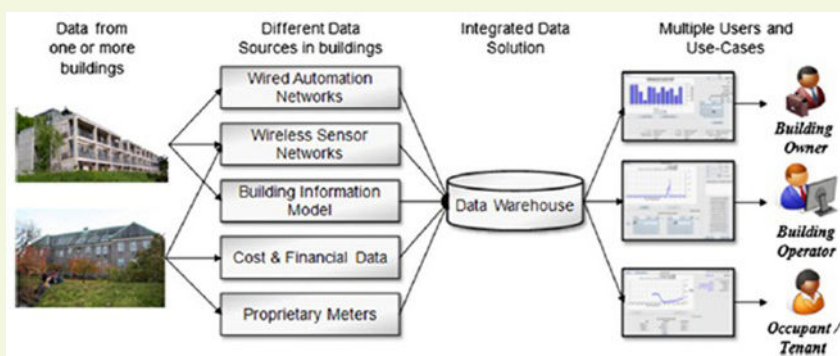


# Van commissioning naar prestatieborging

De huidige klimaatinstallaties presteren in de praktijk niet conform ontwerp en basisuitgangspunten. Dit betreft het gerealiseerd comfort (veel klimaatklachten) en energiegebruik (toename van 25%). Het probleem is het signaleren van langzaam verlopende instellingen en beperkte afwijkingen in het functioneren. Dé doelstelling voor de komende jaren moet daarom zijn: het vinden van een innovatieve oplossing voor ondersteunende tools die de prestaties van gebouw en installaties continu bewaken gedurende de gebruiksfase. Dit artikel beschrijft veelbelovende ontwikkelingen op het gebied van Bondgraaftechniek.

Prof.ir. (Wim) Zeiler, TU/e Faculteit Bouwkunde, Kropman bv;  
ir. J.A.J. (Joep) van der Velden, Kropman bv



-Figuur 1- Integratie van verschillende databronnen in Data Warehouse [3]



-Figuur 2- Key Factors methodology schematisch weergegeven [4]

Veel installaties in bestaande gebouwen functioneren niet naar behoren. Uit recent onderzoek is gebleken dat dit leidt tot veel klimaatklachten en een verhoogd energiegebruik. Gemiddeld neemt het energiegebruik toe tot wel 25% ten opzichte van wat op basis van het ontwerp kon worden verwacht [1]. Commissioning in bestaande gebouwen heeft bewezen een goede manier te zijn om de prestaties te verbeteren. Net als bij de oplevering van nieuwe gebouwen wordt met een momentane inspectie het functioneren van gebouw en installaties gecontroleerd. Helaas blijkt de bereikte verbetering geen permanent karakter te hebben [2]. De energiebesparingen zijn moeilijk vast te houden en het gevolg is, ook nu weer, een stijging van het energiegebruik. Continue commissioning kan uitkomst bieden. Hiervoor is het nodig de verschillende data uit een gebouw en het gebouwbeheersysteem op te slaan. Meerdere stakeholders, met ieder hun specifieke doelstelling, kunnen hiervan vervolgens gebruikmaken. De laatste ontwikkeling op dit gebied is 'Data Warehouse technology', waarmee het geïntegreerd managen en analyseren van gebouwmonitoringdata mogelijk is,

zie figuur 1 [3]. Deze technologie kan onderdeel zijn van BIM (Building Information Model). Verschillende onderzoekers hebben de meerwaarde van continue commissioning aangetoond [4]. Bij deze vorm van commissioning interpreteren experts de data. Maar er zijn te weinig experts. Een 'tool' om de data automatisch te analyseren en interpreteren, is dus gewenst. Verschillende problemen moeten dan worden opgelost. Eén daarvan is de interpretatie van de enorme stroom data die via de huidige gebouwbeheersystemen uit een gebouw komt. Hiervoor ontwikkelt IEA Annex 47 momenteel een systematische methode, de zogenaamde 'Key Factors methodology', zie figuur 2 [4]. Daarin vormt een gekalibreerde gebouwenergiesimulatie de kern. Echter, het bouwen en verifiëren van een gebouwmodellsimulatie is nog complex en kostbaar. Bovendien ontbreken vaak voldoende kennis en gegevens om de samenhang tussen alle invloedsfactoren kwantitatief te kunnen modelleren.

