

# Utilitas, energiereductie op ruimteniveau

Installaties in de gebouwde omgeving vragen 40% van de energie in Nederland. Maar de huidige klimaatinstallaties presteren niet conform ontwerp en basisuitgangspunten. Dit blijkt uit onderzoeken van onder meer TNO-Bouw, Halmos, RGD, TVVL en ISSO. Nu is er alleen lokale informatie beschikbaar over de comfortprestaties, maar die moet gekoppeld worden aan globale informatie over het energiegebruik. Daarnaast is een strategie gewenst om meer energie te kunnen besparen met behoud van comfort.

Prof.ir. W. (Wim) Zeiler<sup>1,2</sup>, ir.ing. G. (Gert) Boxem<sup>1</sup>, dr.ir. M.A. (Rinus) van Houten<sup>1</sup>, ir. J.A.J. (Joep) van der Velden<sup>2</sup>, ir.ing. P. (Paul) Noom<sup>2</sup>, ir. J.F.B.C. (Jan-Fokko) Haan<sup>2</sup>, ir. W. (Willem) Wortel<sup>2</sup>, ing. J.W. (Jan Willem) Dubbeldam<sup>2</sup>; <sup>1</sup>TU Eindhoven Faculteit Bouwkunde, unit Building Physics and Systems, <sup>2</sup>Kropman Installatietechniek

Het energiegebruik voor het klimatiseren van utiliteitsbouw neemt af. Hierdoor neemt de invloed van de gebruiker toe (de Groot et al 2008, Spiekman et al 2009). Het streven is nu naar een globaal gebouwoptimum van energie en comfort, in plaats van een lokaal ruimtecomfortoptimum. Hiervoor wordt onderzoek verricht naar het effect van verschillende scenario's voor comfort- en energiegebruikoptimalisatie. De opgedane inzichten zullen gebruikt worden voor de opzet van het systeemconcept PCRL (Process Control on Room Level).

Belangrijk zijn de mogelijkheden om scenario's toe te passen die het menselijk gedrag vertalen in regelstrategieën en energiemanagement op ruimteniveau. Energiemanagement op ruimteniveau wordt gedefinieerd als het meten van energiestromen en het energie efficiënt sturen van installaties op ruimteniveau. Hierbij kan gedacht worden aan het schakelen van verlichting en klimaatvoorzieningen op afwezigheid en het dimmen van verlichting op basis van daglichttoetreding. Ervaring met diverse onderzoeksprojecten leert dat de menselijke

invloed op energiemanagement van grote betekenis is. Zo heeft Kropman tijdens het Europese 5<sup>e</sup> kaderproject 'EBOB' (Energie Efficiënt Behaviour in Office Buildings) [5] samen met onder meer TNO onderzoek gedaan om de invloed van de gebruiker mee te nemen in de energiemanagementstrategie in zogenaamde Forgiving Technologie [1, 2]. Dit is erop gericht om het daadwerkelijk gedrag van de gebruiker als uitgangspunt te nemen en zo de instelling van de technische installaties te optimaliseren.

In onderzoeksprojecten zoals 'Smart' (Smart building Multi-Agent inteRnet Technologie) (Zeiler et al 2002) en 'IIGO' (Intelligent Internet besturing in de Gebouwde Omgeving) [6] zijn de mogelijkheden onderzocht van de toepassing van agent technologie bij comfort- en energiemanagement. Dit leidde tot het inzicht dat de gebruiker een centrale rol speelt bij energiemanagement, zie figuur 1.

## ■ MENSELIJK FACTOREN

Als er onvoldoende rekening wordt gehouden met menselijke factoren, wordt maar een

beperkt deel van de maximaal te behalen energiebesparing gerealiseerd. Dit blijkt uit ervaringen met technologische ontwikkelingsprojecten, zoals 'Smart', 'IIGO' en 'EBOB', die in samenwerking met diverse onderzoeks- en kennisinstituten (ECN, TNO Bouw en TU/e) zijn uitgevoerd. Het is van belang om een integrale benadering te kiezen waarbij juist de menselijke factoren, naast de technische en bouwkundige factoren, worden meegenomen in een plan van aanpak. Hierdoor behoort een maximale energiebesparing wel tot de mogelijkheden.

