

De 'human in the loop' benadering

In de gebouwde omgeving is men continu bezig met het verder verbeteren en optimaliseren van de gebouwprestaties. Echter, met de huidige manier van denken en de daaruit voortkomende toename in prestaties worden de gestelde ambities in de toekomst niet gehaald. Er dienen grotere stappen gemaakt te worden naar verdergaande afname van het energiegebruik. Dit artikel licht een nieuwe bottom-up benadering toe, waarin de mens leidend is in de aansturing van gebouwssystemen op vloerniveau. Dit resulteert in een energiebesparing tot 40% op de koel- en 20% op warmtevraag.

Ing. H.N. (Rik) Maaijen, Masterstudent, TU/e, prof.ir. W. (Wim) Zeiler, professor installaties, TU/e, ir. W.H. (Wim) Maassen PDEng, Adviseur, Royal Haskoning

Het energiegebruik in de gebouwde omgeving is verantwoordelijk voor ongeveer 40% van het totale energiegebruik. Het overgrote gedeelte van deze energie wordt gebruikt door gebouwinstallaties met als doel een comfortabele omgeving voor de gebruiker. In de praktijk blijkt dat het gewenste comfortniveau, maar ook de energieprestaties van een gebouw niet worden gehaald. Dit resulteert onder andere in een niet gewenst hoger energiegebruik, hoger ziekteverzuim en een lagere productiviteit van de gebouwgebruiker.

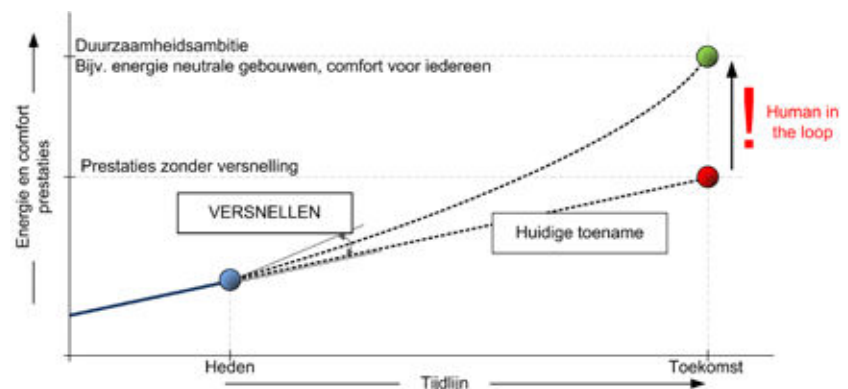
De redenen voor dit ondermaats presteren van de gebouwinstallaties zijn divers, maar dienen voornamelijk gezocht te worden op het gebied van verkeerd toegepaste techniek en onvoldoende aandacht voor de invloed van de gebouwgebruiker [1].

Om de hoge duurzaamheidsambities in de toekomst te kunnen realiseren zijn grote veranderingen in de gebouwde omgeving op korte termijn noodzakelijk. De noodzakelijke versnelling is schematisch weergegeven in figuur 1.

DE GEBOUWGEBRUIKER

De gebouwgebruiker beïnvloedt op diverse manieren de prestaties van een gebouw door bijvoorbeeld actieve acties, zoals het veranderen van instellingen, inschakelen van apparatuur, het openen van ramen, alsmede passieve manieren, zoals afwezigheid of het juist achterwege laten van het neerlaten van zonwering. Uit diverse onderzoeken is gebleken

dat werkplekken voor een (over)groot gedeelte van de tijd niet bezet zijn [2]. Daarom dient er nader gekeken te worden naar de bezettingsgraad. Gebouwbezetting is van groot belang, aangezien een gebouw minimaal geconditioneerd hoeft te worden als de gebruiker niet aanwezig is en uiteraard kan deze gebruiker alleen invloed uitoefenen op zijn omgeving indien hij aanwezig is. Hierbij is gebleken dat