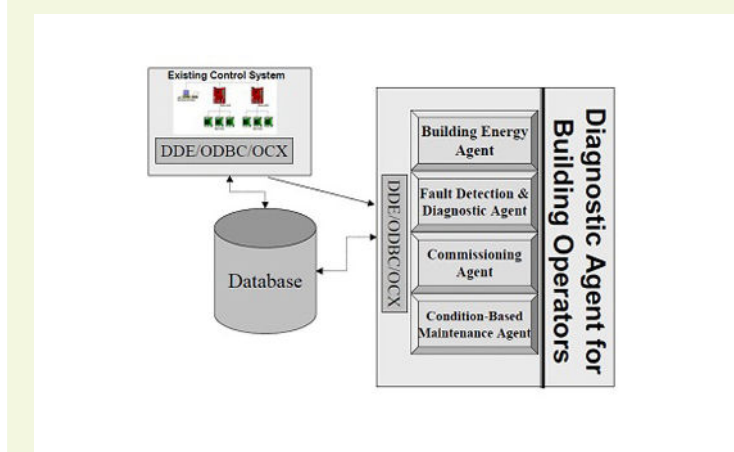
De huidige ontwikkelingen lossen niet alle problemen op die er zijn met continue commissioning. Er is onderzoek nodig naar nieuwe technologie die op een aantal essentiële punten betere resultaten geeft. Doelstelling is het onderzoeken van nieuwe technologie en benaderingen die de processen van continue commissioning automatisch laten verlopen. Er moet een onafhankelijke softwaremodule worden ontwikkeld die additioneel op bestaande beheersystemen kan worden toegepast. Toepassing op grote schaal is zo mogelijk.

## PROBLEEMSTELLING

Maken nieuwe ontwikkelingen op het gebied van het modelleren van installaties, gebouwen en personen met behulp van Archi Bond Graphs en Qualitative Hybrid Bondgraphs continue commissioning mogelijk? Dit al dan niet in combinatie met het toepassen van Multi Agent Systems. Het betreft agents zoals die zijn ontwikkeld door Canmet, in hun opzet van het Diagnostic Agent for Building Operators (DABO) [5] met Key Factors voor de overall utiliteitsfunctie [4]. Deze combinatie van technologie heeft veel sterke conceptuele voordelen boven de huidige technologieën. Op het gebied van foutdetectie is al het nodige gedaan. Toch is het nog een grote stap naar het blijvend garanderen van comfort- en energieprestaties. De benodigde wetenschappelijke en technische kennis van de laatste Bondgraaftechnologie [6] dient verworven en verder uitgebouwd te worden binnen het kader van dit onderzoekproject.

## STATUS EN ALTERNATIEVEN

In Nederland ontwikkelen verschillende adviesbureaus monitoringssystemen. Zo werkt



-Figuur 3- Algemene systeemopzet van het Diagnostic Agent for Building Operators (DABO), ontwikkeld door Canmet Energy Technology Centre [5]

Haskoning aan een universeel systeem die de werking van installaties realtime volgen. Dit zogenaamde dashboard is een aanvulling op het gebouwbeheersysteem en vormt een hulpmiddel bij het beheer.

IF Technology heeft het energie- en projectmanagementsysteem LIFT ontwikkeld. Data wordt door middel van een koppeling met het gebouwbeheersysteem uitgelezen en daarna in dit systeem verwerkt tot managementinformatie. De juiste gegevens worden automatisch opgehaald en kunnen worden verwerkt tot een rapportage. Ook hier vindt uit de ruwe data van het gebouwbeheersysteem een vertaalslag plaats die inzicht geeft in de efficiëntie van de installatie.

Eén van de bekendere tools is de Automated Building Commissioning Analysis Tool (Abcat), ontwikkeld door het Energy Systems Laboratory van de Texas A&M Universiteit [7]. Dit prototype is toegepast op het Vertigo-gebouw van de Technische Universiteit Eindhoven. De opgedane ervaring met dit gebouw toonde de noodzaak aan om deze tool verder te ontwikkelen [2]. Een verdere automatisering van het FDD-proces is nodig om minder afhankelijk te zijn van de ervaring en kennis van de gebruiker van het systeem. Een andere ontwikkeling is de FT Data Analysis Tool van het Lawrence Berkely National Laboratory. Deze tool gebruikt een bibliotheek van data-analyseroutines om testdata te analyseren die een commissioningprovider aanlevert en manueel wordt ingevoerd. Het componentniveau FDD maakt gebruik van een bottom-up benadering om individuele fouten of afwijkingen te constateren. Dit gebeurt door de prestaties van afzonderlijke componenten van de klimaatinstallaties te analyseren. Mei 2007 is een veldtest uitgevoerd door

drie commissioningproviders in New York en California. De conclusie was dat de tool in haar huidige vorm niet in staat is de problemen met de besturing van de klimaatinstallaties te detecteren.

