

# Intelligent diagnosticeren van gebouwinstallaties

Begin juli deed SenterNovem een persbericht uitgaan over de onnodig hoge energierekening door slecht beheer en onderhoud van de klimaatinstallaties in gebouwen (zie [1]). De bron voor dit bericht was een onderzoeksrapport van TNO Bouw en Ondergrond en adviesbureau Halmos [2]. Uit dit rapport blijkt dat ongeveer zeventig procent van de klimaatinstallaties niet optimaal werkt en hierdoor gemiddeld 25 % meer energie dan nodig wordt gebruikt. De oorzaak moet voor het belangrijkste deel worden gezocht bij gebrekkig onderhoud en beheer. Nationaal en internationaal worden diverse methoden en technieken opgezet om de actuele werking van installaties periodiek of continu te controleren en te analyseren. Dit artikel gaat globaal in op de mogelijkheden en geeft een voorbeeld van een veelbelovende diagnostiserende module.

- door Dr. L.L. Soethout\* en H.C. Peitsman\*

De processen die de kwaliteit van de gebouwinstallaties moeten garanderen worden aangeduid met de Engelse term com-

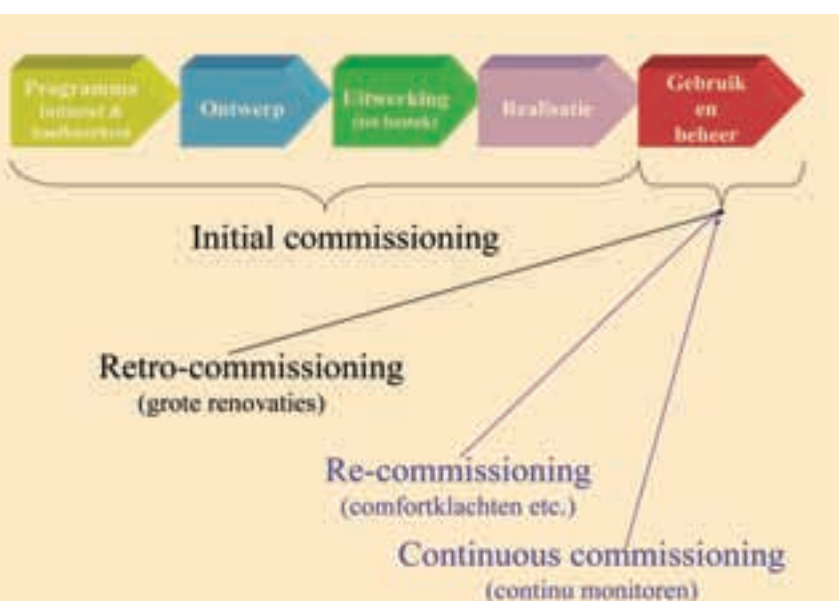
missioning. Hiervan bestaan diverse vormen, die zich afspelen tijdens de verschillende levensfasen van gebouw en installatie, maar die wel een onder-



Dr. L.L. Soethout



H.C. Peitsman



Vormen van commissioning.

- FIGUUR 1-

linge afhankelijkheid hebben.

*Initial commissioning* is de meest bekende vorm. Dit proces loopt vanaf het voorontwerp van een installatie, via de installatie en tot de oplevering en garantieperiode van een installatie en moet ervoor zorg dragen dat de installatie na oplevering werkt volgens de ontwerpeisen.

*Retro-commissioning* is hetzelfde als initial commissioning, maar dan bij een al bestaande installatie. Men spreekt van retro-commissioning als er nooit eerder initial commissioning heeft plaatsgevonden, anders is het eerder re-commissioning.

\* TNO Bouw en Ondergrond

*Re-commissioning* vindt plaats wanneer de werking van een bestaande installatie opnieuw wordt geëvalueerd, bijvoorbeeld wanneer de eisen van de gebruikers zijn veranderd of wanneer de installatie niet voldoet. Dit proces kan leiden tot aanpassingen van het systeem. Periodiek uitvoeren van re-commissioning kan ertoe bijdragen dat de installatie blijft werken volgens de oorspronkelijke uitgangspunten.

*Ongoing commissioning* (of *continuous commissioning*) is een speciale vorm van re-commissioning, waarbij re-commissioning eigenlijk continu plaatsvindt. De nadruk ligt hierbij op optimalisatie van de prestatie van de installatie, en (automatische) aanpassing aan veranderende omstandigheden.

