

Energieanalyse en fout Vertigo-gebouw

Omdat het wenselijk is de achteruitgang/degradatie van de gerealiseerde besparingen tegen te gaan die bij commissioning zijn bereikt, is er behoefte aan een goedkope tool voor foutdetectie en diagnostiek, die continu de energieprestatie (Continuous commissioning!) van een gebouw in de gaten kan houden. Het Energy Systems Laboratory, verbonden aan de Texas A&M Universiteit in de USA, heeft een prototype van zo'n tool ontwikkeld, dat Automated Building Commissioning Analysis Tool (ABCAT) wordt genoemd. Dit prototype is toegepast op het Vertigo gebouw van de Technische Universiteit Eindhoven (zie figuur 1).

H.C. (Henk) Peitsman, B.Sc., TNO Built Environment and Geosciences; ing. K.P.A. (Kees) van den Aker, B.Sc., TU Eindhoven; Prof.dr. D.E. (David) Claridge M.Sc, PhD, Texas A&M University; J.D. (John) Bynum, Texas A&M University

■ INLEIDING

De ervaring leert dat het energiegebruik in gebouwen aanzienlijk hoger is dan nodig voor het comfort van degenen die erin wonen en/of werken. Commissioning in bestaande gebouwen heeft bewezen een veelbelovende manier te zijn voor het beperken van de energieverspilling in bestaande gebouwen. Een belangrijk aandachtspunt bij het toepassen van Commissioning zowel bij nieuwbouw als bestaande bouw hierbij is het permanente

karakter van die besparing. Een recent rapport over een grootschalig onderzoek [1] vermeldt dat gerealiseerde energiebesparing vast te houden zijn (constant blijft) tot 3 à 5 jaar na de ingebruikneming van de installatie. Deze conclusies worden weersproken door een andere studie, die bestaat uit specifieke analyses van de mate van het permanente karakter van de energiebesparingen van tien universiteitsgebouwen. Hierbij werd een stijging geconstateerd van 12,1 %

van het energiegebruik van de verwarmings- en koelinstallaties tijdens de eerste twee jaren na het uitvoeren van een commissioning exercitie [2]. In beide studies werd de behoefte geconstateerd aan een tool (hulpmiddel) voor gebouwbeheerders voor het beoordelen van de energieprestaties van gebouwen na de commissioning, het identificeren van beheer- en bedieningsproblemen, en de oorzaken daarvan. Foutdetectie en -diagnostiek (FDD) kan worden omschreven als een proces waarin

(i) het normale functioneren van een installatie wordt beschreven in termen van meetbare parameters, (ii) het bewaken van deze parameters daarvan teneinde die binnen de tolerantiegrenzen te houden en (iii) het bepalen van de oorzaken prestatieruggang en van storingen. Foutdetectie en -diagnostiek is op vergelijkbare wijze gedefinieerd door Iserman [3] en Hyvarinen e.a. [4]. De, nu als gemeengoed verondersteld mag worden, aard van Directe Digitale Controle (DDC)-systemen in nieuwe- en bestaande gebouwen, dit gecombineerd met betrouwbaarder sensoren, hebben de mogelijkheden voor FDD in de bouwsector aanzienlijk verbeterd. Ondanks deze ontwikkeling zijn de acceptatie en de implementatie van geavanceerde FDD-systemen nog niet algemeen. Dit wordt veroorzaakt door de specifieke aard van geavanceerde, op DDC gebaseerde FDD-systemen. Het vereist een specifieke expertise om die systemen te implementeren. Er zijn verschillende FDD-methoden bruikbaar voor de bepaling van het correcte systeemgedrag. FDD-methoden kunnen zijn gebaseerd op (i) zg. 'first principle' modellen die

