

Energiebesparende gebouwcomponenten

Ontwerpteam die energiezuinige gebouwen willen realiseren hebben de beschikking over een veelheid van maatregelen en systemen die kunnen helpen om gebouwen efficiënt met energie te laten omgaan. Het maken van een keuze uit al deze opties is echter een complexe aangelegenheid: de energetische prestatie van de meeste opties hangt sterk af van het gebouw waarin deze wordt geïntegreerd, terwijl ook zaken als bewonersgedrag en buitenklimaat een sterke invloed hebben. Verder spelen naast energiegebruik ook andere factoren als thermisch comfort een belangrijke rol. Gezien deze complexiteit zou men verwachten dat de keuze van energiebesparende gebouwcomponenten rekenkundig wordt onderbouwd. In de praktijk blijkt dit echter slechts zelden het geval te zijn. Een promotieonderzoek aan de TU Delft [1] heeft de huidige praktijk in kaart gebracht en heeft oplossingen ontwikkeld om tot verbetering te komen.

-door Pieter de Wilde* en Marinus van der Voorden**

Energiebesparing is een belangrijk wereldprobleem. De mensheid krijgt in toenemende mate te maken met het feit dat de voorraad fossiele brandstof eindig is, terwijl het gebruik van fossiele brandstof bijdraagt aan milieuvervuiling [2]. De gebouwde omgeving speelt hierin een belangrijke rol: gebouwen staan overal, en gebruiken vrijwel altijd energie voor verwarming, koeling en verlichting. In de westerse wereld is de gebouwde omgeving verantwoordelijk voor ongeveer een derde van de totale energiebehoefte [3].

Om gebouwen efficiënter met energie te laten omspringen is in het recente verleden een uitgebreide set van maatregelen en systemen ontwikkeld, die de energiebehoefte van gebouwen helpen te verminderen. Gebouwen helpen om duurzame energiebronnen zoals de zon te benutten, en die het gebruik

van fossiele brandstof tenminste zo efficiënt mogelijk maken. Het merendeel van deze maatregelen en systemen heeft een tastbare vorm en kan worden aangeduid als 'energiebesparende componenten' (zie figuur 1). Voorbeelden hiervan zijn warmtepompen, serres, geavanceerde raamsystemen, thermische isolatiedekens etc. Zie bijvoorbeeld Lewis and Goulding [4] voor een globaal overzicht.

De keuze van energiebesparende componenten is een complexe beslissing. Behalve het aspect energiegebruik, spelen ook andere factoren zoals thermisch comfort, binnenluchtkwaliteit en dergelijke een rol. Daarnaast is het effect van de meeste componenten afhankelijk van de interactie tussen het specifieke gebouw en de component, en beïnvloeden parameterkeuzes (van zowel gebouw als component) de prestatie. Verder hebben ook zaken als

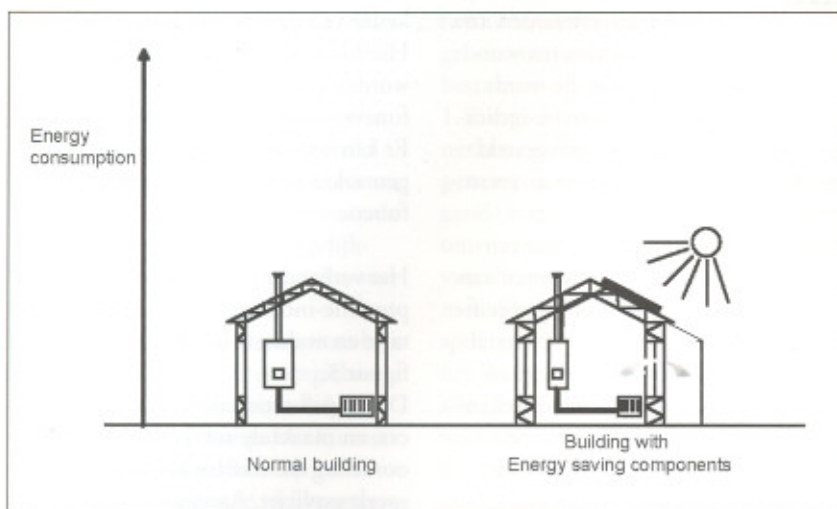
bewonersgedrag en optredend buitenklimaat een belangrijke invloed.