Een andere GBS-ondersteunende commissioningstool is Diagnostic Agent for Building Operators (DABO), ontwikkeld door Canmet Energy Technology Centre – Varennes [5]. Het systeem analyseert de data met behulp van agentsystemen die ieder hun eigen functie hebben. Er is een agent voor de energiestromen, een agent voor FDD, een agent voor commissioning en een agent voor conditioneel onderhoud, zie figuur 3.

De ontwikkeling van dit systeem is een voortzetting van het werk dat begon onder IEA Annexes 25 (1996), 34 (2001), 40 (2005) en nu verder uitgebouwd wordt in IEA Annex 47 Cost-Effective Commissioning for Existing and Low Energy Buildings. Volgens de laatste beschrijving bestaat het systeem inmiddels uit 800 expertregels voor 'consistentie analyse', 'efficiëntie beoordeling en goede bedrijfsvoering' en '275 prestatie indicatoren' om niet optimale bedrijfssituaties te herkennen alsmede over- of ondergedimensioneerde componenten. De functionaliteit van het systeem is nog beperkt; verder uitbouwen is nog nodig.

In Nederland is DWA bezig om met behulp van het softwareprogramma SMT inzicht te krijgen in prestaties van installaties op verschillende niveaus. Het systeem fungeert als een paraplu over een GBS en klassificeert de data naar presatieniveau om afwijkingen en storingen te signaleren.

Er is bij gebruikers duidelijk behoefte aan meer dan alleen een slimme tool om de data uit een GBS geschikt te maken om in een energierap-

portage op te nemen. Bij continue commissie-  
 sioning is foutdetectie en diagnostiek (FDD), in  
 het Engels Fault Detection and Isolation (FDI),  
 van groot belang. FDD is niet alleen belangrijk  
 om achterom te kijken, maar juist om actief  
 het functioneren te bewaken. Vermindering  
 van het functioneren van installaties kan zo  
 verder worden voorkomen. Er zijn in principe  
 verschillende FDD-methoden bruikbaar voor  
 de bepaling van correct systeemgedrag van  
 GBS, gebaseerd op: (1) 'first principle' model-  
 len gebaseerd op fysische wetmatigheden, (2)  
 statistische regressieanalyse van sensorwaar-  
 den, (3) artificiële neurale netwerken (ANN's),  
 (4) 'if-then' kennisregels in expertsystemen,  
 (5) een model gebaseerd op basisprincipes.  
 Alle principes worden toegepast en hebben  
 hun eigen specifieke sterke en zwakte kanten.  
 Op dit moment zijn ze nog in ontwikkeling  
 en wordt de functionaliteit van prototypen  
 van de tools verder uitgebouwd. Nog niet alle  
 gevraagde functionaliteiten voor continue  
 commissioning worden geboden.

Daarom is er gezocht naar andere mogelijke  
 technologieën voor continue commissioning.  
 Actueel is de Bondgraaftechniek als een  
 mogelijke kwantitatieve maar ook kwalitatieve  
 analyse van mens, gebouw en installaties.  
 In de hiervoor beschreven voorbeelden zijn  
 met name de mensen niet meegenomen. De  
 door Tsai en Gero ontwikkelde Archi Bond  
 Graph (ABG's) [6] bieden wel de mogelijkheid  
 om naast installaties ook het gebouw en de  
 mensen erin te modelleren, zie tabel 1.