Op het gebied van commissioning en het diagnosticeren van installaties lopen er inmiddels diverse initiatieven, zowel op nationaal als internationaal niveau.

Internationaal zijn vanuit de *International Energy Agency* (IEA), in het programma *Energy Conservation in Buildings and Community Systems* (ECBCS; zie [3]) al jaren werkgroepen actief op het gebied van automatische foutdetectie- en diagnose van klimaatinstallaties, en op het gebied van commissioning. De eerste in de reeks was Annex 25, met als titel *Real Time HVAC Simulation*, en liep van 1991 t/m 1995. Deze annex inventariseerde veelvoorkomende fouten die optreden in klimaatinstallaties en onderzocht diverse methoden voor detectie en diagnose van zulke fouten. Hierbij werd aandacht besteed aan fouten op componentniveau, zoals het defect raken of verlopen van sensoren en het vervuilen van kleppen, maar ook aan fouten op systeemniveau, waarbij de werking van de installatie als geheel wordt geëvalueerd.

Daarna volgde in 1997 Annex 34, *Computer-aided Evaluation of HVAC System Performance*. In deze annex werden de methoden uit Annex 25 verder uitgewerkt en toegepast bij de re-commissioning van bestaande gebouwen. Een studie toonde aan dat het opheffen van fouten in de installatie al snel 20 tot 30 procent energiebesparing kan opleveren, zeker wanneer de opsporingsmethoden in staat zijn ook een langzame achteruitgang in de prestatie waar te nemen.

Annex 40, *Commissioning of Building*

*HVAC Systems for Improving Energy Performance*, startte in 2001 en zocht verder naar methoden om de prestatie van klimaatinstallaties vast te leggen en te verbeteren. Naast de ontwikkeling van gereedschappen hiervoor en de koppeling met gebouwautomatiseringssystemen was er ook aandacht voor de validatie en documentatie van de methoden en voor de ontwikkeling van richtlijnen en procedures voor commissioning.

De huidige werkgroep, Annex 47, draagt de titel *Cost-effective Commissioning for Existing and Low Energy Buildings* en loopt nog tot 2009 [4].

Er doen veertien landen mee, waaronder Nederland. Deze annex wil de eerder ontwikkelde hulpmiddelen ook toepasbaar maken voor laagenergetische gebouwen en het hele proces van commissioning zo efficiënt mogelijk laten verlopen door meer gebruik te maken van ontwerpgegevens en door het proces verder te automatiseren.

Hierbij worden ook de financiële consequenties meegenomen, de balans tussen de kosten voor maatregelen en de operationele besparingen op langere termijn onder de noemer "Pay Now or Pay Later". Ook wordt gekeken hoe commissioning past in richtlijnen door (super)nationale overheden, zoals de Europese *Energy Performance Building Directive* (EPBD) en het Amerikaanse *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED).

Een belangrijke internationale conferentie op dit gebied is de *International Conference for Enhanced Building Operations* (ICEBO). Hier komen jaarlijks experts op het gebied van energie-efficiëntie bij elkaar. De focus ligt hierbij op een blijvende optimale prestatie van gebouwen. In 2008 wordt dit congres gehouden in Berlijn. Voor een overzicht van in het verleden gepresenteerde papers, zie [5].

Op nationaal niveau zijn er ook diverse initiatieven. De TVVL heeft in 1999 een pioniersrol vervuld door samen met zusterorganisaties in REHVA-verband een studie uit te voeren naar commissioning in de klimaatinstallatietechniek. In dat kader is een CD-ROM ontwikkeld ten behoeve van kennisverspreiding over commissioning. Ook heeft de TVVL een cursus op het gebied van commissioning, getiteld 'Commissioning Duurzame Energie Installaties'.

De Rijksgebouwendienst is momenteel bezig met het opzetten van een integrale inspectiemethode voor de eigen gebouwen. Hierbij worden vier aspecten van gebouwen beschouwd, namelijk brandveiligheid, onderhoud, energie en installaties; de naam van de inspectiemethode, BOEI, is afgeleid van de beginletters van deze aspecten. Het doel is om de onsamenhangende en soms overlappende inspecties op het gebied van de verschillende aspecten te harmoniseren tot een integrale inspectiemethode. De verwachting is dat dit leidt tot een betrouwbaarder beeld van de toestand waarin het gebouw verkeert, waardoor een betere planning van onderhoud mogelijk wordt. Op het gebied van installaties zullen er eisen komen op het gebied van de functionele prestaties, de inspecties, het beproeven en het inregelen. De methoden hiervoor worden vastgelegd in protocollen, en worden ondersteund door software. De verwachting is dat dit initiatief ook zijn weg naar de markt zal vinden en op termijn een nationaal draagvlak zal verwerven.