Een instrument als gebouwsimulatie lijkt een geschikt hulpmiddel om de keuze van energiebesparende componenten te onderbouwen: hiermee kan namelijk gedetailleerde informatie over het gedrag van nog ongerealiseerde gebouwen worden verkregen, en kunnen verschillende ontwerpvarianten op een objectieve wijze worden vergeleken. In de praktijk blijkt het gebruik van dergelijke instrumenten echter niet aan deze verwachtingen te voldoen [zie bijvoorbeeld 5, 6, 7, 8]. Daarom is bij de TU Delft, Faculteit Bouwkunde, Sector Bouwfysica een promotieonderzoek uitgevoerd dat als doel had om een strategie te ontwikkelen waarmee tijdens het ontwerpproces een rationele keuze van energiebesparende componenten rekenkundig kan worden ondersteund. Het onderzoek bestond uit de volgende deelonderzoeken:

1. analyse van huidige energiezuinige bouwprojecten;
2. ontwikkeling van een aanpak om tot een onderbouwde keuze van energiebesparende componenten te komen;
3. analyse van de geschiktheid van instrumenten om het keuzeproces te ondersteunen, en ontwikkeling van ideeën om deze instrumenten te verbeteren;
4. ontwikkeling van een strategie en een prototype die tijdens het ontwerpproces rekenkundige ondersteuning bieden voor het maken van een rationele keuze van energiebesparende gebouwcomponenten.

* TNO Bouw, Afdeling Duurzame Energie en Gebouwen, voorheen TU Delft

** Technische Universiteit Delft, Faculteit Bouwkunde, Sector Bouwfysica



Gebouw zonder en met energiebesparende componenten.

- FIGUUR 1 -

Dit artikel beschrijft de belangrijkste bevindingen van het promotieonderzoek; voor meer informatie wordt verwezen naar het bijbehorende proefschrift [1].

ANALYSE VAN HUIDIGE ENERGIEZUINIGE BOUWPROJECTEN

De analyse van huidige energiezuinige bouwprojecten werd uitgevoerd bij gebrek aan objectieve informatie over de wijze waarop energiebesparende gebouwcomponenten momenteel in de praktijk worden gekozen, en welke rol simulatieprogramma's bij deze keuze spelen. Het doel van de analyse was om voor een aantal recent gerealiseerde prestigieuze energiezuinige gebouwen in Nederland na te gaan hoe de keuze van energiebesparende gebouwcomponenten tot stand is gekomen, en welke rol instrumenten speelden bij die keuze [9, 10, 11].

Om dit doel te bereiken zijn drie casestudy's en een enquête uitgevoerd. De casestudy's hadden betrekking op het ontwerpproces van de volgende drie gebouwen: het Hoogheemraadschap van Rijnland (Leiden), ECN Gebouw 42 (Petten), en het Dynamisch Kantoor (Haarlem). Zie figuur 2a, b en c. De enquête werd uitgevoerd onder archi-

tecten en adviseurs van een 70-tal projecten, het maximum aantal waarvan voldoende informatie over toepassing van energiebesparende componenten in de gebouwen beschikbaar was in vakbladen. De cases verschaften diepgaande informatie over de gang van zaken in de drie bouwprojecten. De enquête toonde aan dat de bevindingen op basis van deze drie projecten representatief waren voor een grotere groep energiezuinige bouwprojecten.

