

Auteur Dr.-Ing Benjamin Bronsema - Bronsema Consult

# De prestatiekloof bij klimaatinstallaties

*In de REHVA European HVAC Journal van december 2018 staan enkele belangwekkende artikelen waarin de zogenaamde "Performance Gap" aan de orde wordt gesteld, in voorliggend artikel vertaald met "Prestatiekloof". Hiermee wordt bedoeld het verschil tussen berekende, of verwachte prestaties van een gebouw, en de werkelijke prestaties. Dit is inderdaad een intrigerend verschijnsel, dat het vertrouwen in ontwerpers kan beschadigen, en opdrachtgevers huiverig kan maken om innovatieve voorstellen in overweging te nemen. De voorspelde prestaties zijn immers vaak onbetrouwbaar.*

Onvoorspelbaar gebruikersgedrag wordt vaak aangevoerd als een van de belangrijkste oorzaken van de prestatiekloof. De auteur toont aan dat door een op de mens gerichte klimaattechniek het gebruikersgedrag kan worden beïnvloed en de prestatiekloof kan worden verkleind, zowel met betrekking tot de binnenmilieuprestaties als de energieprestaties. Hij put daarvoor ook uit persoonlijke ervaringen.

## De prestatiekloof

De prestatiekloof wordt meestal gezien als het verschil tussen de berekende en de werkelijke energieprestaties van een gebouw, maar door facility managers wordt het veel breder opgevat, zie figuur 1 (S.Plesser en O.Teisen 2018). Vaak is voor hen het energiegebruik (1) ook minder belangrijk dan bijvoorbeeld het binnenklimaat (8), omdat energie relatief goedkoop is en een verminderde productiviteit ten gevolge van een slecht binnenmilieu veel geld kan kosten.

Figuur 1: De prestatiekloof volgens Helle Lohman Rasmussen [1]



## De binnenmilieu prestatiekloof

We beperken ons hier tot de aspecten 5 – 8 in figuur 1, te definiëren als verschillen tussen de beoogde prestaties van de klimaatinstallaties en het functioneren daarvan onder praktische omstandigheden. Voor mogelijke oorzaken hiervan zie tabel 1.

## Falend ontwerp

Een afschrikkend voorbeeld van hoe het mis kan gaan bij de realisatie van een kantoorgebouw, wordt beschreven in de eerder aangehaalde REHVA Journal - zie kader Een verhaal over duurzaamheid rechts.

Een prijzenswaardig initiatief van een vooruitstrevende eigenaar wordt hier gruwelijk bestraft. Het zou interessant zijn te achterhalen wat hier misging, want daar zouden we ons voordeel mee kunnen doen. Dergelijke fouten worden echter meestal met "de mantel der collegialiteit" bedekt. Een oplossing zou zijn hiervoor

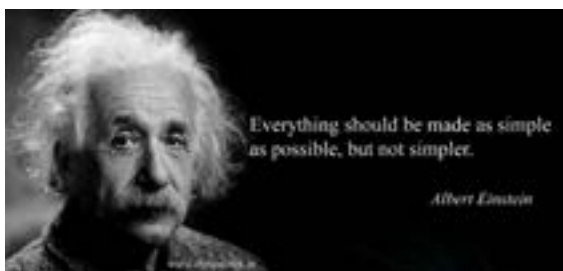
Oorzaak	Verantwoordelijk/Oorzaak
Falend ontwerp	Ontwerpde partijen
Gecompliceerd ontwerp	Ontwerpde partijen
Individuele regelbaarheid	Programma van Eisen
Verwachtingspatroon	Programma van Eisen
Falende uitvoering	Uitvoerende partijen
Falende bedrijfsvoering	Facilitymanagement
Falend onderhoud	Facilitymanagement
Gebruikersgedrag	Gebrekkige of falende M-M-I [2]

Tabel 1: Mogelijke oorzaken binnenmilieu prestatieklouf

de archieven van arbitrage instituten te openen, waarin ongetwijfeld veel van dit soort zaken worden behandeld. Beter zou zijn om dergelijke brokken in ons vakgebied te voorkomen door voor innovatieve ontwerpen een second opinion te vragen aan een onafhankelijke derde partij. De auteur heeft dit in zijn loopbaan één keer meegemaakt bij het innovatieve ontwerp van de klimaatregeling in het Haags Gemeentemuseum. Dat was in eerste instantie wel even schrikken, maar het heeft uiteindelijk bijgedragen aan een goede afloop. In meer algemene zin zou het zelfs mogelijk moeten zijn het ontwerp aan een peer review te onderwerpen. Zou TVVL hiervoor wellicht een platform kunnen aanbieden?