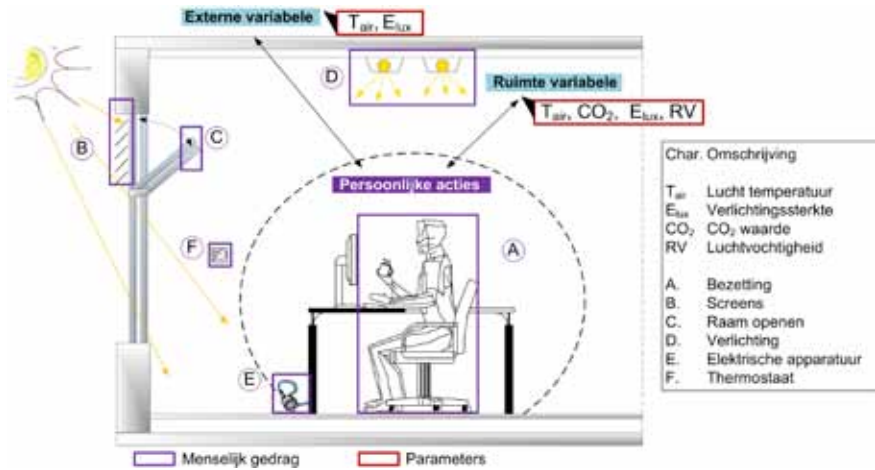


-Figuur 1- Huidige versnelling en benodigde versnelling om de duurzaamheidsambities in de toekomst te halen

de invloed van gebouwgebruikers toeneemt bij gebouwen met betere energieprestaties [3]. Waarom beïnvloedt een gebruiker eigenlijk zijn of haar omgeving? Het beïnvloeden van de omgeving is gedrag van gebouwgebruikers als reactie op een oncomfortabele omgeving. Via diverse acties, zoals het bedienen van een thermostaat of het halen van koffie, tracht de gebruiker zijn comfortniveau te herstellen tot een voor hem acceptabel niveau [4]. Deze acties mogen niet worden afgenomen, omdat dit van groot belang is voor het prettig en comfortabel voelen van mensen [5]. Iedereen wil gewoon aan knoppen kunnen draaien en het gevoel hebben zijn of haar omgeving te kunnen beïnvloeden. Dit betekent dus dat er naar een oplossing gezocht dient te worden waarbij er rekening gehouden wordt met dit gedrag van de gebruikers. De acties die direct invloed hebben op de bouwprestaties zijn weergegeven in figuur 2 samen met de belangrijkste parameters die het comfortniveau beïnvloeden [6].

Juist door rekening te gaan houden met de gebruiker en de energie enkel in te zetten op de gebruiker, zouden grote besparing behaald kunnen worden. De reeds gemaakte stappen en de te maken stap voor het verbeteren van de bouwprestaties zijn schematisch weergegeven in figuur 3. De energieprestatie wordt hier weergegeven door diverse schillen met de buitenste schil als uiteindelijke energievraag. A. Het gebouw wordt opgeleverd met energielabel A en voldoet hiermee aan de wettelijke eisen. Maar er treden tijdens de gebruiksfase verliezen op die worden veroorzaakt door een niet optimaal presteren van de opwekkers, onder andere door een ander gebruik van het gebouw dan veronderstelt in de ontwerpfase. Deze situatie wordt als referentie gebruikt voor vervolgstappen in het verbeteren van de bouwprestaties.

B. Een eerste, veel toegepaste stap is het rendement optimaliseren van het opwekkersysteem. De geboden oplossing is het continu monitoren van de opwekkers, beter bekend als continu commisioning. Dit is een continu proces waarbij operationele problemen worden opgelost, comfort wordt verbeterd en energiegebruik wordt geoptimaliseerd in gerealiseerde commerciële en institutionele gebouwen. Doel is om gebouw en installaties te realiseren in overeenstemming met het Programma van Eisen en de gebruikerswensen. C. Verliezen in de opwekking, maar ook de energievraag, kunnen gereduceerd worden door het voorkomen van energievermietiging. Hierbij valt te denken aan zowel het voorkomen van bijvoorbeeld gelijktijdig verwarmen op gebouwniveau en koelen op werkplekniveau, omschreven in de ISSO [7], alsmede



-Figuur 2- Persoonlijke acties van de gebouwgebruiker en fysieke parameters die invloed hebben op het comfortniveau

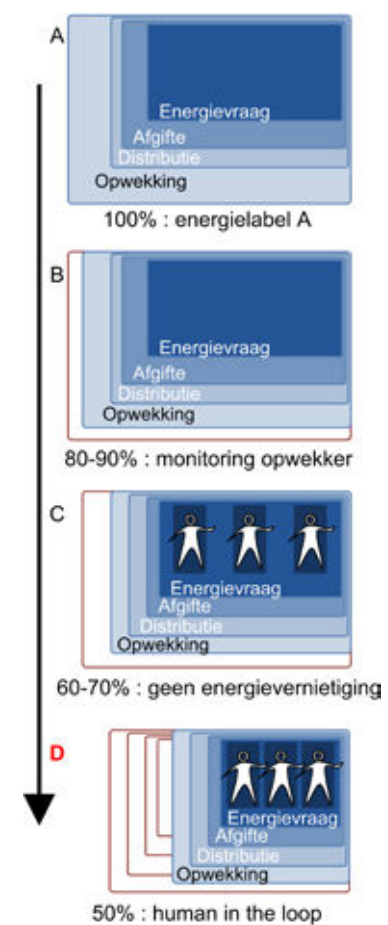
het toepassen van additionele technieken zoals aanwezigheidsdetectie.