worden gehouden met beheer en bediening en kan worden uitgevoerd ongeacht de aanwezigheid van een DDC-systeem. Hierdoor is gedetailleerde diagnostiek moeilijker, maar het effect van een storing op het systeem als geheel wordt wel duidelijk [4]. Gegeven de behoefte aan een goedkoop geautomatiseerd en gebruiksvriendelijk FDD-systeem dat eenvoudig te implementeren is, lijkt een 'top down' benadering de meest bruikbare om (i) een energie-analyse van het gebouw te maken en (ii) de behoeften voor dataverwerking bescheiden te houden. De modellen voor model-gebaseerde FDD-methoden kunnen worden onderverdeeld in zg. 'data gedreven' en 'first principle gedreven' modellen. De 'data gedreven' modellen worden wel aangeduid als zg. "black box" modellen. Bij deze modellen wordt een empirisch verband gelegd tussen ingang- en uitgangsvariabelen van het model. De 'First principle' modellen worden ook wel aangeduid als "white box" modellen, en zijn gebaseerd op fysische wetmatigheden die hierin een rol spelen. De voordelen van deze 'top down' benadering hebben geleid tot de ontwikkeling van een aantal FDD 'tools'. ABCAT is uniek, omdat het uitgaat van grondbeginselen die in een kalibreerbaar wiskundig model zijn opgenomen, een "white box" methode dus, waarmee het energiegebruik kan worden voorspeld onder gegeven weersomstandigheden [6]. Geavanceerde modellen, als Energy Plus of TRNSYS, hebben in het algemeen veel data- invoer nodig en zijn daardoor moeilijk te kalibreren. Echter hebben vereenvoudigde modellen, gebaseerd op first principle (grondbeginselen) analyse, zoals de Simplified Energy Analysis Procedure (SEAP) die is ontwikkeld door Knebel [7], minder invoer nodig en zijn dus makkelijker te kalibreren [8]. Deze laatste wordt gebruikt in ABCAT.

diagnose TU/e

zijn gebaseerd op fysische wetmatigheden, (ii) statistische regressieanalyse van meetwaarden, (iii) kunstmatige (artificial) neurale netwerken (ANN's), (iv) 'als-dan' regels gebaseerde expertsystemen en (v) analyse van basisprincipes. De in ABCAT gebruikte methode is op een model gebaseerd, dus laatst genoemde methoden zullen hier niet worden besproken.

Voor de model-gebaseerde FDD-methoden zijn er twee benaderingen te benoemen die bekendstaan als 'bottom up' en 'top down' [4]. De 'bottom up' aanpak gaat uit van componenten of subsystemen en vereist grote hoeveelheden gedetailleerde informatie. Daardoor is dit het best te combineren met DDC-systemen. Gegeven de beperkte focus van deze aanpak, is het diagnosticeren van geconstateerde fouten en afwijkingen op componentniveau vaak eenvoudig. De moeilijkheid zit vaak in het onderscheiden van fouten en afwijkingen die tegelijk optreden. De effecten van fouten en afwijkingen op globaal systeemniveau, een abstractieniveau hoger dan componentniveau, zijn vaak moeilijker te vinden [5]. De 'top down' benadering gaat uit van een energieanalyse van het hele gebouw. Een op gebouw niveau gebaseerde analyse heeft geen grote hoeveelheid informatie nodig en er hoeft geen rekening te

■ ABCAT -METHODOLOGIE

Zoals hiervoor aangegeven is de ABCAT-tool een energieanalyse tool op gebouwniveau. Het vereist slechts het gebruik van drie sensoren



-Figuur 2- Aanzicht van het Vertigo-gebouw.

(sommigen bestaan in feite uit meer dan één sensor/instrument, maar worden ter wille van de duidelijkheid één sensor genoemd). Die sensoren zijn in sommige gebouwen reeds aanwezig. Is dat laatste niet het geval dan zijn ze vaak alsnog goedkoop aan te schaffen en eenvoudig aan te brengen voor de registratie van (i) het totale elektriciteitsverbruik, (ii) het totale energiegebruik voor koeling en (iii) het totale energiegebruik voor verwarming. Door het beperkte aantal sensoren is deze tool kosteneffectiever, eenvoudiger en beter aansluitend op de vraag in de markt dan die hierboven ook beschreven complexe systemen. Het voorspelde energiegebruik wordt vergeleken met het gemeten energiegebruik, terwijl fouten worden gedetecteerd op basis van statistisch significante afwijkingen tussen beide datasets [9]. Het belangrijkste doel van ABCAT is de detectie van fouten en afwijkingen die op de lange duur een significante impact hebben. Deze methode brengt namelijk vooral cumulatieve effecten aan het licht. De rest van dit artikel gaat over een test-toepassing van ABCAT op het Vertigo-gebouw van de Technische Universiteit van Eindhoven.