### Gecompliceerd ontwerp

Gecompliceerde klimaatsystemen zijn, na onvoldoende ventilatie en slecht onderhoud, risicofactor nummer 3 voor het binnenmilieu (Mendell M.J. 2000). Weliswaar een oud onderzoek, maar er is geen enkele reden om te veronderstellen dat het nu anders zou zijn. Voor zover bekend is deze factor nooit diepgaand onderzocht, naar mijn mening omdat IEQ-onderzoekers (Indoor Environmental Quality) in het algemeen niet zoveel verstand van klimaatinstallaties hebben en dat klimaatingenieurs over het algemeen niet de behoefte voelen en ook geen tijd hebben voor een dergelijke excursie buiten hun vakgebied.



## Een verhaal over duurzaamheid

Om een Gold-level-certificering te behalen, integreert de eigenaar van een gebouw energie-efficiënte systemen in zijn gebouw, zoals een WKK, een warmtepomp, thermische zonnecollectoren en een absorptiekoelmachine. De berekende lage energievraag geeft extra credits voor certificering. Kort na de overdracht, merkt hij dat sommige systemen niet werken zoals ze zouden moeten. De bedrijfsvoering van de verschillende systemen blijkt een behoorlijke uitdaging en is in de ontwerpfase nooit goed gespecificeerd en sommige systemen communiceren niet eens met elkaar. Na maanden van zoeken naar de schuldigen en frustrerende pogingen om uit te vinden hoe het systeem als een geheel zou kunnen werken, besloot het bedienend personeel om de regelventielen voor verwarming en koeling in een grote luchtbehandelingkast continue open te zetten om een constante energievraag te creëren. De systemen werken nu soepel door het continue verbruik van verwarmings- en koelingsenergie op hetzelfde moment. En de eigenaar leefde nog lang en gedesillusioneerd.

Bovendien houden velen van hen wel van gecompliceerde installaties, dus waarom zouden ze?

De auteur heeft ooit een poging ondernomen om de mate van complexiteit van klimaatinstallaties systematisch te onderzoeken door de ontwikkeling van een zogenaamde *KISS-index*, die staat voor *Keep-It-Stupid-Simple*. Ik koos een aantal gangbare klimaatconcepten en telde het aantal bewegende delen, regelcircuits en bedieningselementen en schatte de kwetsbaarheid van elk onderdeel, gebaseerd op de vereiste onderhoudsintervallen, onderhoudstijd en de geschatte gevolgen van een storing voor het binnenmilieu. De op basis hiervan bepaalde KISS-index liep van een schaal van 10 voor de meest eenvoudige systemen tot 1 voor de meest gecompliceerde. Met behulp van deze index kon worden verwacht dat klimaatingenieurs zich meer bewust worden van hun verantwoordelijkheid voor een mogelijke prestatieklouf. Door tijdgebrek en te weinig kennis van onderhoudstechniek is deze index helaas nooit van de grond gekomen. Niettemin dient het uitgangspunt en de basale grondhouding van elke ontwerper te zijn de beroemde uitspraak van Einstein, zie foto 1.

Er is hierbij overigens een directe relatie tussen de mate van complexiteit van installaties en de beheersvorm hiervan. Bij professioneel beheer behoeven complexe installaties op zich geen probleem te vormen mits deze bijdragen aan de doelstelling van het ontwerp. Als dat echter niet gegarandeerd is moet Einstein temeer in gedachten worden gehouden. Dit geldt met name voor de woningbouw, waarin door de energietransitie steeds complexe-

re installaties verschijnen, waarmee bewoners zich vaak geen raad weten. Het zou bijzonder nuttig zijn als het idee van de KISS-index eens nader zou worden uitgewerkt. Een mooi onderwerp voor een afstudeerder, ISSO of TVVL?