D. Verdiepingen, ruimten en werkplekken worden onnodig geconditioneerd doordat de gebruiker niet aanwezig is of doordat het gebouw anders wordt gebruikt dan ontworpen. Deze volgende en eerste te nemen stap staat centraal in dit onderzoek, waarbij de mens centraal staat in de regelkring van klimaatsystemen ofwel de 'human in the loop'. Energie wordt enkel ingezet op die plekken waar nodig, zodat er grote besparingen gerealiseerd kunnen worden in de energievraag met behoudt dan wel verbetering van het comfortniveau van de gebruiker.

■ INVLOED VAN DE MENS

De 'human in the loop' neemt direct enkele vraagstukken met zich mee: hoe kan de mens centraal gezet worden in de aansturing van klimaatsystemen en hoe kan energie gericht gestuurd worden? Er dient hiervoor een manier gevonden te worden om in te spelen op het menselijk gedrag en de negatieve gevolgen hiervan op de bouwprestaties tot een minimum te beperken. Het onderzoek maakte hiervoor gebruik van een case studie om data te krijgen van een werkelijke situatie zonder aannamen te hoeven maken voor gebouw en gebruikersgedrag voor de derde verdieping van een kantoor van Royal Haskoning, zie figuur 4 op de volgende pagina.

Eerst is bepaald wat daadwerkelijk de belangrijke factoren zijn die invloed hebben op de energieprestaties van het gebouw. Door middel van een eerste analyse, bestaande uit interviews en metingen gedurende een week, is de grootte van de verschillende gebruikersinvloeden bepaald. De gevonden kennis is vertaald naar jaarlijkse data om inzichtelijk te maken wat de belangrijke parameters zijn ten aanzien van het energiegebruik. Hiervoor is



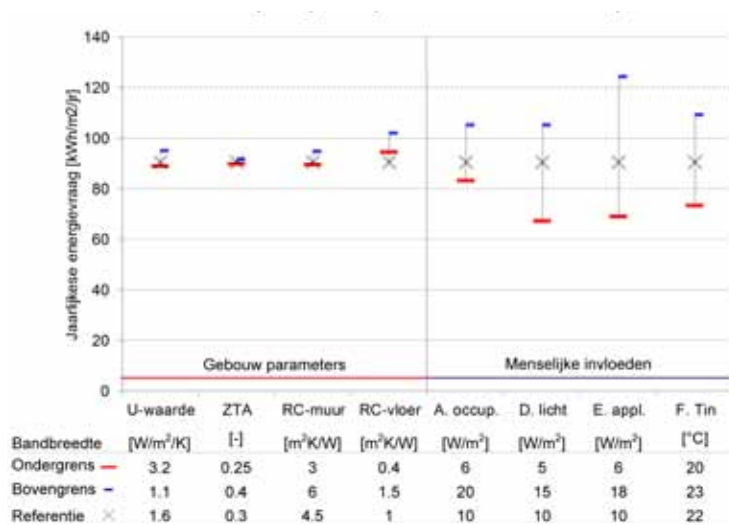
-Figuur 3- Human in the loop – the next step

gebruik gemaakt van VABI Elements. Zowel de bouwparameters als het gedrag zijn gevarieerd binnen een vooraf bepaalde bandbreedte gebaseerd op de voorgaande analyse. Dit resulteert in de volgende conclusies, zie figuur 5:

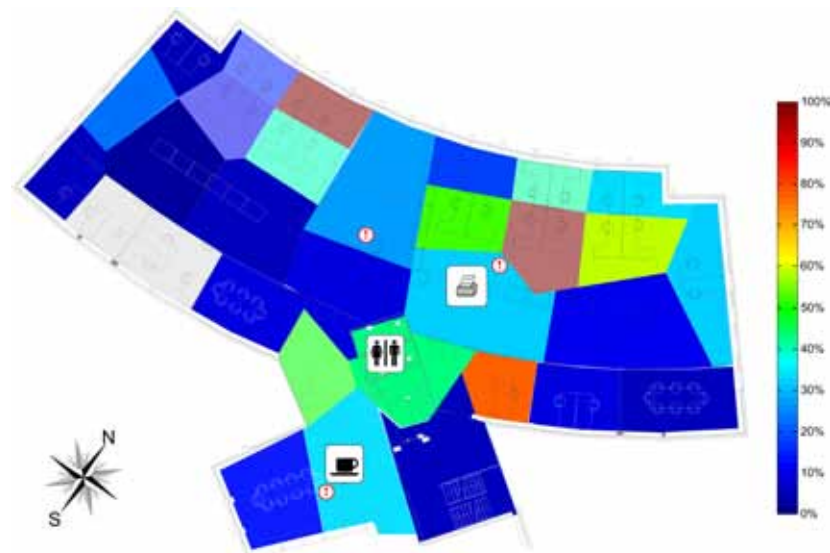
- de invloed van menselijk gedrag op bouwprestaties is vele malen groter dan de invloed van de bouwparameters (RC waarde, U-waarde, etc.);
- niet enkel de acties van de gebruiker hebben



-Figuur 4- Plattegrond van de case studie verdieping (A) met de belangrijke eigenschappen van deze vloer (B) en een afbeelding van de buitenkant van het gebouw (C)



-Figuur 5- Simulatieresultaten (VABI Elements) van de kantoorruimte om de invloed op gebouwenergieprestaties te bepalen door de invoer te variëren tussen een aangenomen/gemeten bandbreedte voor verschillende bouwparameters en menselijke invloeden.



-Figuur 7- Bezetting hot spots als een percentage van de meest bezette plek op de verdieping

invloed op het energiegebruik, maar ook de aanwezigheid zelf beïnvloedt de bouwprestaties. Het doorwerken van het metabolisme is duidelijk zichtbaar in de spreiding bij A. occup.

- vooral de invloed van het gebruik van elektrische apparatuur blijkt significant te zijn op de bouwprestaties. Vanwege de grote bandbreedte in energiegebruik wordt hieraan tevens aandacht besteed.



-Figuur 6- Prototype: toegepast statische node voor het bepalen van posities gebouwgebruikers

METINGEN IN CASE STUDIE

Voorwaarde om energie gericht te sturen op de mens, is dat de gebruiker gelokaliseerd kan worden in het gebouw. Goedkope draadloze sensornetwerken met draagbare sensoren laten een hoog potentieel zien voor het real-time lokaliseren van de gebouwgebruikers [8]. In de toekomst wordt vooral ingezet op het gebruik van smartphones, die in staat zijn om gebouwssystemen van allerlei informatie te voorzien van de gebouwgebruiker. In dit onderzoek is er voor het bepalen van de positie een statische sensor/node per gemeten zone gemonteerd. Deze node communiceert met mobiele nodes, gedragen door de gebruikers, om zijn of haar positie te bepalen op de verdieping. In totaal dertig draadloze statische nodes zijn geplaatst op interessante plaatsen, zoals werkplaatsen, printer, koffiemachine en het toilet. Gebaseerd op de afweging tussen diverse signaalsterkten kunnen de nodes identificeren in welke zone de gebruiker zich bevindt.

In elke zone is tevens een energie logger geïnstalleerd om het energiegebruik te bepalen en hiermee een benadering te krijgen van de warmteproductie van de elektrische apparatuur in deze zone. Voorgaand onderzoek heeft aangetoond dat, in lijn der verwachting, het gebruik van elektrische apparatuur duidelijk

niet wordt bepaald door het binnenklimaat. Het is meer logisch om de verhouding van de interne warmteproductie door elektrische apparatuur te linken aan de bezettingsgraad. Tot nu toe wordt er voor de interne warmtelast van elektrische apparatuur een vaste waarde aangenomen gedurende de werkdag, zonder variatie in de tijd.

Met behulp van een temperatuur en lichtsterkte sensor, is in elke zone tevens de binnentemperatuur gemeten en bepaald of de verlichting is ingeschakeld. Hieruit verkregen data kan worden toegepast in een later te maken model voor het bepalen van mogelijke energiebesparingen bij het gericht sturen van energie.

RESULTATEN MEETPERIODE

Gedurende zes weken zijn de bewegingen van twintig werknemers gemonitord en vastgelegd. Vanuit de verkregen data kan tot op het individu en op elk moment worden bekeken wat zijn bewegingen en posities in de ruimte zijn.