De bevindingen van de casestudy's en de enquête laten zien dat simulatieprogramma's geen belangrijke rol spelen bij de keuze van energiebesparende gebouwcomponenten, aangezien deze instrumenten pas na de keuze van deze componenten worden ingezet. Bovendien worden zij voor andere doeleinden gebruikt (voor optimalisatie en controle van aannames in plaats van voor het onderbouwen van keuzes). Energiebesparende gebouwcomponenten worden momenteel meestal gekozen op basis van analogie: de keuze wordt dan beargumenteerd met het eerdere gebruik van dezelfde energiebesparende gebouwcomponent in een ander gebouw van dezelfde architect of adviseur, of wordt gebaseerd op toepassing in andere voorbeeldgebouwen. Daarmee lijkt de keuze van energiebespa-

rende gebouwcomponenten vooral plaats te vinden via eenvoudige, heuristische beslissingsregels. Het lijkt echter beter om multi-criteria methoden te gebruiken, om daarmee zeker te stellen dat meerdere eisen aan gebouw en energiebesparende gebouwcomponenten worden meegenomen in het keuzeproces. Om dit te bereiken dienen zowel het keuzeproces als de instrumenten die dat keuzeproces ondersteunen te worden verbeterd.

EEN AANPAK VOOR EEN ONDERBOUWDE KEUZE VAN ENERGIEBESPARENDE GEBOUWCOMPONENTEN

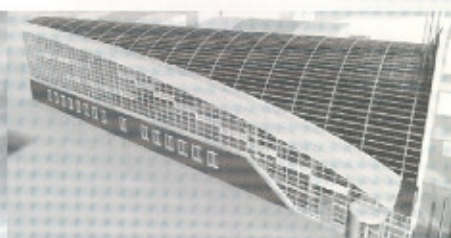
De ontwikkeling van een aanpak voor het onderbouwd kiezen van energiebesparende gebouwcomponenten had tot doel om het keuzeproces te verbeteren. Eisen en randvoorwaarden voor het maken van een onderbouwde keuze zijn in kaart gebracht en benut om bestaande theorieën voor het maken van ontwerpkeuzes te beoordelen [12, 13].

Met gebruikmaking van toepasbare elementen uit de vakgebieden systems engineering, besliskunde en ontwerpmethodologie [zie bijvoorbeeld 14, 15, 16] is een prestatiegerichte aanpak voor het kiezen van energiebesparende gebouwcomponenten ontwikkeld, die bestaat uit de volgende stappen:

1. Definitie van een ontwerpruimte. Hiermee wordt vastgelegd welke combinaties van een gebouwontwerp met één of meer energiebesparende componenten in de keuze zullen worden meegenomen. Opgemerkt moet worden dat in de huidige praktijk deze ontwerpruimte meestal slechts één element bevat. Het expliciet definiëren van een ontwerpruimte zal het ontwerpteam aansporen om breder te zoeken. Verder wordt opgemerkt dat de keuze van de elementen van de ontwerpruimte nog steeds op basis van ervaring en intuïtie zal verlopen; de verdere stappen van de aanpak garan-



Rijnland (a),



ECN Gebouw 42 (b)



Dynamisch Kantoor (c).

- FIGUUR 2 -

deren echter dat een keuze tussen deze opties echter rationeel zal verlopen. Overigens kan de aanpak er ook toe leiden dat alle ontwerpopties worden verworpen, waarna verder moet worden gezocht.

2. Identificatie van de relevante functies van alle elementen van de ontwerpruimte, wat ertoe moet leiden dat het ontwerpteam een keuze maakt op basis van meerdere criteria. Zo zal naast energiebesparing vaak ook naar thermisch comfort dienen te worden gekeken.

3. Specificatie van prestatie-indicatoren, doelen, eisen en identificatie van randvoorwaarden. Prestatie-indicatoren geven aan hoe het vervullen van een functie kan worden gekwantificeerd. Elke prestatie-indicator kan worden gemeten langs een schaal; op deze

schaal geven doelen streefwaarden aan, eisen grenswaarden die moeten worden gehaald. Een functie die wordt gemeten middels een prestatie-indicator waar harde eisen aan zijn gesteld geeft randvoorwaarden weer waaraan moet worden voldaan.