■ BESCHRIJVING VERTIGO-GEBOUW

Het Vertigo-gebouw (figuur 2) beslaat 26.000 m², verdeeld over in totaal twaalf verdiepingen en huisvest de faculteit Bouwkunde van de TU Eindhoven. Het werd gebouwd in 1965 en onderging in 2002 een grote renovatie, gevolgd door functionele prestatietesten van de installatie en het hydraulisch- lucht en waterzijdig inregelen in 2006. Het gebouw bestaat uit een hoogbouwgedeelte van zeven verdiepingen met een relatief klein vloeroppervlak en een laagbouwgedeelte van drie verdiepingen met een groter vloeroppervlak, evenals twee ondergrondse verdiepingen. De vier bovenste verdiepingen worden gebruikt als kantoorruimte, die een centraal atrium delen, dat overspannen is door een glazen plafond. Deze vier bovenste verdiepingen worden omringd door een open gebied dat kan worden beschreven als een gesloten balkon op de zesde verdieping dat open is naar het plafond van de negende verdieping. De overige verdiepingen en het lage gedeelte van het gebouw zijn een combinatie van collegezalen, kantoren en laboratoria. In de kelderverdiepingen bevinden zich de HVAC-installaties. De oostelijke en westelijke façades bestaan geheel uit glas, de noordelijke half uit glas en half uit beton. Bescherming tegen direct instraling door zonlicht wordt geboden door met de hand bediende inwendige zonneschermen.

Het Vertigo-gebouw is in het algemeen bezet tussen 08:00 uur en 18:00 uur op werkdagen en is leeg gedurende de weekeinden.

De primaire HVAC-systemen bestaan uit een warmtepomp in de kelder (zie figuur 3) en twee aardgasgestookte boilers op het dak. De ruimteconditionering wordt gerealiseerd door een combinatie van vier luchtbehandelingskasten (LBK's) die in de vertrekken lucht inblazen. Verder zijn convectieve radiatoren opgesteld langs de gehele buitengevel van het gebouw, een vierpijps klimaatplafond is gerealiseerd in de kantoorruimten en tien fancoil units zijn geplaatst in specifieke ruimten met hoge interne warmtebelasting. Alle vier de LBK's leveren een constante volumestroom en bestaan uit een toevoerventilator, een retourventilator, een warmtewiel, een koudwaterbatterij en een warmwaterbatterij. Op de vier bovenste verdiepingen wordt de ventilatie-lucht niet door de ruimten geleid, maar wordt aangeleverd vanuit het atrium. De verwarming door de AHU's wordt uitgeschakeld wanneer de buitentemperatuur hoger wordt dan 16 °C. De convectieve radiatoren zijn ingedeeld in zes groepen en worden aangestuurd door tweewegkleppen die in het hele gebouw de kamertemperatuur op de ingestelde waarde van 22 °C houden. De radiatoren worden uitgeschakeld wanneer de buitentemperatuur hoger wordt dan 14 °C. De klimaatplafonds in de kantoorruimten worden ter plaatse ingesteld op de gewenste waarde om de betreffende ruimte op deze ingestelde waarde te houden. Wanneer de buitentemperatuur hoger wordt dan 10 °C, en de binnenluchttemperatuur is hoger dan 23 °C maar lager dan 25 °C, dan wordt natuurlijke ventilatie in het atrium gebruikt op de bovenste vier verdiepingen door buitenlucht binnen te laten via een dakraam. Indien de binnenluchttemperatuur hoger is dan 25 °C dan gaan ook nog de gevelhuizen open. Dit systeem wordt automatisch bestuurd. Geen van de ramen in de buitengevel kan met de hand worden geopend.