Ook TNO ontwikkelt activiteiten op dit vlak, vooral op het gebied van re-commissioning en ongoing commissioning. Inmiddels hebben in een groot aantal Nederlandse kantoorpanden functionele inspecties plaatsgevonden van de installatie, waarbij vooral werd gelet op het energiegebruik en het gerealiseerde comfort. Zoals al in de inleiding werd aangegeven laten dergelijke inspecties veel problemen zien, die vooral ontstaan tijdens de realisatiefase en tijdens de onderhoud- en beheersfase. Dit heeft diverse oorzaken. De uitvoering van de installatie en het beheer ervan richten zich voornamelijk op het aanbrengen en afregelen van componenten, niet op de beoogde functie en prestatie hiervan in het grotere geheel. De oorspronkelijke uitgangspunten bij het ontwerp zijn vaak niet langer bekend bij installatie- en onderhoudspartijen. Ook zijn er geen financiële of andere prikkels bij die partijen om optimaal te presteren. Wat wordt gemeten is de geleverde inspanning van de onderhoudspartijen, niet de geleverde kwaliteit van het binnenmilieu en het energiegebruik. Bij klachten over het comfort neemt de gebouwbeheerder veelal ad hoc maatregelen zonder na te gaan wat de problemen veroorzaakt; symptoombestrij-



**Intelligent beheer in gebouwen (i-BIG).**

- FIGUUR 2-

ding in plaats van bronbestrijding. Eén oplossingsrichting, die relatief eenvoudig is, is een periodieke controle van het functioneren van de installatie. Naast de controle op de werking van de diverse componenten wordt ook de werking van de installatie als geheel beschouwd, waarbij de prestatie wordt vergeleken met de oorspronkelijke uitgangspunten. Belangrijke aandachtspunten hierbij zijn de goede werking en plaatsing van sensoren en actuatoren, de water- en luchtzijdige inregeling en de instellingen van stook- en koellijnen.

Een andere, aanvullende, oplossingsrichting is de continue monitoring en analyse van het systeem. Een gebouwbeheersysteem (GBS) verzamelt reeds veel real-time data over het gebouw en de installatie, echter deze data wordt in de praktijk weinig gebruikt om analyses te doen. Momenteel wordt onderzoek gedaan naar de mogelijkheid om bestaande gebouwautomatiseringssystemen uit te breiden met intelligente analysemodules die het beheer kunnen vereenvoudigen. Hierover meer in de volgende paragraaf.

Een succesvolle invoering van zulke oplossingen lukt alleen als de onderhoudscontracten tussen opdrachtgever en onderhoudspartij een andere vorm krijgen. Een inspanningsverplichting, zoals tegenwoordig opgenomen in onderhoudscontracten, zal moeten worden omgebogen naar een resultaatverplichting, waarbij de prestaties van de installatie centraal staat. De prestaties moeten een duidelijke relatie hebben met het doel (energiegebruik, comfort en gezondheid) en moeten een-

duidelijk verifieerbaar zijn. Voorbeelden van dergelijke 'key performance indicators' (KPI) zijn het aantal storingen van de installatie of van installatiedelen, de mate van luchtverversing per persoon, het lichtniveau, het thermische comfort, het aantal comfortklachten per jaar, de gemeten energieprestatie.

#### **CONTINU DIAGNOSTICEREN**

In het kader van ongoing commissie wordt een softwaregereedschap ontwikkeld onder de naam: Intelligent beheer van installaties in gebouwen (i-BIG). Deze software analyseert datastromen uit een GBS en stelt daarmee een diagnose van de werking van de installatie. Hierbij gaat de software verder dan de alarmmeldingen van het gebouwautomatiseringssysteem zelf, die meestal zijn gebaseerd op eenvoudige datapunten. i-BIG bevat kennis van de principiële werking van het systeem en toetst de werking van het werkelijke systeem aan deze interne referentie, op basis van combinaties van de waarden van verschillende datapunten. Wanneer een fout in een technische installatie wordt gedetecteerd, kan het in veel gevallen de fout ook diagnosticeren. Vervolgens presenteert het systeem de resultaten op overzichtelijke wijze aan de gebouwbeheerder of onderhoudspartij, inclusief suggesties om optredende fouten te corrigeren. De beheerder kan zo gericht ingrijpen.

i-BIG valt in de categorie foutdetectie en -diagnose software (FDD). De werking van dergelijke systemen is gebaseerd op twee mogelijke principes.