#### Individuele regelbaarheid

Kantoortuinen of open kantoren zijn sinds enkele decennia de trend in kantoorgebouwen. Ze zouden onderlinge communicatie bevorderen en creativiteit en productiviteit ten goede komen. Daarnaast wordt de beschikbare ruimte efficiënter benut. Geluidsoverlast maakt veel werknemers echter onzeker en overprikkeld hetgeen oorzaak is van een verhoogd stressniveau, concentratieproblemen, verminderde productiviteit, meer gemaakte fouten en hoger ziekteverzuim (Aoife Brennen et al 2002). Een individuele temperatuurregeling zou deze problemen kunnen verlichten, maar dat is in een kantoortuin niet mogelijk.

Met het klimaatconcept "Binnenklimaat op Maat" (Bronsema B. 2013) wordt niet alleen het laatstgenoemde probleem in een open kantoor opgelost, maar kan tevens rekening worden gehouden met uiteenlopende thermische belastingen per werkplek of per zone- zie figuur 2.

De ruimte is voorzien van akoestische klimaatplafonds, geordend in elementen ter grootte van 1 moduul, aangesloten op een driepijps koel/verwarmingssysteem. Elk element is afzonderlijk regelbaar en elke gewenste configuratie van elementen kan met behulp van BACnet®, LonWorks® of hybride protocol op een willekeurige persoonlijke thermostaat of smartphone worden aangesloten. Bij een basis luchttemperatuur van  $\approx 18^\circ\text{C}$

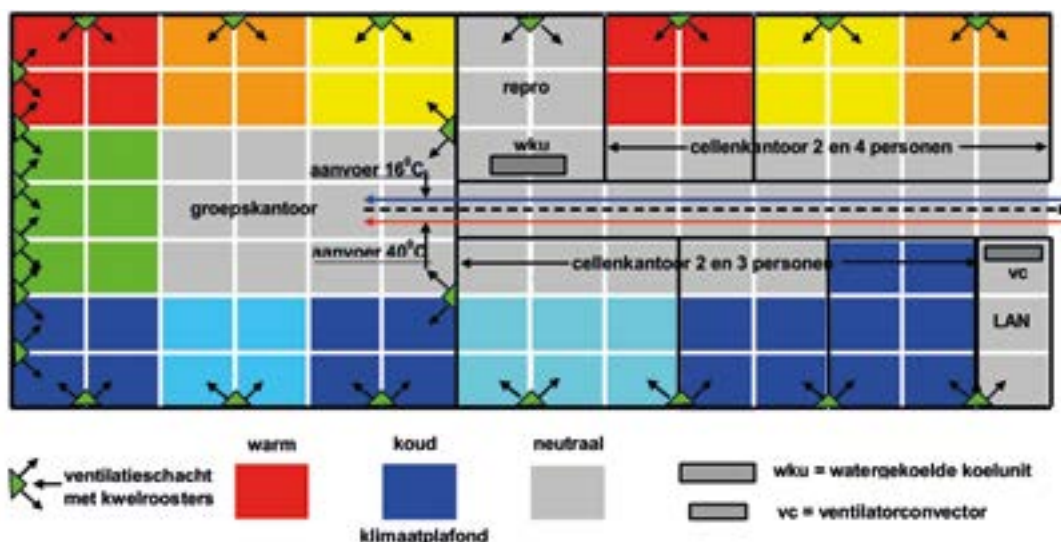
is het hierdoor in principe mogelijk elke werkplek door stralingscompensatie vanuit het plafond te voorzien van individuele microklimaatcondities. Dit is één van de belangrijkste condities voor het realiseren van een hoge thermische tevredenheidsscore in een gebouw.

Voor wat betreft de luchtkwaliteit is het eveneens aan te bevelen de ruimtetemperatuur tegen de ondergrens van het behaaglijkheidsbereik te houden omdat de lucht frisser aandoet.

De kleuren van de klimaatplafonds in figuur 2 laten zien dat de kantoorruimten aan de ene gevel overwegend warmte vragen, terwijl aan de andere gevel een overwegende koelbehoefte is. In de binnenzone wordt geen warmte- of koude geleverd. Door de modulaire opbouw van het plafondsysteem kan de ruimte vrij worden ingedeeld, zowel in cellenkantoren als groepskantoren.

In dit concept wordt de ventilatielucht met een temperatuur van  $\approx 18^\circ\text{C}$  op vloerniveau toegevoerd en hoog afgezogen, waardoor bio-effluenten en ziekmakende bacteriën en virussen effectiever worden afgevoerd dan bij traditionele mengventilatie. Terwijl het coronavirus ook in Nederland de maatschappij langzaam ontwricht, en bedrijven hun mensen massaal vanuit huis laten werken om verspreiding van het virus in kantoortuinen te voorkomen, zou dit concept een bijdrage kunnen leveren aan een gezondere werkomgeving.