■ DATAVERWERKING

Het gemeten energiegebruik van het gebouw is het totaal van de metingen van (i) vijf elektriciteitsmeters bij de transformatoren, (ii) de elektra sub-meter bij de warmtepomp en (iii) van de aardgasmeter. De elektronische gegevens van de warmtepomp geven slechts het elektrische ingangsvermogen weer, zonder verdere informatie over de warmte- en koudekant van de warmtepomp. Er is daarom verondersteld dat de warmtepomp in de koelingsmode werkt wanneer de buitentem-



-Figuur 3- Aansluiting Warmte/koude-opslag (WKO) met warmtepomp en cv-verdeler.

peratuur hoger is dan 15 °C en in de verwarmingsmode voor temperaturen lager dan 15 °C. Deze veronderstelling is gebaseerd op de setpoints voor het uitschakelcommando voor de verwarmingsfunctie van de LBK's en van de radiatoren, respectievelijk 16 °C en 14 °C. In de koelingsmode is aangenomen dat de COP van de warmtepomp een constante waarde heeft van 5,86. Het ketelrendement wordt ook verondersteld een constante waarde te hebben van 85 %, en 1 m³ aardgas een gemiddelde verbrandingswaarde van 33.500 kJ/m³. Hoewel de constante prestatiekenmerken de werkelijke prestatie uiteraard niet weergeven, worden deze eenvoudige veronderstellingen voldoende geacht bij gebrek aan detailinformatie.

■ GEKALIBREERDE SIMULATIE

De voor analyse beschikbare data bestrijkt de periode van 1 januari 2006 tot en met 24 september 2009. De data van de energiegebruiken werden betrokken uit het gebouw-beheersysteem zoals hierboven beschreven, terwijl de weergegevens werden verkregen van het KNMI-station Eindhoven. Aanvankelijk was de ABCAT-simulatie gekalibreerd ten opzichte van het verbruiksniveau van 2006. Toen die werd toegepast op de verbruiksdata van 2007, werd een duidelijk afwijkend patroon geconstateerd, wat ook te verwachten was, vanwege lucht- en waterzijdig inregelen en het uitvoeren van functionele testen in 2006. Dientengevolge werd de ABCAT-simulatie gekalibreerd ten opzichte van het verbruiksniveau in de periode van 1 januari 2007 tot en met 31 december 2007. De resultaten daarvan worden weergegeven in Figuur 4 en Tabel 1.

Eén opmerkelijk aspect is het verschil in verbruikspatronen op werkdagen en in week-einden. Dit verschil is het duidelijkst in het geringere verbruik voor verwarming bij een buitenluchttemperatuur onder 12,5 °C. Dit verschil is toe te schrijven aan het gewoonlijk

afsluiten van de HVAC-installatie tijdens alle weekeinden van het jaar (zie cirkel in figuur 4).

■ FOUT DETECTIE EN DIAGNOSTIEK

Bij toepassing van een gekalibreerde simulatie op de data van 2008 en 2009 werd een toename van het verbruik in de weekeinden geconstateerd. Figuur 5 toont de ABCAT- resultaten voor 2008 en figuur 6 die voor 2009. In het verbruik als functie van de buitenluchttemperatuur voor 2008 zijn drie verschillende patronen waar te nemen voor het gemeten verbruik voor verwarming bij lage temperaturen. Nadere beschouwing van de tijdreeksen wijst uit dat de verandering in gemeten verbruik tijdens weekeinden pas in de loop van het jaar afweek van dat in het referentiejaar 2007. De gemeten trendmatige toename in het verbruik treedt pas aan het eind van 2008 op.

In het verbruik als functie van de buitentemperatuur voor 2009 zijn twee verschillende patronen waar te nemen, maar in dit jaar is pas bij veel lagere temperaturen een trendmatig lager weekeinde- verbruik te constateren dan in het referentiejaar 2007. Bovendien is de hellingshoek veranderd in het weekeinde patroon, omcirkeld in figuur 6. Hieruit blijkt een afname van het gemeten verbruik bij afnemende temperatuur.

Nadere analyse wijst uit dat dit gemeten verbruikspatroon alleen optrad in de weekeinden van januari en februari. Worden deze dagen wegge- laten, dan blijft er geen onderscheidbaar weekeinde- verbruikspatroon over, zoals blijkt uit figuur 7. De overgebleven twee gemeten warmtever- bruikspunten, rood omcirkeld in figuur 7, liggen onder de hoofdgroep en hebben betrekking op vakantiedagen in januari.