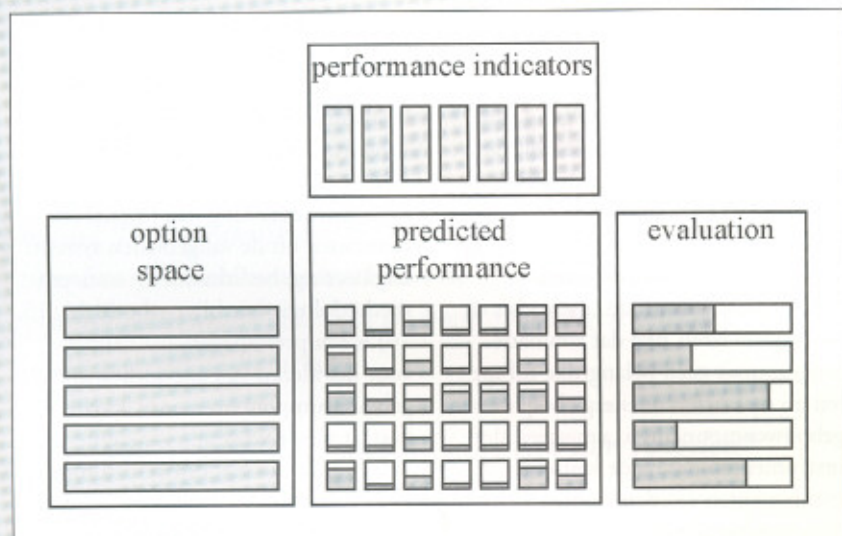
4. Voorspelling van de prestatie van alle ontwerpopties c.q. elementen van de ontwerpruimte, voor alle gespecificeerde prestatie-indicatoren. Meestal zal dit gebeuren door het uitvoeren van een (virtueel) experiment. Rekenprogramma's zijn hierbij het meest voor de hand liggende hulpmiddel, maar er zou eventueel ook gebruik kunnen worden gemaakt van testopstellingen en metingen.

5. Evaluatie van de prestaties, waarbij beoordeeld wordt hoe goed elke optie aan de gestelde criteria voldoet, en

keuze van de meest gunstige optie. Hierbij moet eveneens (subjectief) worden gekozen hoe verschillende functies tegen elkaar worden gewogen. Er kan bijvoorbeeld gebruik worden gemaakt van een additieve waardefunctie.

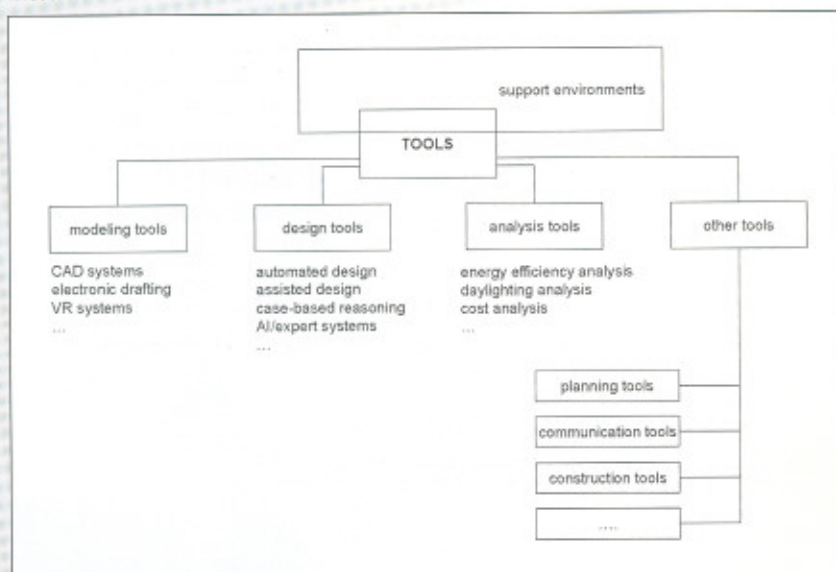
Het verband tussen ontwerpruimte, prestatie-indicatoren, voorspelde prestatie en evaluatie wordt weergegeven in figuur 3.

