrags-, milieu- en

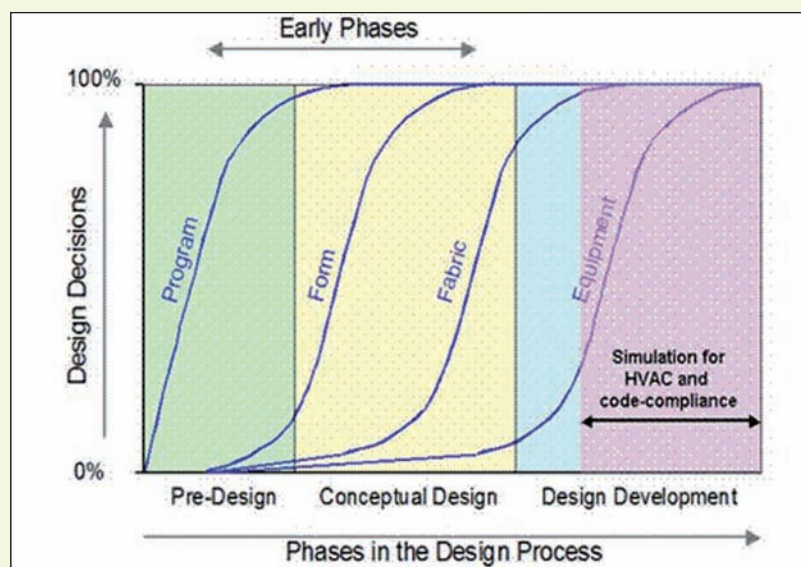
Dit artikel is een vertaling van de Rehva Clima 2010 paper "*Building Performance Simulation for Sustainable Energy Use in Buildings*", door ir. P.M. (Petra) Briggen, werkzaam bij Peutz bv en ir. L. (Lisje) Schellen, promovenda bij de unit Building Physics & Systems van de TU Eindhoven. Het artikel is gebaseerd op het inleidende hoofdstuk van '*Building Performance Simulation for Design and Operation*', J. Hensen en R. Lamberts (Eds), Taylor & Francis, Oxford, 2011.



-Figuur 1- Dynamische interacties van (voortdurend veranderende) subsystemen in een gebouwomgeving.



-Figuur 2- Hype-cyclus van gebouwprestatiesimulatie als technologie.



-Figuur 3- Huidig gebruik van gebouwprestatiesimulatie in de praktijk.

computerwetenschappen.

Zoals vele andere technologische ontwikkelingen heeft gebouwprestatiesimulatie een zogenaemde hype-cyclus [4] ondergaan, zoals weergegeven in figuur 2. De 'erkenning' vond plaats in het begin van de jaren zeventig. In de jaren tachtig was er de piek van te hoge verwachtingen, gevolgd door het dieptepunt van 'teleurstelling'. Nu kunnen we echter stellen dat gebouwprestatiesimulatie in zijn algemeenheid al bijna twee decennia toeneemt in productiviteit.

De International Building Performance Simulation Association (Ibpsa – www.ibpsa.org) heeft daarbij een belangrijke rol gespeeld. Eén van de belangrijkste doelen van deze organisatie is om de praktijk bewust te maken van gebouwprestatiesimulatie en tegelijkertijd zowel te hoge als te lage verwachtingen te voorkomen.