Wanneer van de gemeten verbruiken de uurgemiddelden van 2008 en 2009 met elkaar worden vergeleken, (zie figuur 8) wordt een overgang duidelijk van de oorspronkelijke weekeinde verbruiksniveaus naar het

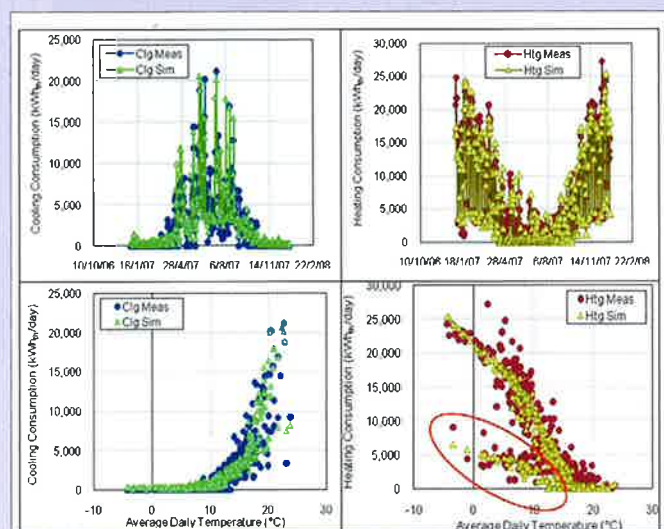
verbruikspatroon van maart t/m september 2009. Deze grafiek toont een gemiddeld verbruiksniveau per uur voor verwarming, op de dagen van de weekeinden voor elke maand, als functie van de bijbehorende gemiddelde uurlijkse buitenluchttemperatuur.

De verandering ontstond dus niet onmiddellijk, maar werd geleidelijk sterker, tot de verbruikspatronen voor weekeinden en werkdagen niet langer onderscheidbaar waren. Dit gebrek aan onderscheid tussen gemeten verbruikspatronen in 2009 is een duidelijk verschil met de simulatieresultaten die wel een trendmatig verschil tussen weekeinden en werkdagen voorspellen, zoals weergegeven in figuur 6.

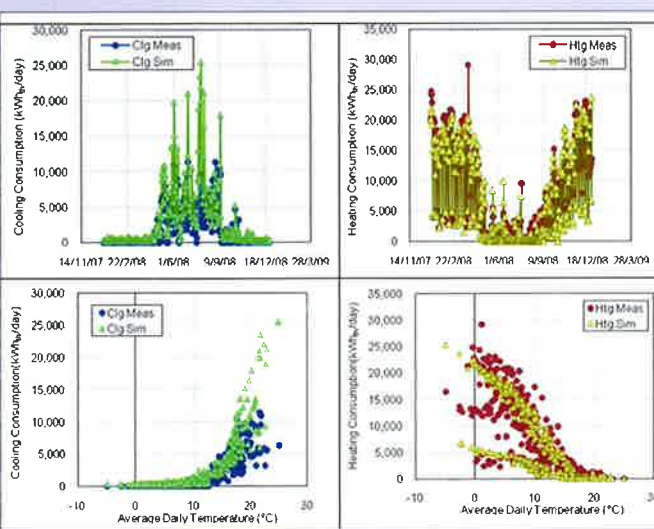
Nadat een mogelijkheid fout was geconstateerd, werd de eerste stap in de diagnosestelling gedaan. Nagegaan is of er iets veranderd was in de bedrijfsvoering of verandering van setpoints in deze periode. De gebouwbeheerder is nagegaan of er wijzigingen waren doorgevoerd in de bedrijfsvoering rond deze tijd. Die bleken er inderdaad te zijn geweest. De bedrijfsvoering is aangepast naar aanleiding van comfortklachten in de loop van 2008 en 2009. De gebouwbeheerder kon echter geen exacte datums meer achterhalen. De meest voorkomende klacht was dat de binnentemperatuur op maandagochtend niet het gewenste niveau had bereikt. De doorgevoerde verandering was onder meer een verhoging van de ingestelde binnenluchttemperatuur met 1 °C, zowel tijdens kantoor tijd als buiten de normale kantoor tijden. Hierbij werd een variabele starttijd-algoritme toegepast voor de radiatoren, waarbij werd uitgegaan van de warmtebehoefte op de voorgaande dagen. De eerste verandering, vermoedelijk doorgevoerd in het begin van 2009, zou moeten resulteren in een algemene verhoging van het warmte- verbruikspatroon. Een beoordeling van de ABCAT- resultaten voor 2009 leidt tot de conclusie dat het gemeten verbruik voor verwarming

	RMSE	MBE	Max	Gemiddeld	CV- RSME	
Koeling:	1.815	242,8	21.161	2.560	24,5 %	kWh _{th} /dag
Verwarming:	2.227	-638,6	27.211	7.402	30,1 %	kWh _{th} /dag

-Tabel 1- Kalibratie-statistieken.