Posities en bewegingen

In eerste instantie is er gekeken of het mogelijk is om zogenaamde hot spots vast te stellen. Posities die veel bezet zijn, zullen voornamelijk geconditioneerd moeten worden. In figuur 7 is de plattgrond weergegeven met hierin aangegeven wat favoriete werkplekken zijn. Hierin zijn duidelijke hot spots te herkennen, aangegeven met de donker rode kleur.

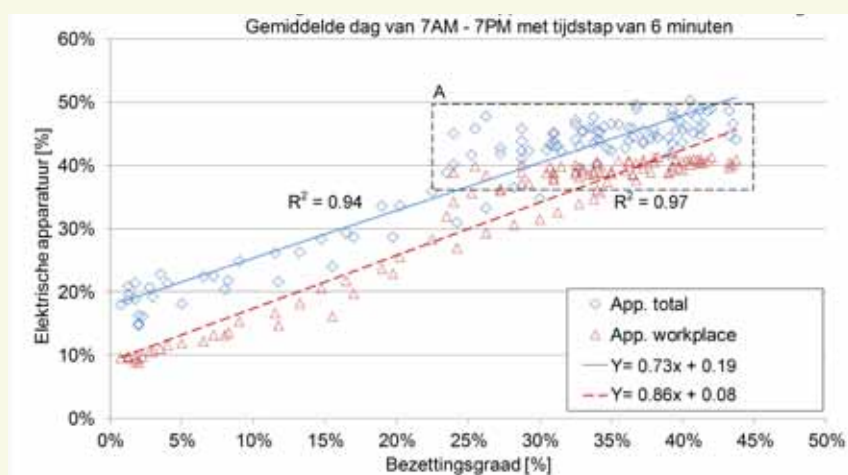
Over de gehele periode is een bezettingsprofiel voor een gemiddelde dag opgemaakt. Gemiddeld ligt de aanwezigheid van de werknemers tijdens werktijd rond de 50%. Toch zijn er in de bezetting zeer grote afwijkingen waar te nemen, met een standaard afwijking van meer dan 20%! Terwijl het klimaatsysteem minimaal onderscheid maakt, kunnen er grote verschillen in de energievraag zijn. Indien aanwezig, bevindt een werknemer zich gemiddeld 70% van de tijd op zijn werkplek. De overige tijd bevindt een werknemer zich 5-8% van de tijd op het toilet, 2-5% van de tijd rondom de koffiemachine en de resterende tijd bij de printer of in een vergaderruimte.

Elektrische apparatuur

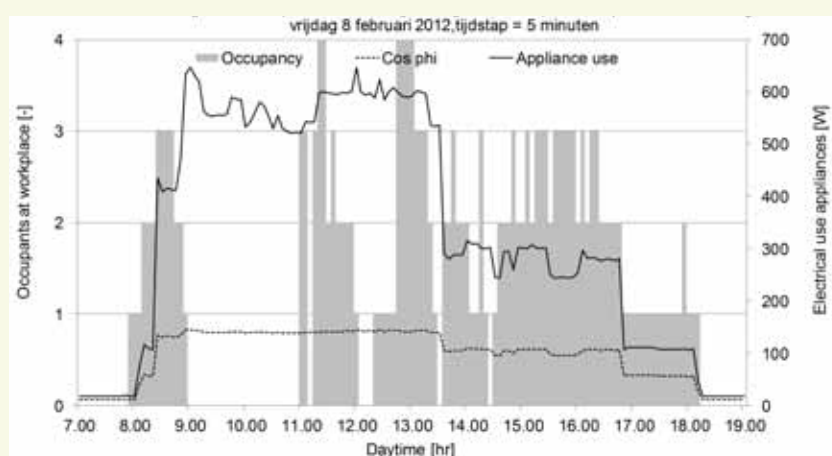
De invloed van de elektrische apparaten bleek van grote invloed te zijn op de energieprestaties van de verdieping. Indien naar gemiddelden wordt gekeken, blijkt er een sterke correlatie te zijn tussen de bezettingsgraad en het gebruik van elektrische apparatuur, figuur 8.

Hieruit kan de volgende informatie worden gehaald:

- door de sterke correlatie kan op vloerniveau



-Figuur 8- Lineaire regressie tussen alle elektrische apparatuur (inclusief printer en koffiemachines) en apparatuur op werkplekniveau als een functie van de gemiddelde bezettingsgraad op vloerniveau. In gemarkeerd deel A bevindt zich een concentratie waar nader naar gekeken dient te worden.