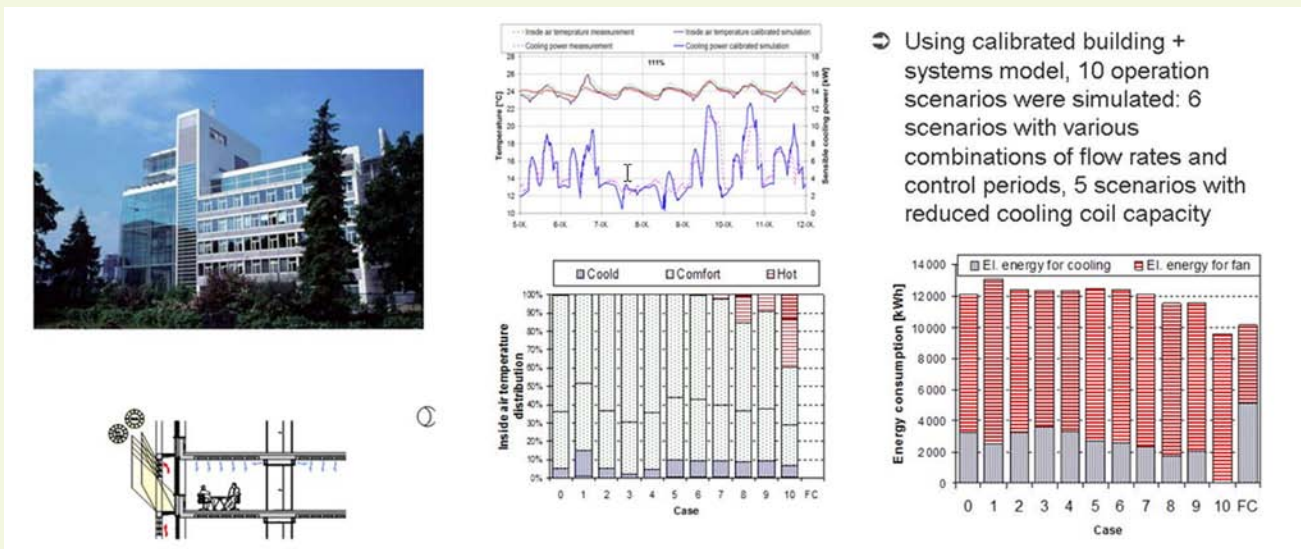
Gebouwsimulatie als discipline ontwikkelt zich voortdurend en de software wordt continu verbeterd en aangevuld om bijvoorbeeld de robuustheid en het voorspellend vermogen van de modellen te verbeteren. Daardoor ligt de nadruk bij verdere ontwikkelingen inmiddels niet meer bij de software zelf maar bij de manier waarop gebouwprestatiesimulatie effectiever zou kunnen worden ingezet in de verschillende processen gedurende de gehele levenscyclus van gebouwen.

Verdere ontwikkeling, evaluatie, gebruik in de praktijk en standaardisatie van modellen en programma's winnen dus steeds meer aan belang. Dit komt duidelijk naar voren in bijvoorbeeld de duurzaamheidsbeoordeling van gebouwen die momenteel over de hele wereld worden gepromoot. Te denken valt hierbij aan LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) en Breeam (Building Research Establishment Environmental Assessment Method), aan stimuleringsprogramma's zoals EAct (Energy Policy Act) in de Verenigde Staten en aan regelgeving zoals de Europese EPBD (Energy Performance of Buildings Directive).

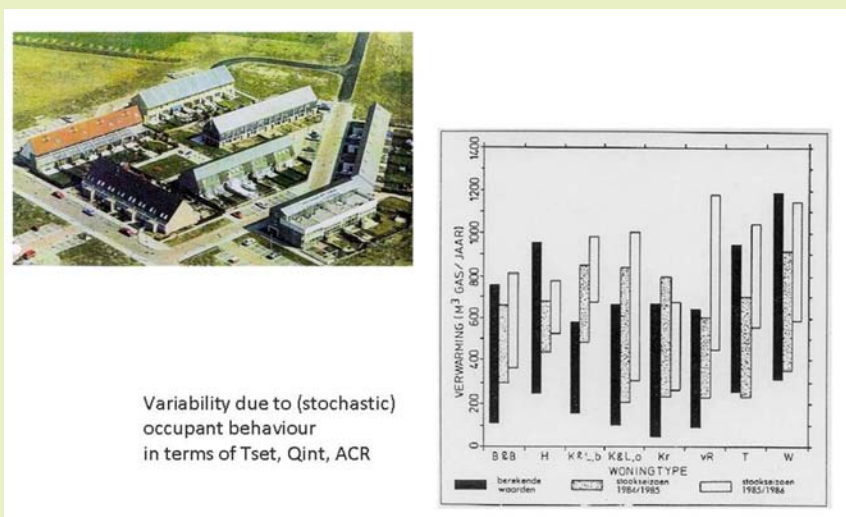
■ HUIDIG GEBRUIK

Het voorspellen en analyseren van toekomstig gedrag (en daarmee rekening houden bij het ontwerp) is veel efficiënter en economischer dan het achteraf oplossen van problemen. Toch wordt gebouwprestatiesimulatie in de praktijk verrassend weinig toegepast. Dit beperkt zich in het algemeen tot de fase van het definitieve ontwerp, zoals aangegeven in figuur 3.