-Figuur 4- gemeten koudeverbruik (Clg Meas) en Gesimuleerde koudeverbruik (Clg Sim) en gemeten warmteverbruik (Htg Meas) en Gesimuleerde warmteverbruik (Htg Sim) als functie van de tijd en als functie van de gemiddelde buitenluchttemperatuur (Average Daily Temperature) voor de kalibratie periode van 01/jan/2007 tot en met 31/dec/2007



-Figuur 5- Gemeten koudeverbruik (Clg Meas) en Gesimuleerde koudeverbruik (Clg Sim) en gemeten warmteverbruik (Htg Meas) en Gesimuleerde warmteverbruik (Htg Sim) als functie van de tijd en als functie van de gemiddelde buitenluchttemperatuur (Average Daily Temperature) voor de periode 01/jan/2008 tot en met 31/dec/2008 (na de kalibratie periode 2007)

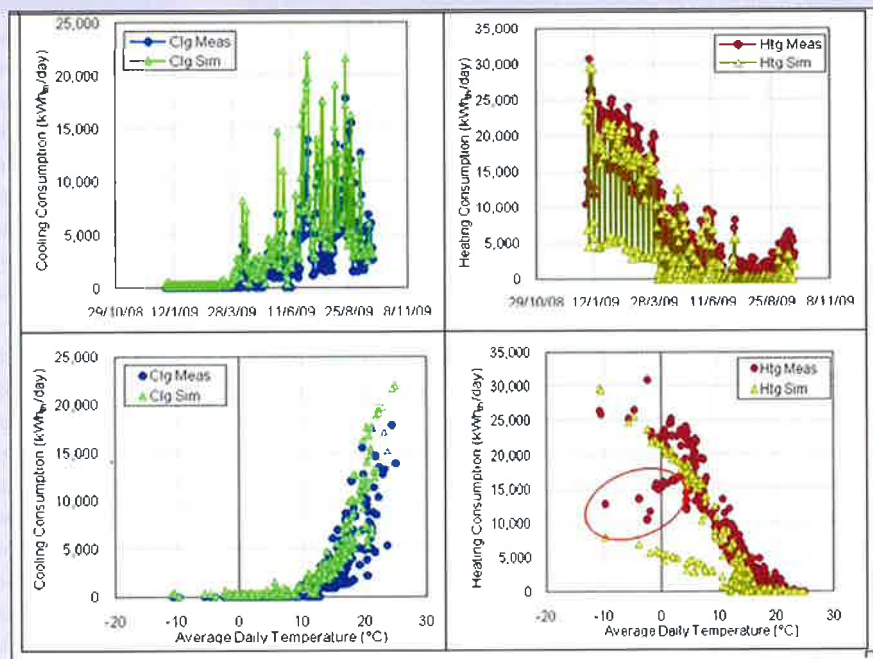
consistent hoger was dan in het gesimuleerde verbruik tijdens weekeinden en werkdagen. De tweede verandering, vermoedelijk eind 2008 doorgevoerd, beoogde tijdens de ochtend-uren comfortklachten weg te nemen door de radiatoren eerder aan te zetten teneinde de binnentemperatuur op het gewenste niveau te hebben wanneer de werknemers arriveerden. Aangezien er geen begrenzing was aan het vervroegen van het inschakeltijdstip, is het mogelijk dat deze verandering het verhoogde verbruik voor verwarming in de weekeinden verklaart.