-Figuur 9- Bezetting voor een groep van vier werkplekken met de energievraag van de elektrische apparatuur op deze plekken voor een referentiedag

het gebruik van elektrische apparaten en de daarbij behorende warmteproductie gelinkt worden aan de bezetting;

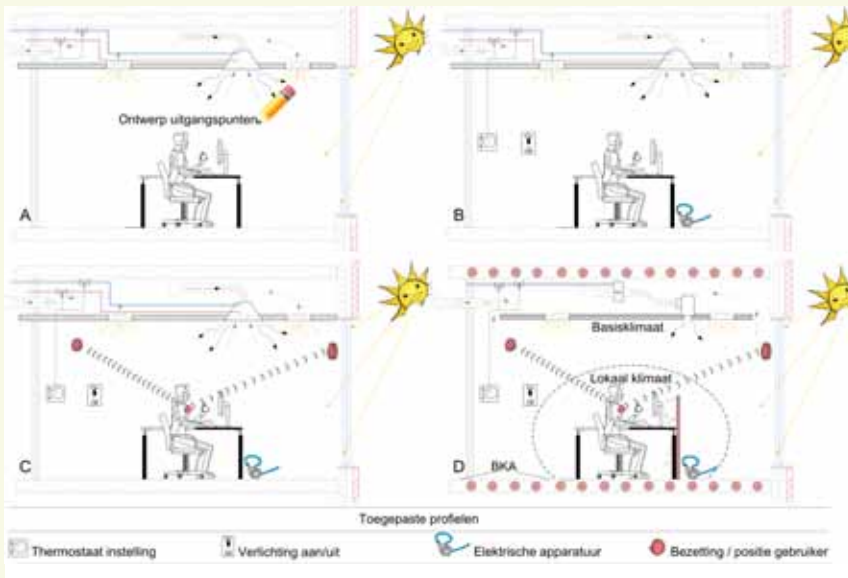
- anderzijds kan het meten van het elektrisch gebruik een goede indicatie geven van de bezetting;
- lokaal bij de printer en koffiemachine vindt er grote warmteproductie plaats die tot twee maal groter is dan het elektrische energieverbruik op werkplekniveau als er geen bezetting is. Indien deze warmte ongewenst is (in de koelsituatie) zou door lokaal oplossen (bijvoorbeeld afzuigen) grote winst behaald kunnen worden

Indien de mens centraal staat en energie gestuurd wordt op de mens, dient er nader gekeken te worden naar de relatie aanwezigheid en elektrisch energieverbruik op werkplekniveau. In figuur 9 is een profiel weergegeven voor een referentiedag.

Uit deze figuur kan het volgende geconcludeerd worden:

- er zijn relaties waar te nemen tussen aanwezigheid en energiegebruik, maar deze relaties lijken niet sterk en zeker niet constant te zijn;
- in de ochtend loopt het energiegebruik snel op en blijft dit rond de 600 W terwijl er gedurende twee uur niemand aanwezig is (gebruikers bijvoorbeeld in vergadering). Besparingen op elektriciteitsgebruik en koelvraag kunnen eenvoudig gerealiseerd worden door computers in een slaapstand te laten springen;
- apparatuur in standby, zoals ongebruikte adapters in stopcontacten, zorgen voor een zeer ongunstige cos phi en daarmee voor onnodige energieverliezen in de elektriciteitskabels en leidingen. Bij lagere energievraag neemt de invloed op de cos phi van de standby-apparatuur toe.

Er dient verder gezocht te worden naar een slimme methode die het mogelijk maakt het elektriciteitsgebruik te voorspellen aan de hand van de bezetting op werkplekniveau. Aan



-Figuur 10- Schematische weergave verschillende varianten van energiegebruik, met A. ontwerp uitgangspunten, B. werkelijk energiegebruik, C. klimaatinstallatie inschakelen indien iemand aanwezig is in zone en D. de 'human in the loop' waarbij lokaal geklimatiseerd wordt

de hand hiervan kan energie slimmer worden ingezet en eventuele lokaal geproduceerde energie van één plek naar een andere worden overgebracht waar er vraag is; of kan energie slim ingezet worden door bij piekvraag enkele laptops gebruik te laten maken van de accu.

ENERGIEBESPARINGSPOTENTIEEL

De resultaten van de meetperiode zijn gebruikt voor het schatten van het energiebesparingspotentieel indien energie gericht wordt gestuurd op de mens. Hiervoor is een gebouwmodel gemaakt, gebruikmakend van de Matlab-Simulink omgeving. Er zijn in eerste instantie vier varianten gemodelleerd, schematisch weergegeven in figuur 10.