De typische toepassingen van gebouwprestatiesimulatie beperken zich bovendien tot aspecten zoals gevelontwerp, voorspelling van temperatuuroverschrijdingen in de zomer en



-Figuur 4- Voorbeeld van simulatieresultaten voor comfort, koellast en energiegebruik van een energiezuinig kantoorgebouw in Praag waarbij tien klimaatregelingsscenario's onderling zijn vergeleken [6].



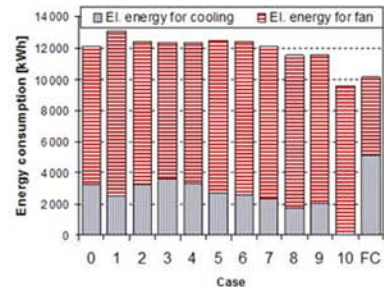
-Figuur 5- Variabiliteit in werkelijk en voorspeld gasgebruik voor ruimteverwarming van acht verschillende typen Nederlandse energiezuinige woningen. Deze variabiliteit wordt veroorzaakt door onzekerheden in het gebruikersgedrag over ruimtetemperatuur, interne warmtelast en infiltratiedebiet. [9]

koellastberekeningen voor dimensionering van de installatie (figuur 4 als voorbeeld). Figuur 4 komt uit een studie waarbij simulatie is gebruikt voor het installatieontwerp. In werkelijkheid worden dit soort studies maar zelden uitgevoerd. Het is nog steeds gangbaar om hiervoor traditionele ontwerp tools te gebruiken. Samenvattend kan worden gesteld dat gebouwprestatiesimulatie in de huidige bouwpraktijk grotendeels beperkt blijft tot de analyse van één ontwerp oplossing: de controle van het definitieve ontwerp. De impact van gebouw simulatie zou veel groter zijn als deze methode al eerder in het ontwerp proces voor optimalisatiestudies wordt gebruikt. Ter illustratie kan dienen de Cibse [7] ontwerpstrategie voor milieuvriendelijk en toekomstbestendig ontwerpen. Samengevat bestaat deze uit de

- volgende opeenvolgende stappen:
1. Schakel uit = verminder interne en externe (zon) thermische belasting.
 2. Spreid uit = vergroot gebruik van thermische massa.
 3. Blaas weg = gebruik (natuurlijke) ventilatie wanneer mogelijk.
 4. Koel wanneer het nodig is = aarzel niet om wat extra (mechanische) koeling toe te passen, zodat het gebouw is voorbereid op toekomstige klimaatveranderingen.

De eerste drie stappen hebben vooral betrekking op ontwerpbeslissingen die gerelateerd zijn aan het programma van eisen, de vorm van het gebouw en de materialisatie. De effecten hiervan kunnen eigenlijk alleen goed worden voorspeld met computersimulatie. Afgezien van ontwerpgerelateerde toepassingen, is

Using calibrated building + systems model, 10 operation scenarios were simulated: 6 scenarios with various combinations of flow rates and control periods, 5 scenarios with reduced cooling coil capacity



er in toenemende mate belangstelling – in de praktijk en onderzoek – voor toepassing van simulatie bij en na de oplevering van het gebouw; bijvoorbeeld voor commissioning en voor beheer en regeling. In de praktijk komt dit nu nog niet veel voor. Maar de verwachting is een sterke groei van deze toepassing in het volgende decennium. De twee belangrijkste redenen hiervoor zijn:

1. het huidige (aanzienlijke) verschil tussen voorspeld en werkelijk energiegebruik van gebouwen;
2. de opkomst van nieuwe businessmodellen die zijn gebaseerd op (energie)prestatie gedurende de gehele levenscyclus van het gebouw.