Centraal in het 'Smart'-project stonden: de optimalisatie van multiparameters, de inzet van open internetstandaarden en de rol van agenttechnologie in de gebouwde omgeving. Bij het laatste ging het om elektronische markten van onderhandelende software-agents voor de optimale sturing van comfort, kosten en energiegebruik. Het Smart-project bevatte alleen een aantal generieke bouwstenen voor internet gestuurd gebouwbeheer, onafhankelijk van specifieke karakteristieken van het gebouw of de gebruikers. De

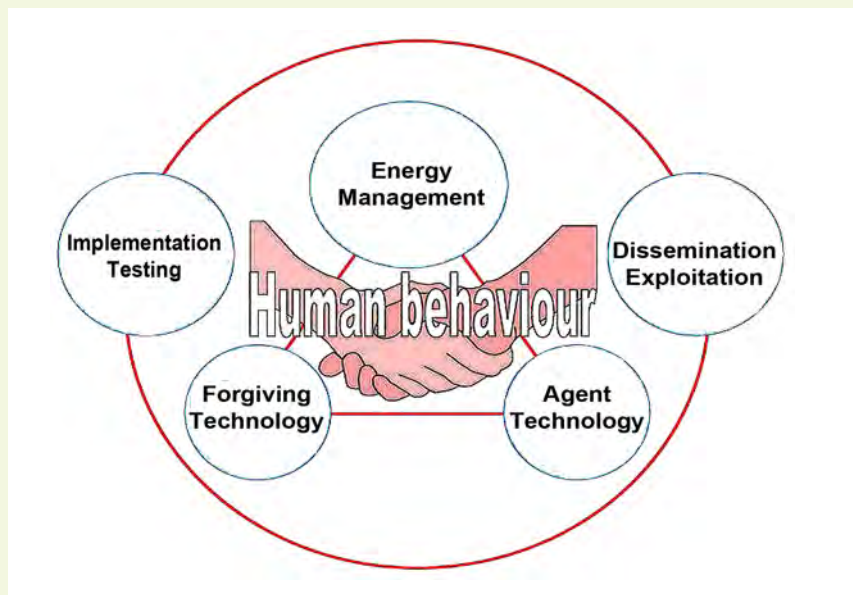
optimalisering van de diverse energiestromen en de verschillende individuele behoeften is nog te onderzoeken. Uit numeriek onderzoek van de Zweden Per Carlsson [8] en Maria Karlsson [7] is gebleken dat er afwijkingen zijn in het verloop van de comfortbehoefte bij het opschrijven van de verwarming in stapjes. De functie verloopt niet concaaf, zoals verwacht. Bij ventilatie treedt deze afwijking nog sterker op. Deze non-concavity bemoeilijkt convergentie in de optimalisatie. Er is daarom nader onderzoek nodig naar het comfortprofiel van de gebruiker om tot een betere afstemming te kunnen komen. Een eerste aanzet is gemaakt in het 'Flexergie'-project, waarin gekeken is naar de optimalisering van verschillende energiestromen [11].

Om de invloed van de gebruiker te illustreren worden de resultaten gegeven van een eerder onderzoek in een kantooromgeving [10]. In vele kantoorgebouwen gelden tegenwoordig geen kledingvoorschriften meer. Daardoor zijn de verschillen in kledingweerstand toegenomen, met als resultaat verschillende individuele wensen voor de condities van het binnenklimaat. Om deze verschillen aantoonbaar te maken, zijn er experimenten uitgevoerd in een kantoorgebouw. De werknemers werden gedurende een aantal weken, zonder hiervan op de hoogte te zijn, blootgesteld aan een binnenklimaat. Aan het eind van deze periode werd het binnenklimaat beoordeeld met behulp van een enquête. Deze toetsing is een aantal keer herhaald onder verschillende omstandigheden van het binnenklimaat. In figuur 2 is de beleving van 18 personen weergegeven gedurende het verloop van een dag, waarbij de condities nagenoeg identiek waren. Ieder uur werd de gebruiker gevraagd naar zijn comfortbeleving en werden de actuele waarden gemeten. De PMV is weergegeven van -3, koud, tot +3, warm. De waarde 0 geeft de maximale tevredenheid aan.