A. Jaarlijkse energievraag van het gebouw uitgaande van de waarden zoals aangenomen in de ontwerpfase van de installaties.

B. Het toepassen van de daadwerkelijk verkregen data vanuit de metingen in het gebouw. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de (i) ingestelde temperatuursetpunten, (ii) bezettingsprofielen voor het bepalen van het metabolisme, (iii) de energievraag van de elektrische apparatuur en (iv) profielen voor het dan wel of niet ingeschakeld zijn van de verlichting.

C. Het implementeren van de nieuwe benadering waar energie gericht gestuurd wordt naar de plaatsen waar nodig. Hierbij wordt een basisklimaat met lage eisen aangenomen, waarbij enkel geconditioneerd wordt indien iemand aanwezig is. Er wordt hier uitgegaan van de bestaande installaties. Tevens worden

de gevonden profielen voor de elektrische apparatuur toegepast.

D. De energie wordt in deze situatie verder gericht gestuurd op de mens door het creëren van een lokaal klimaat. Hierbij wordt lokaal verwarmd en gekoeld, waardoor er in de ruimten altijd een basisklimaat met lage eisen kan zijn. Voor het onderzoek wordt een basistemperatuur aangehouden van 19.5°C, omdat het met deze temperatuur en lokaal verwarmen door aanstralen mogelijk is om het comfortniveau te behouden [9].

Het model is opgesplitst in de zones zoals weergegeven in figuur 7. Zowel het model gebaseerd op de metingen met de daadwerkelijke energievraag (B), en de 'human in the loop' benadering zonder (C) en met (D) lokaal klimaat maken gebruik van profielen die gemeten zijn per zone.

De simulatieresultaten (figuur 11) laten duidelijk zien dat het daadwerkelijke energiegebruik hoger ligt dan bij het ontwerp. Voornamelijk de koelvraag laat een duidelijke stijging (+20%) zien ten opzichte van het ontwerp.

De verklaring voor de hogere warmtevraag is een resultaat van het ontwerp waarbij er door koude straling vanaf de ramen een oncomfortabele situatie ontstaat. Als reactie hierop wordt continu de thermostaat hoger ingesteld door de gebruiker met een gemeten binnentemperatuur rond de 23.5 °C, terwijl ontworpen is op een binnentemperatuur van 22 °C.

CONCLUSIE

De 'human in the loop' benadering is een nieuwe benadering waarbij de mens centraal

wordt gesteld in het ontwerp en in de aansturing van klimaatsystemen. Het is gebleken dat menselijke invloeden vele malen groter zijn op de gebouwprestaties dan de invloed van gebouwparameters. Er dient dus meer gefocust te worden op de gebouwgebruiker met zijn aanwezigheid, gedrag en hieruit volgende invloeden op prestaties.

Een voorwaarde om de mens centraal te stellen in de gebouwde omgeving, is het kunnen meten en monitoren van de gebruiker. Hiervoor dient meer intelligentie in onze gebouwen gebracht te worden. Relatief goedkope draadloze sensornetwerken bieden hiervoor zeer goede mogelijkheden.

Voor een periode van zes weken zijn de bewegingen van het merendeel van de medewerkers op een verdieping in het kantoor van Royal Haskoning gevolgd. Uit de data kan duidelijk worden opgemaakt dat er favoriete posities zijn, hot spots, en dat voor een groot gedeelte van de tijd werkplekken niet bezet zijn terwijl deze wel geconditioneerd worden. Het werkelijke energiegebruik voor het klimatiseren van ruimten ligt hoger dan ontworpen, terwijl er met de 'human in the loop' een besparing behaald kan worden van 20% voor verwarming en 40% voor koeling ten opzichte van de werkelijke energievraag.

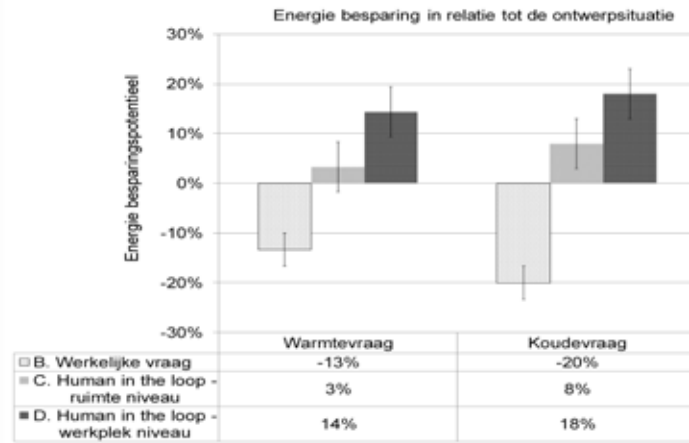
HOE VERDER?