■ KWALITEITSBEWAKING

Kwaliteitsbewaking is een belangrijk en voortdurend punt van aandacht. De kwaliteit van simulatieresultaten hangt uiteraard af van de fysische correctheid van het gebruikte model. Ondanks dat [8] niet gerelateerd is aan gebouwsimulatie, lijkt de conclusie van dat onderzoek ook voor ons domein geldig te zijn. Volgens dit onderzoek is het namelijk niet mogelijk om een model en de resultaten ervan volledig te valideren; we kunnen alleen proberen om het vertrouwen in een model te verbeteren. Het nog steeds lopende 'Bestest'-initiatief behelst een belangrijke internationale inspanning binnen het domein van de gebouwde omgeving om het vertrouwen in simulatieresultaten te vergroten. De voortgang hiervan blijkt uit het feit dat de methode ondertussen is opgenomen in normen en richtlijnen, zoals in de Ashrae Standard Method of Test SMOT 140. Merkwaardigerwijze is het in de praktijk nog steeds niet gebruikelijk om de betrouwbaarheid (sintervallen) van simulatieresultaten aan te geven. Dit is vreemd, omdat

het al lang bekend is dat bijvoorbeeld zowel het werkelijke als voorspelde energiegebruik bij energiezuinige gebouwen extreem afhankelijk is van onzekerheden in het bewonersgedrag, zoals geïllustreerd in figuur 5. Bewoner/gebruiker en bewoning/gebruik gerelateerde aspecten worden vaak onderschat in gebouwprestatiesimulatie.

Simulatie is veel effectiever wanneer het wordt gebruikt voor het voorspellen van bijvoorbeeld de relatieve prestatie van ontwerpvarianten dan het voorspellen van de absolute prestatie van één ontwerpvariant.

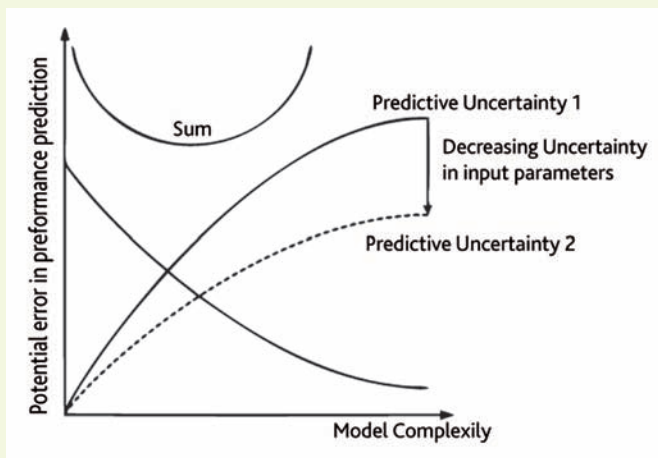
In de praktijk wordt ook vaak een te complex model met een hoge resolutie (zoals computational fluid dynamics (CFD)) gebruikt voor toepassingen waarin een minder complexe methode met een lagere resolutie voldoende en veel effectiever zou zijn. Het is een wijd verbreid misverstand dat het verhogen van de complexiteit van het model nauwkeurigere resultaten oplevert. In werkelijkheid wordt de betrouwbaarheid van simulatieresultaten minder naarmate de complexiteit meer afwijkt van een (overigens niet zo eenvoudig/eenduidig te bepalen) optimum. Dit is weergegeven in figuur 6.

Deze problematiek is een onderdeel van 'conceptueel modelleren': het proces van het abstraheren van een werkelijk of voorgesteld systeem tot een mode.

[10] stelt terecht dat: "All simulation models are simplifications of reality.... The issue in conceptual modelling is to abstract an appropriate simplification of reality..... The overarching requirement is the need to avoid the development of an overly complex model. In general, the aim should be: to keep the model as simple as possible to meet the objectives of the simulation study."

Dit impliceert dat voor hetzelfde fysische ding (bijvoorbeeld een gebouw, gevel of installatiecomponent) een andere modelaanpak zou moeten worden gekozen, afhankelijk van de bedoeling van de simulatie. [11] weidt hierover uit voor studies die zijn gebaseerd op simulatie van gebouwinstallaties.