Het "Binnenklimaat op Maat" concept vergt uiteraard een hogere investering dan een minder geavanceerd klimaatsysteem. De meerkosten zijn echter peanuts vergeleken met de totale arbeidskosten en zullen ruimschoots worden gecompenseerd door hogere productiviteit en minder ziekteverzuim. Verder zijn, door de lage ruimtetemperatuur, ook de energiekosten lager.



Figuur 2: Binnenklimaat op Maat

## Verwachtingspatroon

Deze binnenmilieu prestatiekloof kan ook optreden als het verwachtingspatroon van de gebruiker hoger of anders is dan wat de ontwerper voor ogen heeft gestaan. Individuele verschillen in temperament en "thermisch karakter" van de gebruiker spelen hierbij een rol. Van dit verschil tussen de menselijke- en de technische kant van het installatieontwerp heeft de auteur veel geleerd van zijn lieve vrouw Ilona [3]. Ze vertelde me de waarheid over een van mijn meest innovatieve, maar ook een beetje ingewikkelde verwarmings- en ventilatiesysteem in onze privéwoning in Voorschoten, ontworpen en gebouwd halverwege de jaren zeventig - zie kader de confrontatie tussen een klimaatingenieur en zijn vrouw.

## Mens-Machine-Interactie

De verwarmings- of klimaatinstallatie in een gebouw kan worden gezien als een "machine" die het thermisch comfort en de gezondheid van de mens moet dienen. Deze "klimaatmachine" moet uiteraard zodanig ontworpen zijn dat aan de in het Programma van Eisen gespecificeerde behoeften kan worden voldaan. Deze behoefte wordt meestal uitsluitend uitgedrukt in een bepaalde capaciteit of vermogen om bij een bepaalde buitenconditie een bepaalde binnenconditie te kunnen realiseren. Eisen aan de individuele regelbaarheid en de responstijd op gevraagde conditieveranderingen worden zelden gesteld en de eigenschappen van de "klimaatmachine" om te kunnen voldoen aan basale menselijke comfortsensaties worden nimmer benoemd. Deze gang van zaken kan in feite worden vergeleken met het PvE voor een auto waarin alleen het vermogen wordt gespecificeerd, zonder verder aandacht te besteden aan

## De confrontatie tussen een klimaatingenieur en zijn vrouw

Onze privéwoning in Voorschoten werd ontworpen en gebouwd in 1975-'76. We hebben er twintig jaar lang en gelukkig geleefd. Ik hield van dit huis, en verliet het eind vorige eeuw noodgedwongen en met tegenzin.

De woning was uitgerust met vloerverwarming op de begane grond en een gebalanceerd ventilatiesysteem met naverwarming. Beide systemen waren in staat om het totale warmteverlies te compenseren, zodat we konden experimenteren welke combinaties van systemen ons het beste zouden bevallen. In de zomer werd de toevoerventilator gestopt door een ingenieus regelsysteem om te voorkomen dat de buitenlucht werd verwarmd. De WTW-unit was ook aangesloten op de gasketel om warmte uit de rookgassen terug te winnen. In de winter werd het condenswater naar een luchtbevochtiger in de toevoerlucht gevoerd. Het hele systeem werd elektronisch geregeld. Tegenwoordig kun je dit soort systemen van de plank kopen, maar destijds was het een hele klus om deze zelfontworpen installatie te laten werken. Maar alles werkte perfect ondanks mijn angsten toen ik zelf het systeem in gebruik stelde. Het was erg comfortabel in het huis en ik was er trots op te kunnen constateren dat de combinatie van de trage vloer- en de snelle luchtverwarming in de winter oververhitting van de zon of de open haard voorkwam. En mijn vrouw klaagde nooit. Ze was waarschijnlijk trots op haar briljante echtgenoot. Maar in feite leed ze in stilte!

Dat kwam aan het licht tijdens een korte vakantie in een vakantiehuisje voorzien van een conventioneel verwarmingssysteem met enorme radiatoren (vanwege de enkele beglazing), 1,5-inch pijpen en een grote gasketel op de zolder. Mijn vrouw voelde zich daar heel op haar gemak (ik trouwens ook), en op een rustige avond zei ze plotseling: "Ben, dit is echt een verwarming zoals die zou moeten zijn"! Op dat moment was ik met stomheid geslagen, maar ik herstelde me snel en vroeg, echter met onderdrukte ergernis "Waarom Ilona?"