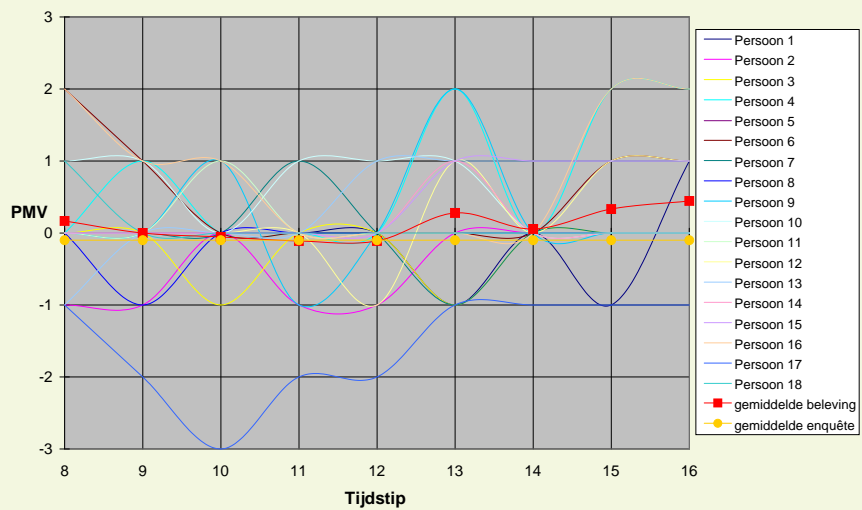
Het is dus zaak om de gebruiker mogelijkheden aan te bieden om het binnenklimaat individueel aan te passen, afgestemd op zijn beleving en wensen voor een goed binnenklimaat. Deze functies zijn goed te combineren met een energiemanagementsysteem op ruimteniveau. Naast het implementeren en testen van technieken, zoals 'forgiving' technologie en agents, is het van groot belang om de resultaten van de exploitatie te verspreiden. De disseminatie van de resultaten naar de gebruikers toe zal leiden tot een voortdurende motivatie om steeds bewuster met de installaties om te gaan.

### ■ ALGEMENE OPZET

Bij de opzet van het energiemanagement op ruimteniveau wordt gebruik gemaakt van de black box-benadering, waarbij de ruimte



-Figuur 1- Relatie tussen energiemanagement en menselijk gedrag



-Figuur 2- Belevingsprofiel van de gebruiker gedurende de dag [Noom 2008]

als een black box beschouwd wordt. Het gebouw, en de te realiseren energiebesparing met behulp van energiemanagement, is een te bepalen functie die in eerste instantie als een onbekende blinde/zwarte vlek wordt beschouwd. Dit ziet er als volgt uit:

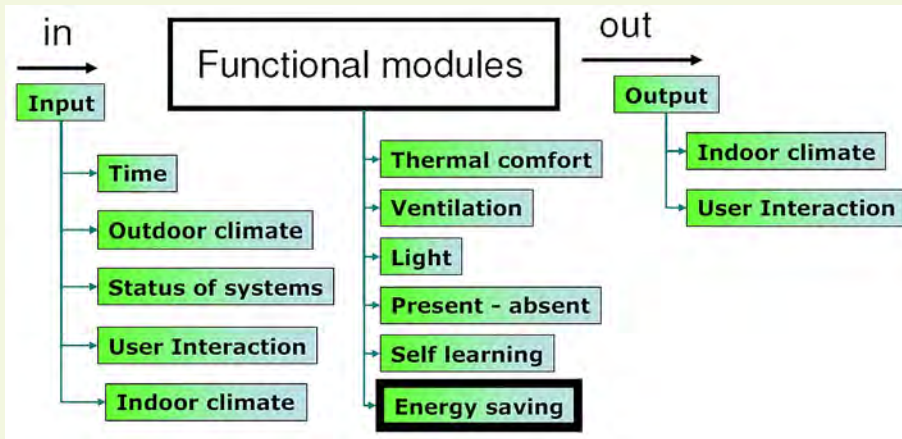
? → energiebesparingspotentieel → ?

Stap voor stap worden de verschillende kenmerken in beeld gebracht en wordt de mogelijke functionaliteit van het energiemanagementsysteem bepaald. Deze aanpak