De aanpak rationaliseert het keuzeproces, en maakt de subjectieve waardebeoordeling die daarbij altijd een rol speelt expliciet. Aangezien de aanpak is gebaseerd op prestatievoorspelling biedt deze aanpak een optimaal uitgangspunt voor het inzetten van instrumenten. De levensvatbaarheid van de aanpak is gedemonstreerd aan de hand van een voorbeeld.



Verband tussen ontwerpruimte, prestatie-indicatoren, prestatie en evaluatie.

FIGUUR 3-



Diverse categorieën van instrumenten die een rol kunnen spelen bij de selectie van energiebesparende bouwcomponenten.

FIGUUR 4-

ANALYSE EN VERBETERING VAN DE INSTRUMENTEN

Nadat een procedure voor het maken van een onderbouwde keuze was ontwikkeld was de volgende stap om de instrumenten die deze procedure moesten ondersteunen te onderzoeken, en ideeën over verbetering van deze instrumenten te ontwikkelen [17, 18]. Hiertoe is eerst in kaart gebracht welke categorieën van instrumenten er zoal bestaan. Hierbij is een indeling gehanteerd die onderscheid maakt tussen de volgende categorieën: modelleerinstrumenten, ontwerpinstrumenten, ondersteunende omgevingen en overigen. Zie figuur 4. Deze worden als volgt gedefinieerd: modelleerinstrumenten helpen om een ontwerp weer te geven en te presenteren. Ontwerpinstrumenten helpen om nieuwe ontwerpvarianten te ontwikkelen. Analyse-instrumenten zijn geschikt om eigenschappen en prestaties van een gegeven gebouw of gebouwontwerp te bepalen. Ondersteunende omgevingen helpen bij het inzetten van andere instrumenten, bijvoorbeeld door toegankelijk maken van instrumenten via een speciaal gebruikersinterface, het aanbieden van gezamenlijke databases voor verschillende programma's enz. Daarnaast is er nog een categorie van overige instrumenten, zoals planning-instrumenten, communicatiehulpmiddelen enz.

Voor wat betreft het maken van een onderbouwde selectie van energiebe-

sparende componenten blijken analyse-instrumenten en ondersteunende omgevingen het meest van belang. Bestaande instrumenten in deze twee categorieën zijn dan ook beoordeeld op hun inzetbaarheid in de procedure voor het maken van een onderbouwde keuze; tevens zijn verbetermogelijkheden voor deze twee categorieën ontwikkeld.

Bestaande simulatie-instrumenten blijken in staat de keuze van energiebesparende componenten aan de hand van de ontwikkelde aanpak te kunnen ondersteunen, maar alleen op voorwaarde dat er voldoende tijd en expertise aanwezig is voor het benodigde modelleren- en simulatiewerk. Simulatie-instrumenten kunnen worden verbeterd door per instrument te analyseren welke gebouwvarianten en -systemen met dat instrument kunnen worden bestudeerd, in termen van welke prestatie-indicatoren. Het identificeren en toegankelijk maken hiervan wordt in het proefschrift reverse-engineeren van simulatie-instrumenten genoemd. Ondersteunende omgevingen zijn nog in ontwikkeling en zijn nog niet breed toegepast. Zij kunnen een belangrijke rol spelen bij de toepassing van simulatie-instrumenten door een set van inzetbare instrumenten te bevatten, evenals een selectiemechanisme dat gebruikers helpt om het juiste (analyse) instrument voor een bepaalde (analyse) taak te vinden.