Voor verdere diagnostiek werden veranderingen in de ABCAT-simulatie aangebracht teneinde de veranderingen in invoergegevens te kunnen vaststellen die nodig zijn om de simulatieresultaten in overeenstemming te brengen met de gemeten waarden voor de perioden in kwestie. De verhoogde instelwaarde voor de binnenluchttemperatuur resulteerde inderdaad in een globale verhoging van het verbruik, maar niet voldoende om het verschil voor weekeinden weg te werken. Vervolgens werd de volumestroom van de verse buitenlucht verhoogd met 15 %. Dit had wel enig effect op de simulatieresultaten, maar niet voldoende. Ten slotte werd het aantal bedrijfsuren van de installatie verhoogd voor zowel weekeinden als werkdagen. Dit heeft geresulteerd dat het gesimuleerde verbruikspatroon dichter bij de meetwaarden kwam te liggen dan de oorspronkelijke gekalibreerde simulatie. Dit was ook verwacht, vanwege de hierboven beschreven wijzigingen in de bedrijfsvoering die was meegedeeld door de gebouwbeheerder.

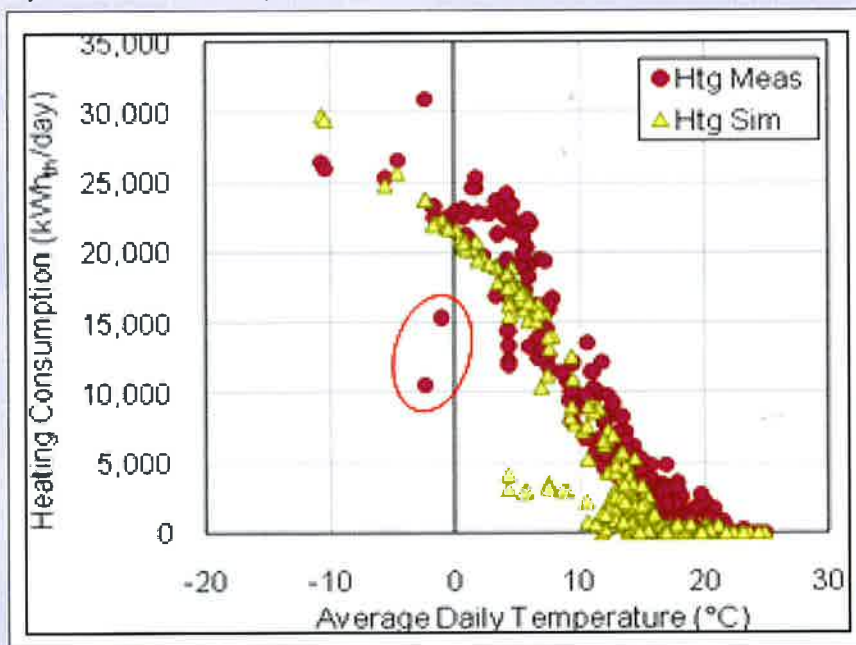
CONCLUSIE

De Foutdetectie en -diagnostiek (FDD) simulatietool ABCAT werd toegepast op het Vertigo-gebouw van de TU Eindhoven. ABCAT toonde correct een potentiële fout/afwijking aan, die uiteindelijk toe te schrijven bleek aan een wijziging in de bedrijfsvoering, naar aanleiding van comfortklachten van werknemers in het gebouw. Deze toepassing van ABCAT was de eerste op een energiezuinig gebouw met duurzame energie opwekking (warmtepomp) en de eerste in Europa.

Het resultaat toont de robuustheid aan van de ABCAT-tool in het bijzonder, en die van op simulatie gebaseerde FDD-methode in het algemeen. De ervaring toont ook de noodzaak van verdere ontwikkeling aan van ABCAT, teneinde het diagnosticeringsproces verder te kunnen automatiseren en minder afhankelijk te maken van de ervaring en kennis van de gebruiker.



-Figuur 6- Gemeten koudeverbruik (Clg Meas) en Gesimuleerde koudeverbruik (Clg Sim) en gemeten warmteverbruik (Htg Meas) en Gesimuleerde warmteverbruik (Htg Sim) als functie van de tijd en als functie van de buitenluchttemperatuur (Average Daily Temperature) voor periode 01/jan/2009 tot en met 24/sep/2009 (na de kalibratie periode 2007)



-Figuur 7- Gemeten (Htg Meas) en gesimuleerde (Htg Sim) warmteverbruik als functie van de buitentemperatuur voor de periode van 01/jan/2009 tot en met 24/sep/2009, exclusief de weekenden in januari en februari (na de kalibratie periode 2007)