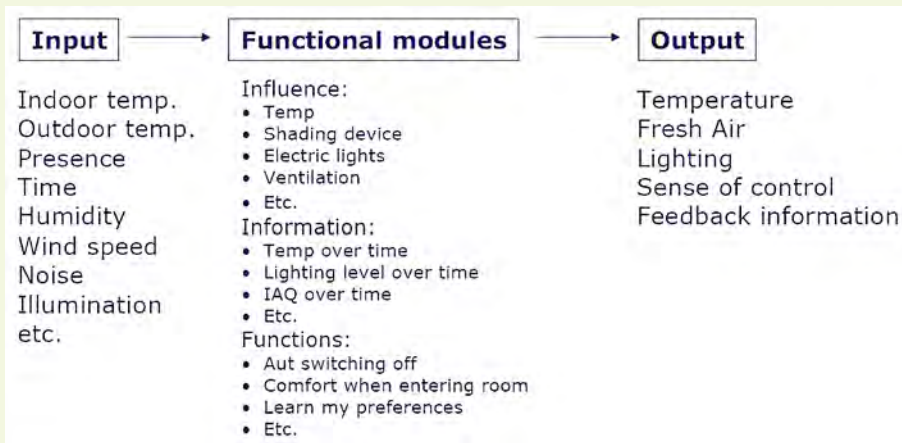
is gebaseerd op de methode zoals beschreven in de VDI 2221-norm, waarbij een functionele analyse van de te ontwerpen functionaliteit van het systeem wordt bepaald (Pahl et al. 2006). Bij een gebouw vindt een input plaats van bewuste en onbewuste energiestromen die leiden tot een output met een bepaald thermisch comfort op ruimteniveau en resulterend energiegebruik. Dit ziet er als volgt uit:

Input → functionele modules → output

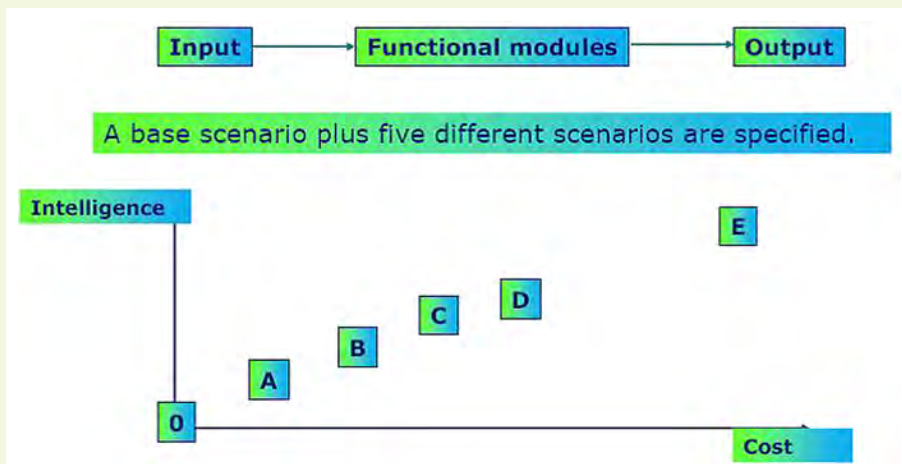
Door de in- en uitgangstoestanden van de



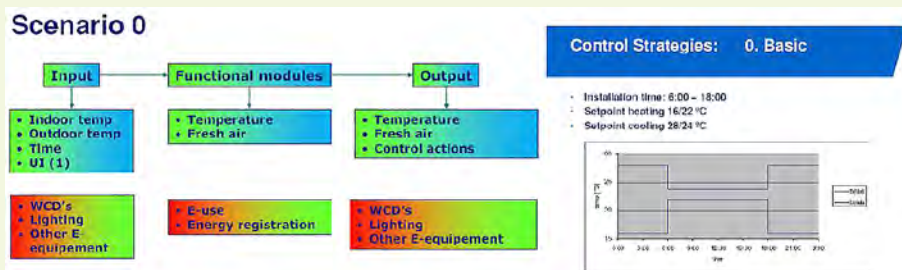
-Figuur 3- Samenhang tussen in- en uitgangskennmerken en benodigde functionaliteit



-Figuur 4- Belangrijkste Parameters, invloedfactoren, informatie en functies



-Figuur 5- Implementatie strategie energiemangement op ruimteniveau



-Figuur 6- Schematisch overzicht functionaliteiten en regelstrategie scenario 0

klimaat- en energievoorzieningen op ruimteniveau te bepalen, worden de benodigde functionele modules stap voor stap bepaald en kan steeds per aspect worden ingezoomd en gefocuseerd, zie figuur 3.

Deze benadering maakt het mogelijk om gericht te kijken naar de in- en output en de functionaliteit die ertussen dient te ontstaan in de functionele modules van het energiemanagementsysteem. Door nu gericht te kijken naar de verschillende in- en uitgangskennmerken ontstaat een overzichtelijk en transparant geheel, zie figuur 4.