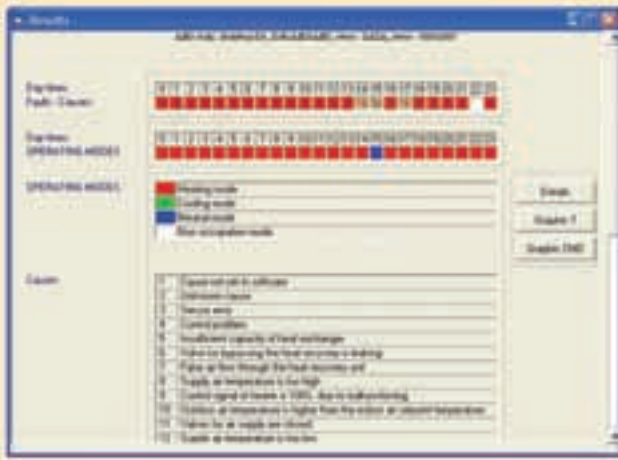
Het eerste principe is modelgebaseerde diagnose. Hierbij worden de resultaten van een reken- of simulatiemodel van het systeem continue vergeleken met de actuele condities. Worden de verschillen tussen berekening en werkelijkheid te groot, dan is dat een indicatie voor een fout. Het interne model is gebaseerd op een foutvrije werking van het systeem. Het interne model kan op diverse manieren worden opgebouwd. Het kan zijn gebaseerd op een fysisch model van de installatie, of op een black box benadering waarbij meetdata worden gebruikt voor de configuratie. In beide gevallen is het noodzakelijk dat het model wordt gefit aan de werkelijke situatie in foutvrije conditie, aan ontwerpdata of aan meetdata.

Deze data moet dan wel beschikbaar zijn, om het model betrouwbaar te maken voor alle bedrijfstoestanden van de installatie.

Een ander principe is kennisgebaseerde diagnose. Hierbij bestaat het interne model uit kennisregels (IF-THEN-ELSE) die aangeven of een systeem in een fouttoestand verkeert. Ook hier is ontwerp informatie of meetdata nodig en ook bestaat het gevaar dat de regels niet alle bedrijfstoestanden van de installatie afdekken. Een voordeel van het systeem is dat diagnostische informatie eenvoudig aan een regel of aan een combinatie van regels kan worden toegevoegd.

IBIG werkt volgens het principe van kennisgebaseerde diagnose en is momenteel een prototype. De software bevat kennisregels voor het analyseren van luchtbehandelingskasten (LBK), en is ontwikkeld in samenwerking met CSTB en NIST (zie [6]). De software dient te worden geconfigureerd voor elke installatie. Naast algemene kennisregels, worden er dan specifieke kennisregels opgesteld voor de desbetreffende installatie. Ook worden de signalen uit het GBS gekoppeld aan de overeenkomstige ingangen van de software.

Het systeem analyseert voor elk uur de informatiestromen uit het gebouwautomatiseringssysteem door hierop de kennisregels toe te passen. Elke regel waaraan wordt voldaan leidt tot een foutconditie. Ook geeft het voor elke foutconditie aan wat de mogelijke oorzaken zijn. Wanneer gelijktijdig optredende foutcondities duiden op dezelfde oorzaak, dan stijgt de waarschijnlijkheid van deze oorzaak. Toe-



**Uitvoer van i-BIG voor één dag; per uur wordt de bedrijfstoestand aangegeven, en de belangrijkste oorzaak voor optredende fouten.**

- FIGUUR 3-



**Gedetailleerde daguitvoer van i-BIG, met van uur tot uur optredende fouten en mogelijke oorzaken.**

- FIGUUR 4-

passing van kennisregels hangt ook af van de bedrijfstoestand van de installatie; de kennisregels zijn gegroepeerd per toestand.