EEN STRATEGIE EN PROTOTYPE VOOR HET KIEZEN VAN ENERGIEBESPARENDE GEBOUWCOMPONENTEN

Het doel van het in het proefschrift beschreven onderzoek was het ontwikkelen van een strategie om tijdens het ontwerpproces rekenkundige ondersteuning te bieden voor het maken van een rationele keuze van energiebesparende gebouwcomponenten, en het bouwen van een prototype dat de levensvatbaarheid van die strategie demonstreert. Om dit doel te bereiken werden de hiervoor omschreven ideeën over verbetering van het keuzeproces en van ondersteunende instrumenten gecombineerd. Deelname in een internationaal onderzoeksproject, het Design Analysis Interface (DAI)-Initiative, verschaftte de elementen die nodig waren voor afronding van het onderzoek [19].

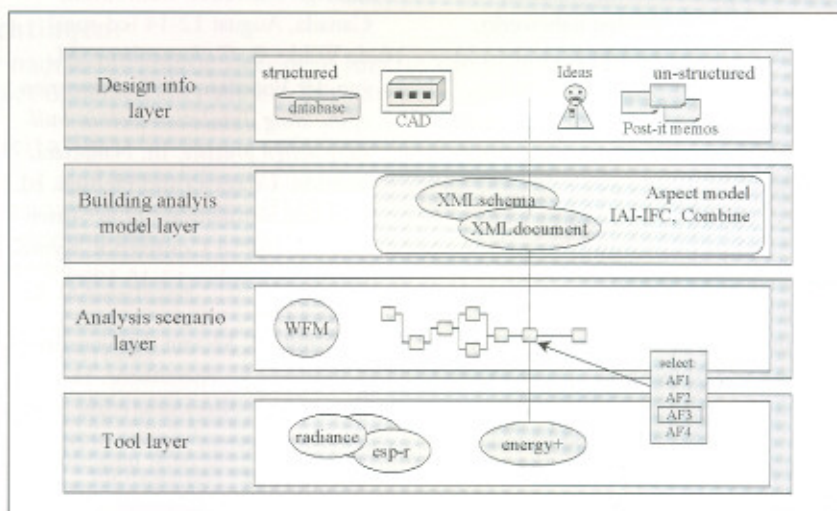
In het proefschrift is een strategie voor

het kiezen van energiebesparende gebouwcomponenten ontwikkeld die bestaat uit de volgende elementen:

1. Energiebesparende gebouwcomponenten moeten worden gekozen volgens een aanpak die bestaat uit de volgende stappen: het definiëren van een ontwerpruimte, het in kaart brengen van alle relevante functies van de elementen van de ontwerpruimte, het specificeren van prestatie-indicatoren, het voorspellen van de prestatie van alle elementen van de ontwerpruimte voor elk van de prestatie-indicatoren, en het evalueren van deze prestaties om tot keuze van de meest gewenste optie te komen.
2. De belangrijkste belemmerende factoren voor het gebruiken van analyse-instrumenten ter onderbouwing van de keuze van energiebesparende gebouwcomponenten zijn de noodzaak tot beschikbaarheid van voldoende tijd en expertise voor het modelleren en simuleren. Dit kan deels worden opgelost door (vanuit het ontwerpproces) het verzoek tot analyse zo expliciet en eenduidig mogelijk te formuleren. Aan de andere kant moeten simulatie-instrumenten worden geconfigureerd (reverse-engineered) om zo adequaat mogelijk op dergelijke specifieke analyseverzoeken te kunnen inspelen.
3. De aanpak voor het kiezen van energiebesparende gebouwcomponenten moet worden geholpen door toepassing van een ondersteunende omgeving dat een mechanisme aanlevert dat gebruikers eenvoudig toegang geeft tot geschikte simulatie-instrumenten om de benodigde analysetaken uit te voeren.