Vervolgens kan heel gericht gekeken worden naar de input, de functionele modules en de output. Door de analyse kunnen vervolgens stapsgewijs keuzes gemaakt worden welke functionele modules daadwerkelijk ingezet zullen worden en welke in- en outputparameters daarvoor benodigd zijn om de functionaliteit te realiseren. Hierdoor wordt het mogelijk om verschillende scenario's te ontwikkelen, waarbij steeds stap voor stap de functionaliteit wordt uitgebreid. Hierbij wordt dus optimaal recht gedaan aan de randvoorwaarde om met zo laag mogelijke kosten, zowel qua investering als exploitatie, het energiemanagement te realiseren. Immers, de verschillende technische maatregelen zijn onderling door vergelijking van de uitkomsten van de scenario's te beoordelen op effectiviteit. Hierbij zal sprake zijn van verschillen in comfortniveau en energieprestaties, zie figuur 5.

Om de effectiviteit van de verschillende maatregelen in het kader van het energiemanagement te kunnen bepalen, is het van belang de uitgangssituatie goed te kennen. Deze basissituatie, vastgelegd in de beschrijving van het energiegebruik en comfortniveau van de gebruikers, vormt de basis voor stapsgewijs onderzoek naar de effecten van de maatregelen ten opzichte van de huidige uitgangssituatie. Met hulp van de agent software is het mogelijk individuele comfortprofielen op te nemen en ook per persoon verschillende andere kenmerken te verrekennen in regeltechnische scenario's. Hierbij bestaat het scenario 0 uit de bestaande situatie met bijbehorende regeling. Vervolgens wordt de functionaliteit stap voor stap in ieder scenario verder uitgebreid met als doelstelling daarmee het gewenste binnenklimaat steeds energiezuiniger te kunnen realiseren. De functionele scenario's zijn gekoppeld aan verschillende regelstrategieën. Scenario 0 is schematisch weergegeven in figuur 6.

## RESULTAAT

Voor de implementatie van de werkelijke comfort- en energiebehoefte van gebruikers, worden nieuwe functionele regeltechnische beheermodules aangeboden voor de optima-

lisatie van comfort en energie. Deze vormen de basistechnologie voor nieuwe vormen van energiemangement door geoptimaliseerde regelstrategieën en energieconcepten, gebaseerd op de werkelijke individuele comfortbehoefte van de gebruikers. De basis is een globale analysemethode die is gebaseerd op een ondersteunende ontwerpmethodiek voor de conceptuele fase van energieconcepten voor gebouwen. Dit vormt tevens de basis voor de regelstrategie die is geïmplementeerd in een multi-agent structuur, waarmee het comfort & energiemangementsysteem wordt opgebouwd. Onderscheidend is de bottom-up-benadering via agents van de comfortbehoefteprofielen omgezet in scenario's. Het systeem kan als module een omhullende 'schil' vormen bovenop het doorontwikkelde 'Scada'-pakket InsiteView. De doelstelling is dat dit platform verder wordt uitgebouwd met verschillende functionele modules om dynamischere invloedsfactoren van gebruiker, gebouw en installaties mee te nemen dan nu het geval is.

Om de effecten van de technologie te berekenen is het Kropman kantoor in Utrecht als case beschouwd. Dit is een energiezuinig gebouw met een EPC (energieprestatiecoëfficiënt) van ongeveer 0,75, voorzien van een EWP en aquifer. Op basis van de energiecijfers van het Kropman-gebouw is de mogelijke besparing van de nieuwe technologie uitgerekend. Deze bedraagt bij een gemiddelde besparing van 20% ongeveer 440 GJ per jaar.

## CONCLUSIE

Optimaler gebruik van energie in de gebouwde omgeving, waarbij er optimale afstemming tussen vraag (de werkelijke individuele behoefte) en aanbod plaatsvindt, vereist nieuwe vormen van Informatie & Communicatie Technologie (ICT).

Comfortinstallaties moeten niet alleen worden gekoppeld aan dynamische real-time informatie over beschikbaarheid, duurzaamheid en prijsniveau van de energie, maar ook juist aan de veranderende vraag van de menselijke behoefte. Dit vereist implementatie van comfortprofielen en 'human behaviour'-modellen in verschillende scenario's, die geïmplementeerd kunnen worden in regelstrategieën met behulp van 'agent technologie'.