"Wel", zei ze, "ik begrijp dit systeem en in zekere zin gehoorzaamt het mij. Als ik de thermostaat draai, klikt hij en dat is voor mij het signaal "Ja mevrouw, ik zal doen wat u wilt". Dan hoor ik "vroooooeeem", de ketel slaat aan en seconden later hoor ik de pijpen kraken en wanneer ik mijn hand op de radiator leg, voel ik de warmte. En tien minuten later is het warm in de kamer. In ons eigen huis hoor ik niets en voel ik niets. Je zegt dat de warmte uit de vloer en uit de lucht komt, maar wanneer ik mijn hand op de vloer of in de lucht hou, voel ik geen warmte. En bij onze thermostaat hoor ik nooit een klik. Werkt die eigenlijk wel? "

Ik heb geduldig uitgelegd dat elektronische thermostaten niet klikken, en dat vloer- en luchtverwarming lage temperatuursystemen zijn, die aangename warmte geven bij een laag energiegebruik. Maar ze zei: "Ik heb daar nooit om gevraagd. Ik wil een verwarming die doet wat ik wil en die ik begrijp".

Ilona was niet dom; Integendeel! Ze had een uitstekend gezond verstand, maar tegelijkertijd was ze een temperamentvolle vrouw, die warmte wil voelen als ze daar opdracht voor geeft, zoals de lamp die direct na het omdraaien van de schakelaar licht geeft. En ze heeft geen zin zich te verdiepen in de werking van verwarmings- en ventilatiesystemen. Als zodanig dient zij als een model voor veel van onze klanten.

het acceleratievermogen en de stoelbekleding. Deze auto valt in het gebruik ongetwijfeld tegen, en dat is dan ook het geval met de "klimaatmachine" die op basis van een dergelijk PvE is uitgevoerd.

Het is gewenst in Programma's van Eisen ook een bepaling op te nemen over de Mens Machine Interface, onder andere de individuele regelbaarheid en de responstijd en ook nadere comfortspecificaties met betrekking tot convectie en straling.

#### Responstijd

De responstijd is de tijd die verstrijkt tussen een actie van een gebruiker, bijvoorbeeld een thermostaatverstelling, en een waarneembare temperatuurverandering in de ruimte. De responstijd neemt toe bij een grotere bouwmassa, die als accumulator werkt, en neemt af bij een grotere capaciteit of vermogen van de installatie.

In de Nederlandse bouwpraktijk wordt een grote bouwmassa meestal als positief gezien. Soms wordt de bouwmassa zelfs virtueel vergroot door de toepassing van *phase change material* (PCM) in plafond, wanden of vloer. Omdat in de zomermaanden overdag veel warmte wordt opgeslagen, kan in combinatie met nachtventilatie, oververhitting van ruimten worden voorkomen zonder gebruik van actieve koeling. De keerzijde hiervan is een lange responstijd die zich vooral in de wintermaanden manifesteert. Een gebruiker die op de thermostaat een iets hogere temperatuur instelt moet lang wachten voordat hij of zij daarvan in de ruimte metterdaad iets ervaart. Temperamentvolle mensen hebben dan de neiging de thermostaat zo hoog mogelijk te zetten in de verwachting dat het dan sneller gaat. Dit resulteert na verloop van tijd uiteraard in een te hoge ruimtetemperatuur, met comfortverlies en verhoogd energiegebruik tot gevolg. Vergroting van de capaciteit of het vermogen van de installatie is onwenselijk in verband met de inherente kosten, en vaak ook onmogelijk vanuit het streven naar de toepassing van lage-temperatuur (LT) systemen.

Door de introductie van energiezuinige klimaatsystemen [4] kan het nut van een grote bouwmassa ter voorkoming van actieve koeling worden genuanceerd. In de Nederlandse bouwpraktijk wordt echter veel met beton en baksteen gebouwd, en moet gezocht worden naar methoden en middelen die de nadelen hiervan in de wintermaanden kunnen reduceren of compenseren. Een voor de hand lig-

gende manier is het handhaven van een constante lage luchttemperatuur in de ruimte in combinatie met behoefteafhankelijke plaatselijke stralingscompensatie met behulp van snel reagerende lichte elementen met korte responstijd. In de utiliteitsbouw is een licht aluminium klimaatplafond in het "Binnenklimaat op Maat" concept volgens figuur 2 een goed voorbeeld.