Er is een prototype Design Analysis Interface (DAI) – Werkbank [20] ontwikkeld, dat de haalbaarheid van betere integratie van simulatie-instrumenten en ontwerpproces laat zien. Dit prototype is gestoeld op een gelaagde opzet, waarbij de procesdimensie centraal staat. Het prototype demonstreert de levensvatbaarheid van de strategie om tijdens het ontwerpproces rekenkundige ondersteuning te bieden voor het maken van een rationele keuze van energiebesparende gebouwcomponenten. In het prototype verzorgt het concept van analyse, functies voor de koppeling tussen proces en simulatietools. Een analysefunctie specificeert precies welke prestatie-indicator door de analyse moet worden berekend; daardoor kan een analysefunctie een koppeling leggen tussen specifieke analysetaken aan voor deze analysetaken geschikte simulatie-instrumenten. Het prototype laat zien hoe vanuit een algemeen analyseproces (zoals van toepassing bij de beoordeling van de prestatie van gebouwen met energiebesparende componenten) via analysefuncties, op een logische en maximaal geautomatiseerde manier gebruik kan worden gemaakt van de relevante functies van beschikbare simulatie-instrumenten (zie figuur 5).

Vanzelfsprekend kan volledige onderbouwing van de keuze van energiebesparende gebouwcomponenten pas plaats vinden als de DAI-Werkbank een set van analysefuncties bevat die de meest voorkomende prestatieaspecten van gebouwen met energiebesparende gebouwcomponenten dekt, een set van instrumenten die deze analyses ook daadwerkelijk kan



Structuur van het DAI-Prototype.

FIGUUR 5.

uitvoeren, en koppelingen tussen die analysefuncties en instrumenten.

Het promotiewerk concludeert dat verder R&D-werk naar de integratie van gebouwsimulatie en gebouwonwerp zich vooral dient te richten op de verdere ontwikkeling van ondersteunende omgevingen die nauw aansluiten bij het analyseproces, en die toegang geven tot instrumenten die de belangrijke analysestappen uit dit proces onderbouwen. Het verder reverse-engineeren van simulatie-instrumenten om bij specifieke analysetaken aan te sluiten lijkt een belangrijke factor bij het verhogen van de inzetbaarheid van deze instrumenten.

Participanten in de ontwerppraktijk van morgen hoeven echter niet te wachten tot nieuwe ondersteunende omgevingen beschikbaar komen. Op basis van de ontwikkelde aanpak voor een rationele keuze van energiebesparende gebouwcomponenten kunnen zij met een aantal eenvoudige acties per direct beginnen om tot een beter onderbouwde keuze van energiebesparende componenten te komen. Daarbij valt vooral te denken aan een betere communicatie over wat er precies met simulatie-instrumenten moet worden geanalyseerd; zowel architect als adviseur kunnen bijdragen aan het maken van een keuze uit meerdere opties op basis van meerdere criteria. Een goede discussie over welke gebouwvarianten er precies zullen worden bekeken, welke experimentele condities er op die gebouwvarianten zullen worden losgelaten, wat er in het (virtuele) experiment wordt geobserveerd en hoe de geobserveerde waarden eventueel zullen worden nabewerkt, zal ook op korte termijn al kunnen leiden tot een meer rationele en meer rekenkundig onderbouwde keuze van energiebesparende gebouwcomponenten.