De ideevorming over slimme combinaties van opwekkers en afnemers staat nog maar in de kinderschoenen. Dit creatieve afwegingsproces kan ondersteund worden met de inzet van methodologie waarbij door een functioneel hiërarchische structurering een overzicht van mogelijkheden kan worden gemaakt. Daarnaast zit de essentie in het temporale verloop van de individuele comfortvraag. De

inzet van intelligente voorspellende regelingen gebaseerd op agent technologie lijkt mogelijkheden te bieden die nog verder onderzocht gaan worden. TU/e is gestart met het in kaart brengen van de ontwikkelingen in beheerstrategieën. Er is een beknopt literatuuronderzoek gedaan naar de stand van zaken. Hierna vond de formulering van een voorlopig programma van eisen plaats voor een 'Process Control on Room Level'. Een PCRL-systeemmodule en een set wenselijke functionaliteiten worden opgesteld voor de beoogde PCRL en elementen daarvan. Het gebouw werd daarbij als 'black-box' beschouwd, waarnaar een aantal energiestromen toegaan en waarin een aantal conversieprocessen plaatsvindt. Centraal staat de individualisering van het comfort door middel van comfortprofielen en 'human behaviour'-modellen. De externe invloeden (weer, momentaan aanbod, prijs) en interne invloeden (verlichting en apparatuur) worden vervolgens in functionele verbanden weergegeven.

Doel is door een abstracte functionele procesbenadering tot mogelijke structuren te komen die het makkelijker maken om nieuwe comfortenergie-optimaliseringsconcepten en bijbehorende intelligente regelingen in de gebouwde omgeving mogelijk te maken. Hierbij wordt de ontwerpogave in een aantal fasen van hoog abstractie naar detailniveau opgesplitst in een ontwerpprocesmatrix, van behoefte tot bij wijze van spreken de materiaalspecificatie van de oplossing. Een concept voor modulaire functionele 'bouwblokken' wordt nagestreefd. Hierdoor komt informatie in functionele modules beschikbaar vanuit de procesopzet. Die informatie over de verschillende actoren is nodig bij het ontwerp en beheer van nieuwe energieconcepten voor gebouwen.

## LITERATUUR

1. Himanen M., Brissman J., Lundberg S., Vastamiiki R., 2005, Forgiving Technology in Automated Office Buildings, 11<sup>th</sup> CIB Int. Symposium Combining Forces, Advancing Facilities management and Construction through Innovations, June 13-16, 2005, Helsinki
2. Himanen M., Järvi T., 2007, Office workers' feedback on the control of office indoor environment, Proceedings of Clima 2007 WellBeing Indoors, Helsinki
3. Groot E.de, Speikman M., Opstelten I., 2008, Dutch Research into User Behaviour in relation to Energy Use of residences, Proceedings PLEA 2008, 25<sup>th</sup> Conference on passive and Low energy Architecture, Dublin 22-24 october 2008
4. Spiekman M., Brink L.van de, 2009,

Productief kantoor, bedieningsgemak: interactie gebruiker en installatie, presentatie tijdens de Workshop Bedieningsgemak, TNO Bouw Delft, 23 April 2009

5. Claeson-Jonsson C., 2005, Final publishable report, Energy Efficient Behaviour in Office Buildings, 30 June 2005
6. Kamphuis I.G., Warmer C.J., Jong M.J.M., Wortel W., 2005, IIGO: Intelligent Internet mediated control in the built environment: Description of a large-scale experiment in a utility building setting, ECN rapport ECN-C-05-084
7. Karlsson A., 2003, Market Based Programming and Resource Allocation, IT Licentiate theses, 2003-007, Uppsala University, Department of Information Technology
8. Carlsson P., 2001, Market and Resource Allocation Algorithms with Application to Energy Control, IT Licentiate theses, 2001-005, Uppsala University, Department of Information Technology
9. Zeiler W., Wortel W., Kamphuis I.G., Akkermans J.M., 2002, SMART: Internettechnologie als intelligent element voor GBS, Verwarming & Ventilatie, Mei 2002
10. Noom P., Zeiler W., Boxem G., Haan J.F.B.C., Velden J.A.J. van der, 2010, Thermisch comfort: individueel en tijdfankelbaar, TVVL magazine 11/2010
11. Zeiler W., Houten M.A. van, Boxem G., Velden J.A.J. van der, Haan J.F.B.C., Wortel W., Kamphuis I.G., Mommelberg M., Broekhuizen H.J., 2007, Flexergie; afstemming van energiestromen in de gebouwde omgeving, TVVL Magazine 4/2007