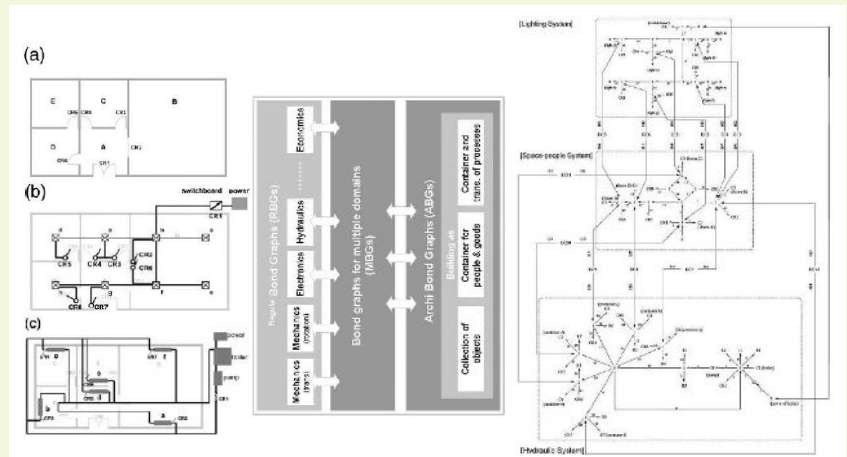
De ABG's geven zowel een op kwalitatieve als  
 kwantitatieve energie gebaseerde uniforme  
 representatie van gebouwen [6]. Figuur 4 toont  
 de ontwikkeling van een uniforme representa-  
 tie van een gebouwanalyse van Regular Bond  
 Graph's (RBGs) naar Multiple domain Bond  
 Graph's (MBGs) en ABG's met mogelijke kop-  
 peling. Figuur 4 laat verder een voorbeeld zien  
 van drie verschillende systemen die gekoppeld  
 zijn door Bondgraafmodellering in een totaal  
 systeem.

Door het toepassen van een kwalitatieve  
 benadering gebaseerd op zowel natuurwet-  
 ten als expertkennis en regels, ontstaan  
 zogenaamde Qualitative Archi Bond Graphs  
 (QABG's). Hierbij kunnen operatoren worden  
 gedefinieerd in een soort waarheidstabel die  
 door het QABG's element worden geacti-  
 veerd. Dit maakt het mogelijk om kwalitatieve  
 redeneerprocessen te implementeren, die zijn  
 gebaseerd op expertkennis of fysische wet-  
 matigheden, zodat verschillende interacties  
 tussen het 'ruimte-mensen'-systeem en het  
 gebouwenergiesysteem kunnen worden weer-  
 geven, zie figuur 5 en 6.

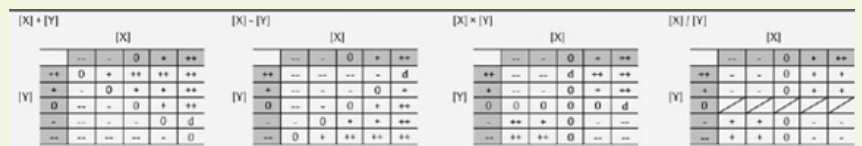
Een andere ontwikkeling op het gebied van  
 Bondgraaftechnologie is het gebruik van

Effort, $e$	Unit people-energy	$e = \text{people-energy/people change}$
Flow, $f$	People-flow	$f = \text{people-change/time}$
Momentum, $p$	People-impuls	$p = \int (\text{unit people-energy-energy}) dt = \text{people-energy} \times \text{time/people-change}$
Displacement, $q$	People-change	
Power, $P$	People-energy-flow	$P = \text{unit people-energy} \times \text{people-flow} = \text{people-energy/time}$

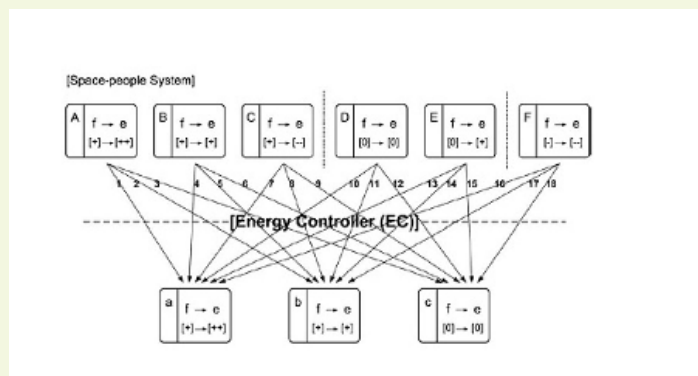
-Tabel 1- ABG-variabelen voor een 'space people'-systeem [6]