In de woningbouw, waar lage-temperatuur vloerverwarming populair is kan in de woonkamer een elektrisch infrarood paneel worden aangebracht, ofwel aan de bewoners een mobiel stralingspaneel ter beschikking gesteld met een vermogen van  $\approx 1,5$  kWe, dat in mindering wordt gebracht op de capaciteit van het verwarmingssysteem. Dergelijke panelen geven na inschakeling direct straling af en compenseren daarmee de traagheid van het verwarmingssysteem.

#### Comfortsensaties

Een notoir nadeel van de onvermijdelijke lage-temperatuurverwarming is het ontbreken van een hoge-temperatuur stralingsbron, die voor veel mensen van groot belang is voor hun gevoel van thermisch comfort. Mede om deze reden zijn open haarden in de woningbouw zo populair. Een elektrisch infrarood paneel geeft na inschakeling direct straling af, compenseert daarmee niet alleen de traagheid van het verwarmingssysteem (zie hiervoor), maar komt ook tegemoet aan de menselijke behoefte van warmtestraling.

Vanuit de bouwbiologie wordt trouwens op basis van de fysiologie van de mens wandverwarming geprefereerd, omdat horizontale stralingswarmte gezonder en comfortabeler wordt geacht dan verticale (Peynenburgh, Renz 2018). Door de geringere massa is ook de responstijd kleiner. Een negatieve comfortsensatie bij vloerverwarming is de mogelijk koudeval in de gevelzone in de wintermaanden bij ventilatie via gevelroosters.

#### Mens-Machine-Interface

De bovengenoemde "klimaatmachine" wordt bediend door middel van een interface, meestal een thermostaat. De interface vertaalt de gebruikersinput naar signalen voor de machine, die op haar beurt de gebruiker weer voorzien van het gewenste resultaat. De interface tussen mens en machine moet uiteraard gebruiksvriendelijk zijn, en dat laat nogal eens te wensen over, vooral met programmeerbare thermostaten. Het gaat hier niet om de technisch meest geavanceerde oplossing, maar eerder om de meest wenselijke vanuit perspectief van de gebruiker.

#### De energie prestatiekloof

Het People-Planet-Profit concept stelt de mens voorop en het onderzoek naar de binnenmilieu prestatiekloof zou daarom de meeste aandacht moeten krijgen. Niets is echter minder waar: Verreweg de meeste aandacht gaat uit naar de berekening of voorspelling van energieprestaties. De hiervoor gebruikte energiesimulatiemodellen dienen als adviesinstrument voor

beleidsmakers, onderzoekers en adviseurs voor het terugdringen van het energiegebruik, vooral in woningen.

Het gaat hier om aspect nr. 1 in figuur 1, te definiëren als de kloof is tussen de theoretische resultaten van de energiesimulatie van gebouwen en het werkelijke energiegebruik, dat in sommige gevallen een factor 3 – 4 hoger is dan berekend. Deze discrepantie tussen theorie en praktijk is problematisch, omdat de verwachte energiebesparing vaak niet wordt behaald. Voor mogelijke oorzaken hiervan zie tabel 2.

Oorzaak	Verantwoordelijkheid
Falend simulatiemodel	Modelontwerper
Onjuiste gebouwkenmerken	Bouwfysicus
Onjuiste installatiekenmerken	Installatieontwerper
Onjuiste belasting profielen	Opsteller Programma van Eisen
Falende uitvoering	Uitvoerende partijen
Falende bedrijfsvoering	Facilitymanagement
Falend onderhoud	Facilitymanagement
Gebruikersgedrag	Gebruiker i.c.m. falende M-M-I [5]

Tabel 2: Mogelijke oorzaken energie prestatiekloof

Stijgende BENG-prestatie-eisen worden in eerste instantie vaak ingevuld door thermische verbetering van de gebouwschil. Hierdoor neemt de relatieve invloed van de klimaatinstallatie, de verlichting en regeltechniek toe evenals de impact van bewoners, hun aanwezigheid, gewoonten en interacties. Bewoners produceren warmte, vocht en verontreinigingen, openen en sluiten ramen, bedienen de zonwering, stellen thermostaten in, schakelen elektrische verlichting en gebruiken apparatuur. Hun gedrag kan resulteren in een verschil in energiegebruik met een factor twee of meer. Zelfs in gebouwen met een hoge mate van automatisering kunnen bewoners gebouwen gebruiken op een manier die nooit door de ontwerper is bedacht (William O'Brien et al 2019).