REFERENTIES

1. de Wilde, P., 2004. *Computational Support for the Selection of Energy Saving Building Components*. Proefschrift, Delft: Technische Universiteit Delft, Faculteit Bouwkunde, Sector Bouwfysica
2. Brundtland, G.H. et al., 1987. *Our common future*. Oxford: Oxford University Press
3. International Energy Agency. (2002). *Key world energy statistics* [online]. Available from: <http://www.iea.org/statist/index.htm>.
4. Lewis, J.O., Goulding, J.R., ed., 1999. *European directory of sustainable and energy efficient building 1999 - components, services, materials*. James & James Science Publishers
5. Robinson, D., 1996. *Energy model usage in building design: a qualitative assessment*. Building Services Engineering Research and Technology, 17 (2), 89-95
6. Hand, J.W., 1998. *Removing barriers to the use of simulation in the building design professions*. Proefschrift. University of Strathclyde, Department of Mechanical Engineering, Energy Systems Research Unit, Glasgow, UK
7. Augenbroe, G., 2001. *Building simulation trends going into the new millennium. Keynote*. In: Lamberts, Negrao and Hensen, ed. *Building Simulation '01, 7th International IBPSA Conference*, Rio de Janeiro, Brazil, august 13-15 2001, 15-27
8. Donn, M., Amor, R., Harisson, D., 2001. *A design proposal for an Internet based simulation quality control tool*. In: Lamberts, Negrao and Hensen, ed. *Building Simulation '01, 7th International IBPSA Conference*, Rio de Janeiro, Brazil, august 13-15 2001, 731-738
9. de Wilde, P., G. Augenbroe, M. van der Voorden, 1999(a). *Effective use of building simulation tools as support instrument in building design*. In: Hollands and Wright, ed. North Sun 1999, 8th International Conference on Solar Energy in High Latitudes, Edmonton, Canada, August 12-14 (cd-rom)
10. de Wilde, P., G. Augenbroe, M. van der Voorden, 1999. *Invocation of building simulation tools in building design practice*. In: Nakahara, Yoshida, Udagawa and Hensen, ed. *Building Simulation '99, 6th International IBPSA Conference*, Kyoto, Japan, September 13-15 1999, 1211-1218
11. de Wilde, P., M. van der Voorden, J. Brouwer, G. Augenbroe, H. Kaan, 2001. *Assessment of the need for computational support in energy-efficient design projects in the Netherlands*. In: Lamberts, Negrao and Hensen, ed. *Building Simulation '01, 7th International IBPSA Conference*, Rio de Janeiro, Brazil, august 13-15 2001, 513-520.
12. de Wilde, P., M. van der Voorden, G. Augenbroe, 2001(b). *A strategy to provide computational support for the selection of energy saving components*. In: Lamberts, Negrao and Hensen, ed. *Building Simulation '01, 7th International IBPSA Conference*, Rio de Janeiro, Brazil, august 13-15 2001, 653-660
13. de Wilde, P., G. Augenbroe, M. van der Voorden, 2002. *Design Analysis Integration: supporting the selection of energy saving building components*. Building and Environment, 37, 807-817
14. Blanchard, B.S., Fabrycky, W.J., 1998. *Systems engineering and analysis*. 3rd ed. Upper Saddle River: Prentice Hall
15. French, S., 1993. *Decision theory - an introduction to the mathematics of rationality*. 2nd ed. Chichester: Ellis Horwood Limited
16. Cross, N., 1994. *Engineering design methods*. 2nd ed. Chichester: John Wiley & Sons
17. de Wilde, P., M. van der Voorden, 2003a. *Rethinking the Tools to Support Design of Passive and Low Energy Buildings*. In: Bustamante and Collados, ed. *PLEA'03, 20th International Conference*, Santiago de Chile, Chile, november 9-12 2003, paper F24 (cd-rom)
18. van der Voorden, M., P. de Wilde, G. Augenbroe, 2001. *Beter ontwerp door bouwprestatie-simulatie? Proceedings of the Third IBPSA-NVL Conference*, Petten, the Netherlands, december 2001
19. de Wilde, P., M. van der Voorden, 2003. *Providing computational support for the selection of energy saving building components*. Paper accepted for Energy and Buildings (special issue), 2004
20. Augenbroe G. en de Wilde P., 2003. *Design Analysis Interface (DAI)*. Final Report. Atlanta, USA: Georgia Institute of Technology.