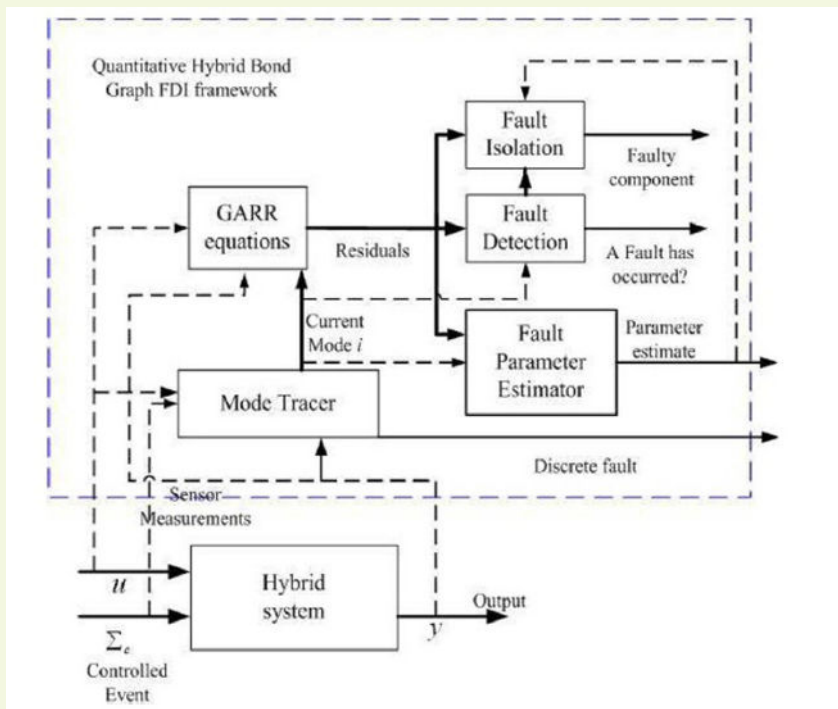
-Figuur 4- De ontwikkeling van een universele representatie voor gebouwanalyse [6]. Verschillende representaties van verlichting, ruimten en het hydraulisch verwarmingssysteem, en de gekoppelde Bondgraafweergave van het totale systeem.



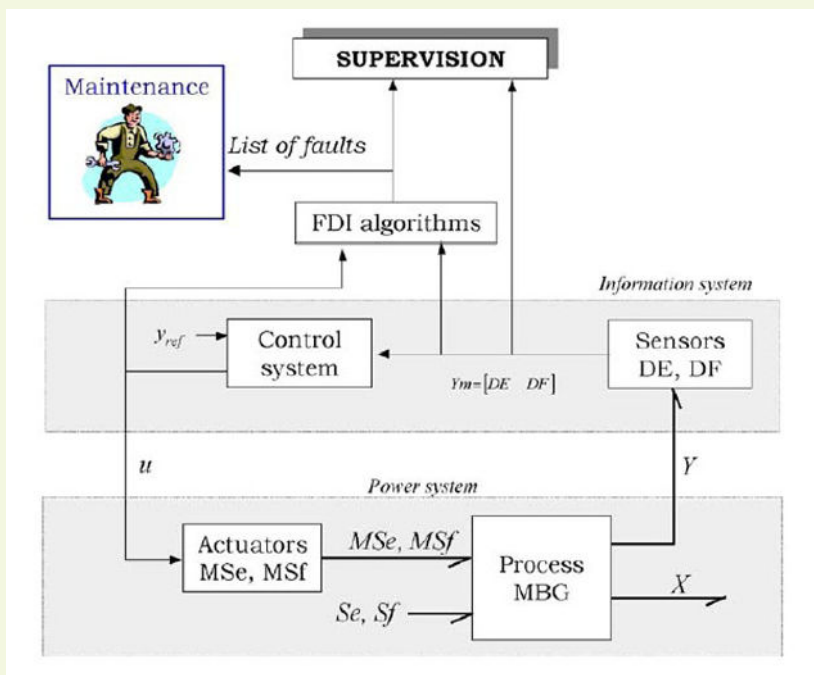
-Figuur 5- QABG operations [6]



-Figuur 6- Types interactie tussen 'ruimte-mensen'-systeem en het gebouwenergiesysteem [6]



-Figuur 7- Architectuur van een QHBG FDI-systeem [8]



-Figuur 8- Architectuur van een Bondgraafrepresentatie van een supervised systeem [9]

Quantitative Hybrid Bond Graph's voor Fault Detection and Isolation (FDI) [8] alsmede bicausal Bond Graph's used in a supervised system based on Bond Graph representation [9], zie figuur 8.