Wetenschappelijk onderzoek houdt bewoners en gebouwkenmerken in ongeveer gelijke mate verantwoordelijk voor variaties in het werkelijke energiegebruik van woningen. Om de kloof tussen theorie en praktijk te verkleinen, kunnen met behulp van statistische gegevens en kalibratiemethoden simulatiemodellen verbeterd worden. In een recent promotieonderzoek wordt een methode ontwikkeld om simulaties op bouwvoorraadniveau te kalibreren, waardoor simulatietools voor bouwenergie betrouwbaarder kunnen worden voor beleidsmakers (Paula van den Brom 2020).

Ook Laure Itard, de nieuwe hoogleraar Building Energy Epidemiology aan de faculteit Bouwkunde van TU Delft, pleit in haar intrede voor het gebruik van statistische methoden voor verbetering van simulatiemodellen voor woningen (Laure Itard 2020). Haar onderzoek richt zich met name op de vraag hoe slimme meters, domotica, huishoudelijke apparatuur en gebouwmanagementsystemen, die iedere dag miljarden datapunten leveren, gebruikt kunnen worden om de prestaties van energiesystemen in gebouwen beter te begrijpen. Ze legt hierbij een relatie tussen duurzaamheidsdoelstellingen, het welzijn van bewoners en de toegepaste technologie, een uitdagend vraagstuk. Het gedrag van mensen kan hierdoor in principe beter worden ingevoerd in simulatiemodellen. Slim gebruik van "big data" kan voorkomen dat energiesystemen suboptimaal blijven werken. De big data revolutie die zich in het afgelopen decennium voltrok opent hiervoor ongekende mogelijkheden. Hierbij wordt voortgeborduurd op eerder onderzoek (Laure Itard 2015).

Door gebruik van installatietechniek met een doeltreffender Mens-Machine-Interactie en bijbehorend Mens-Machine-Interface kan naar het oordeel van de auteur ook het gebruikersgedrag beter worden voorspeld, waardoor de energie prestatiekloof kan worden verkleind.



Ben Bronsema, eigenaar van Bronsema Consult, en gastonderzoeker op de TU Delft, Faculteit Bouwkunde, afd. Architectural Engineering + Technology.

#### Referenties

- Center for Facilities Management, DTU Management Engineering, Technical University Denmark
- Mens-Machine-Interactie
- (†2008)
- Bijvoorbeeld het Earth, Wind & Fire concept voor Natuurlijke Airconditioning (Bronsema B. 2013)
- Mens-Machine-Interactie

#### Overige referenties

- Agentschap NL 2010. IOP Men- Machine-Interaction. Publicatie 3IMMI1001
- Aoife Brennan et al 2002. Traditional versus Open Office Design: A Longitudinal Field Study. Environment and Behaviour Volume 34 Issue 3, May 2002
- Laure Itard 2020. Energy analytics for sustainable buildings. Intrede TU Delft 7 februari 2020.

- Laure Itard 2015. Energy performance and comfort in residential buildings: Sensitivity for building parameters and occupancy. Energy and Buildings Volume 92, 1 April 2015 pp 216-233
- Mendell M.J. 2000. Ventilation Systems and Building-Related Symptoms: An Epidemiological Perspective. Healthy Buildings conference 2000.
- Paula van den Brom 2020. Energy in dwellings. A comparison between theory and practice. Proefschrift TU Delft
- Renz Peynenburgh 2018. ISIAQ.nl Symposium Binnenmilieu in energie-efficiënte woningen
- Stefan Plesser, Ole Teisen 2018. Quality Management and Digitalization for Building Performance. The REHVA European HVAC Journal, Volume:55, Issue:6, December 2018. <https://www.rehva.eu/rehva-journal/chapter/quality-management-and-digitalization-for-building-performance>
- William O'Brien et al 2019. Advancing Occupant Modeling for Building Design & Code Compliance. ASHRAE Journal februari, maart, april 2019