Degenen die simulaties (gaan) uitvoeren dienen zich ervan bewust te zijn dat simuleren een vaardigheid is die moet worden geleerd. De belangrijkste stap/voorwaarde is om voldoende kennis van het vakgebied te verkrijgen/hebben. Vervolgens is het van belang om kennis en ervaring op te doen van aannames en beperkingen van modelleren en simuleren. Alleen met deze gecombineerde kennis is het mogelijk om te bepalen wanneer simulaties kunnen worden gebruikt en wanneer niet. In het kader van gebruikersaspecten van kwaliteitscontrole is het heel goed om te zien



-Figuur 6- Mogelijke voorspellingsfouten als functie van de complexiteit/resolutie van het model [11].

dat beroepsorganisaties zoals Ashrae en de Illuminating Engineering Society van Noord-Amerika (Iesna) samenwerken met Ibpsa aan de ontwikkeling van een Energy Modeling Professional certificeringprogramma. Het doel van deze certificering is het waarborgen van de individuele bekwaamheid. Deze bekwaamheid heeft betrekking op het evalueren, kiezen, gebruiken, kalibreren en interpreteren van simulatieresultaten die worden verkregen met energiemodelleringssoftware om de energieprestatie van gebouwen te voorspellen. Daarnaast wordt de individuele competentie gecertificeerd voor het modelleren van nieuwe en bestaande gebouwen en systemen met al hun bijbehorende fysische eigenschappen.

DANKBETUIGING

Dit artikel is voornamelijk gebaseerd op het inleidende hoofdstuk in [12]. Dit boek, dat door meerdere auteurs is geschreven, heeft als doel om een veelomvattend en diepgaand overzicht te geven van een groot aantal aspecten die betrekking hebben op gebouwprestatie-modelleren en simulatie. Te denken valt daarbij aan de rol van simulaties binnen het ontwerp-proces, randvoorwaarden voor binnen- en buitenklimaat, modelleren van warmte- en luchttransport thermisch comfort, akoestiek, daglicht, vocht, gebouwinstallaties, microgeneratiesystemen, gebouwssimulatie voor gebouwbeheerautomatisering, modelleren en simulatie op stedelijk niveau en gebouwssimulatie voor beleidsondersteuning. Tot slot geeft het boek een toekomstvisie voor gebouwmodelleren en -simulatie.

REFERENTIES

1. Lund, H. and Mathiesen, B.V. (2009) 'Energy system analysis of 100% renewable energy systems - The case of Denmark in years 2030 and 2050', Energy 34(5): 524-531.
2. Green, H.L. (2009) 'High-performance buildings', Innovations: Technology,

Governance, Globalization 4(4): 235-239.

3. Petersdorff, C., Boermans, T. and Harnisch, J. (2006) 'Mitigation of CO₂ emissions from the EU-15 building stock. Beyond the EU directive on the energy performance of buildings', Environmental Science and Pollution Research 13(5): 350-358.
4. Fenn, J. and Raskino, M. (2008) Mastering the hype cycle: how to choose the right innovation at the right time, Harvard Business Press.
5. Torcellini, P.A. and Ellis, P.G. (2006) 'Early-phase design methods', Center for Buildings and Thermal Systems at National Renewable Energy Laboratory (NREL)
6. Lain, M., Bartak, M., Drkal, F., and Hensen, J. (2005) 'Computer simulation and measurements of a building with top-cooling', in Proceedings of the 9th International IBPSA Conference, Montreal, Canada. pp: 579-586.
7. CIBSE (2005) 'Climate change and the indoor environment: impacts and adaptation', Chartered Institute of Building Services Engineers, publication M36, London, UK.
8. Robinson, S. (1999) 'Simulation verification, validation and confidence: a tutorial', Transactions of the Society for Computer Simulation International 16(2): 63-69.
9. Hensen, J.L.M. (1987) 'Energieproeftuin: resultaten na twee stookseizoenen', Bouw 42(3): 38-41
10. Robinson, S. (2008) 'Conceptual modelling for simulation Part I: definition and requirements', Journal of the Operational Research Society. 59(3): 278-290.
11. Trcka, M. and Hensen, J.L.M. (2010) 'Overview of HVAC system simulation', Automation in Construction 19(2): 93-99.
12. Hensen, J.L.M. and Lamberts, R. (eds) (2011). Building Performance Simulation for Design and Operation, Taylor & Francis, Oxford