De beheerder kan werken van grof naar fijn. De software geeft voor een geselecteerde week aan op welke dagen er fouten zijn gedetecteerd en hoe vaak deze fouten voorkwamen. Vervolgens kan de gebruiker zo'n dag selecteren en een gedetailleerd overzicht krijgen van de bedrijfstoestand van de LBK en van de belangrijkste oorzaken van fouten op elk uur. Nog verder inzoomen laat alle opgetreden fouten per uur zien en alle mogelijke oorzaken in volgorde van waarschijnlijkheid.


i-BIG is uitgetest in twee case studies: LBK's in een zwembad en LBK's in een ziekenhuis. In beide gevallen kwamen er tekortkomingen aan de installaties aan het licht door toepassing van de software. Hieronder een klein voorbeeld van het zwembad.

Dit zwembad stamt uit 1997 en heeft drie baden, waarvan de hallen op verschillende luchttemperatuur worden gehouden. De relatieve vochtigheid wordt ook binnen 2 % constant gehouden, buiten bedrijfstijd wordt een hogere waarde toegestaan. Elke hal heeft twee luchtbehandelingskasten, waarbij het ontwerp is dat één kast, de zogenaamde winterkast, de basisbehoefte afdekt en de andere kast, de zomerkast, alleen 's zomers bijschakelt, wanneer extra lucht nodig is om te ontvochtigen. De afzuig van de winterkast loopt via een warmtewisselaar, de aangezogen buitenlucht wordt eerst door een zonnecollector gevoerd. De inblaasstemperatuur is gebonden aan een maximum.

De i-BIG-software voor dit systeem gebruikt achttien datastromen uit het GBS en past hierop zestien kennisregels voor foutdetectie toe. Hieraan gekoppeld zijn voor de diagnose achttien mogelijke oorzaken, in een soort matrix. Door toepassing van i-BIG, in combinatie met handmatige controlemetingen zijn diverse problemen in de installatie aan het licht gekomen, ondanks het feit dat de gewenste condities in de hallen altijd worden gehaald. De zomerkast blijkt dagelijks te worden bijgeschakeld, ook in de winter. Dit leidt tot een substantieel te hoog energiegebruik van 3.500 kWh per jaar aan extra ventilatorenergie. Een mogelijke oorzaak hiervoor is dat de druksensoren bij de toevoer- en de afvoerventilator een grote offset hebben en hierdoor geen goede maat zijn voor het luchtdebiet. Hierdoor werkt de debietregeling met de verkeerde invoer en schakelt frequent de zomerkast bij voor extra debiet.

### CONCLUSIES

Veel installaties in Nederlandse gebouwen werken niet optimaal of zelfs onder de maat. Het commissioning-proces rondom installaties kan hierin verbetering brengen. Nationaal en internationaal wordt hier hard aan gewerkt. Diverse richtlijnen en hulpmiddelen zijn of komen beschikbaar die het commissioning-proces ondersteunen. TNO heeft goede ervaring opgedaan met re-commissioning door het uitvoeren van inspecties van installaties met de focus op de functionele prestatie. Hieruit komt naar voren dat prestatiecontracten tussen onder-

houdspartij en gebouw-eigenaar of –gebruiker de werking van de installatie ten goede komt. Daarnaast zijn de eerste stappen gezet op het gebied van ongoing commissioning, waarbij de installatie continu wordt gecontroleerd op fouten en de achterliggende oorzaken kunnen worden opgespoord. Zulke systemen vormen een aanvulling op het bestaande GBS, en zetten de beschikbare data uit het GBS om in bruikbare informatie. 

### REFERENTIES

1. SenterNovem – “Onnodig hoge energierekening door slecht beheer airco en klimaatinstallatie”; [http://www.senternovem.nl/mmfiles/Persbericht%20onnodig%20hoge%20energierekening%209%20juli%202007\\_tcm24-233204.pdf](http://www.senternovem.nl/mmfiles/Persbericht%20onnodig%20hoge%20energierekening%209%20juli%202007_tcm24-233204.pdf).
2. Elkhuizen, B. en Rooijackers, E. – “De kwaliteit van installaties in gebouwen”; Verwarming & Ventilatie, april 2006.
3. IEA Energy Conservation in Buildings and Community Systems (ECBCS); <http://www.ecbcs.org/home.htm>.
4. IEA Annex 47 – ‘Cost-effective Commissioning for Existing and Low Energy Buildings’; <http://www.iea-annex47.org>.
5. International Conference for Enhanced Building Operations (ICEBO), *verzamelde papers*; <http://txspace.tamu.edu/handle/1969.1/2885>.
6. House, J.M., Hossein, V. en Whitecomb, J.M. – “An expert rule set for fault detection in air-handling units”; *Ashrae Transactions* 107, Part 1, 2001.