AFKORTINGEN

RMSE: root mean square error; gemiddelde kwadratische afwijking
MBE: mean bias error; gemiddelde systematische afwijking
CV- RMS: variatie coëfficiënt voor RMSE

REFERENTIES

1. Mills, E. 2009. "Building Commissioning: A Golden Opportunity for Reducing Energy Costs and Greenhouse-gas Emissions"

2. Turner, W. D., D. E. Claridge, S. Deng, S. Cho, M. Liu, T. Hagge, C. J. Darnell and H. J. Bruner. 2001. Persistence of Savings Obtained from Continuous Commissioning. Proceedings of the 9th National Conference on Building Commissioning, Cherry Hill, NJ.
3. Isermann, R. 1984. Process Fault Detection Based on Modeling and Estimation Methods – A Survey. Automatica: 20(4), pp387-404. Great Britain.
4. Hyvarinen, J. and S. Karki, Eds. 1996. Building

Optimization and Fault Diagnosis Source Book, Technical Research Center (VTT), Espoo, Finland.

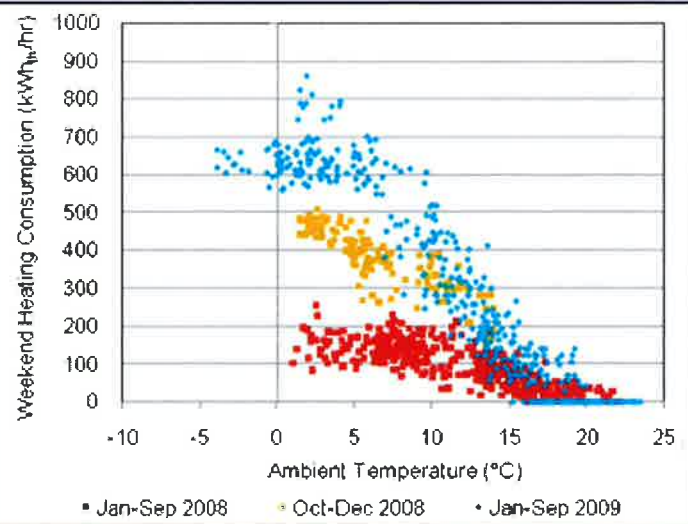
5. Vaezi-Nejad, H., Jandon, M., and Visier, J.C. 2001. Automatic Tools for Fault Detection and Diagnostic of HVAC Systems for Hotel and Office Building. Presented at the The Chartered Institution of Building Services Engineers (CIBSE) National Conference, London, UK, October 18.

6. Curtin, J. M. 2007. Development and testing of automated building commissioning analysis tool (ABCAT). MS Thesis, Texas A&M University, College Station, TX.

7. Knebel, David, E. 1983. Simplified Energy Analysis Using the Modified Bin Method – Prepared for the American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers. ASHRAE: Atlanta, GA.

8. Song, L., Liu, M., Claridge, D.E., and Haves, P. 2003. Study of On-line Simulation for Whole Building Level Energy Consumption Fault Detection and Optimization.

9. Lee, S.U., F. Painter and D. Claridge. 2007. Whole Building Commercial HVAC Systems Simulation for Use in Energy Consumption Fault Detection. ASHRAE Transactions: 113(1), pp52-61.



-Figuur 8- Uurgemiddelden van gemeten verbruiken tijdens de weekeinden, voor verwarming als functie van de bijbehorende uurgemiddelde buitenluchttemperaturen.

"Vrijheid, uitdaging, tevreden
klanten en fijne collega's.
Daarom werk ik bij AAG"

Jelle Tigelaar,
senior adviseur

AAG is het advies- en servicebureau voor zorg, welzijn, kinderopvang, volkshuisvesting en overheden. Wij zijn op zoek naar een:

Adviseur Vastgoedexploitatie

Heb jij verstand van onderhoudskosten van vastgoed; vooral installatietechnisch? Weet jij welke managementinformatie er nodig is om het vastgoed op de juiste wijze te beheren? Lever jij maatwerk in vastgoedbeheer? Solliciteer dan nu!

Kijk voor meer informatie over ons of over de vacature op www.aag.nl.



Samen succesvol