Dit onderzoek is een eerste stap om de mens automatisch sturend te maken in de aansturing van klimaatsystemen. Uit de verkregen data is nog veel meer informatie te halen. Onder andere het in kaart brengen van de mensenstromen op verdiepniveaus en het vinden van een duidelijk verband tussen bezetting en energiegebruik op werkplekniveau. Vanuit het onderzoek blijkt dat deze aanpak veel potentie heeft en dat er onder andere een probleem is om de grote hoeveelheid data om te zetten naar bruikbare informatie. Het is derhalve van belang om slim vast te stellen hoe gericht in het complexe systeem met eenvoudige stabiele maatregelen grote verbeteringen bereikt kunnen worden.

Verdere ontwikkeling vindt plaats door de nodes te installeren in een ander kantoor en over een langere termijn metingen te doen, waarin de mogelijkheden verder worden onderzocht. Hierbij wordt onder andere bekeken hoe dit onderzoek kan aansluiten op recente ontwikkelingen van individuele klimaatsystemen. De benodigde techniek dient verder ontwikkeld en verbeterd te worden. In de nabije toekomst kunnen de smartphones van de gebruikers hiervoor worden ingezet, waardoor er voor de gebruiker geen hinder is terwijl het gebouwssysteem van alle benodigde informatie wordt voorzien.

REFERENTIES

1. Groot E.de, Speikman M., Opstelten I., 2008, Dutch Research into User Behaviour in relation to Energy Use of residences, Proceedings PLEA 2008, 25th Conference on passive and Low energy Architecture, Dublin 22-24 October 2008
2. Mahdavi, A.; Towards empirically-based models of people's presence and actions in buildings, Building Simulation (2009), Eleventh International IBPSA Conference, Scotland; July 27-30
3. Hoes P., Hensen J., Loomans M., Vries B. de, Bourgeois D., User behavior in whole building simulation, Energy and Buildings (2009), Vol. 41, 295-302
4. Haldi, F., Robinson D.; On the unification of thermal perception and adaptive actions; Building and Environment (2010), Vol. 45, 2440-2457
5. Leaman, A., Bordass, B., Productivity in buildings: the 'killer' variables, Building Research and Information (1999), Vol. 27(1), 4-20



-Figuur 11- Resultaten voor energievraag van het klimaatsysteem na toepassing van profielen in de modellen voor de drie verschillende situaties met het ontwerp als referentiesituatie


6. Parys, W., Saelens, D., Hens, H., Coupling of dynamic building simulation with stochastic modeling of occupant behaviour in offices – a review-based integrated methodology, Journal of Building Performance Simulation (2011), 1-20
7. ISSO publicatie 68: Energetisch optimale stook- en koellijnen voor klimaatinstallaties in kantoorgebouwen
8. Felmeier, M., Paradiso, J., Personalized HVAC Control System, in Proc. Of Internet of Things (IoT) 2010, Tokyo Japan, Nov. 29 – Dec. 1, 2010
9. Vissers, D., Zeiler, W., Boxem G., Loomans, M., The human body as sensor for comfort control, Master thesis (2012), Eindhoven University of Technology



Al meer dan 80 jaar ervaring op het gebied van ontwikkeling, vervaardigen en leveren van hoogwaardige Roestvaststalen producten.

Uw partner in innovatieve oplossingen

- Utiliteit sanitair
- ElceeDesign sanitair
- ElceeLogic watermanagement
- Handen & haardrogers
- Goten en putten

- Installatierubbers voor PVC leidingen
- Sectie & mortuarium
- Speciaalwerk
- ElceeStone 



Wastrog Elcee 240 met kranen en leidingwerk



Schaamschot Elcee 501



Wastafel Elcee 213



Uitstortbak Elcee 4431

Elcee Holland B.V.
Kamerlingh Onnesweg 28 - 3316 GL Dordrecht
Postbus 606 NL - 3300 AP Dordrecht
Tel: +31 (0)78 - 654 47 77
Fax: +31 (0)78 - 618 04 50
E-mail: utiliteit@elcee.nl

Leidend in kennis, kwaliteit en service.



www.elcee.nl