Het continu optimaliseren, bewaken en bijsturen van energiestromen gebeurt in de praktijk nog niet. Door beter inzicht in de actuele vraagbehoefte van de gebruiker en de toepassing van de nieuwste technologie is het beheer verregaand te automatiseren. De innovatieve benadering vormt ook de basis voor nieuwe tools als aanvulling op gebouwbeheersystemen; tools voor de interpretatie van de vraag naar comfort, energie en duurzaamheid.

Het primaire resultaat zijn nieuwe vormen van energiedienstverlening (energiebeheer, energiemanagement, 'energy contracting' en outsourcing) door geoptimaliseerde regelstrategieën en energieconcepten. De basis is een integrale analysemethode, die is gebaseerd op een ontwerpmethodiek voor de conceptuele fase van (energie)concepten voor gebouwen. Het systeem kan een module zijn bij het door Kropman ontwikkelde GBS-platform InsiteView [10]. De doelstelling is dit platform verder uit te bouwen om meer dynamische externe invloedsfactoren mee te nemen in gebouw en installaties dan nu het geval is. De techniek achter het idee is gebruik te maken van de zogenaamde 'performance index' gebaseerde methode, zie figuur 9 op de volgende pagina, zoals die in Annex 47 is aangegeven. Dit is vervolgens te combineren met de een 'logic tracer' functionaliteit, ook vanuit de opzet van Annex 47 (zie figuur 10 op de volgende pagina). Maar in plaats van trendanalyse zal de nadruk meer liggen op de individuele logica van de uitkomst op component- of systeemniveau, analoog aan de aanpak zoals beschreven door Xiao en Wang [11]. Hierbij kunnen op basis van modellen van componenten of systemen met behulp van de Bondgraaftechnologie interpretatie/classificatiefuncties worden ingebracht voor de foutdetectie en diagnostiek (FDD) bij continue comissioning, zie figuur 11 op de volgende pagina. Door 'Kritische Performance Indicators' te gebruiken wordt het mogelijk om met vereenvoudigde modellen de functie van componenten of deelsystemen te bewaken op basis van grenswaarden of distributieverdelingen van output parameters. De logica van schakelingen in het systeem kan worden gecontroleerd en bewaakt met behulp van de 'logic tracer' functies, die de handelingen van regelkringen beschrijven en waarmee dus getoetst kan worden of de processen zo verlopen als ontworpen en gebaseerd op onderliggende fysische processen (causaliteitsprincipe van Bondgrafen).



## BELANGRIJKSTE EISEN

Het garanderen van het werkelijke comfort- en energiegebruik conform het eerste ontwerp blijkt nu in de praktijk niet realiseerbaar. De oorzaken zijn divers: de toegepaste techniek, de organisatie van de bouwkolom en het marktmechisme waarbij meer sprake is van inspanningscontracten dan van prestatiecontracten. Daarmee staat dé uitdaging voor de komende jaren: innovatieve oplossing voor techniek en organisatievorm voor met name het beheer van gebouw en installaties.

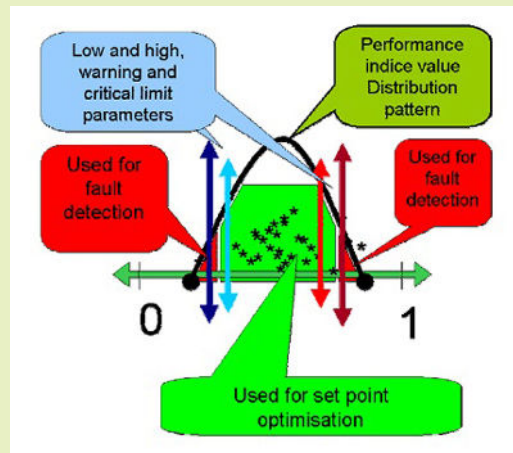
De klant wordt een afnemer van comfort en energie. Hoe de klanten te verzorgen, komt steeds meer op het bordje van de technische dienstverlener te liggen. Ervaringen opgedaan in eerdere onderzoekstrajecten bij Kropman laten een nieuwe benadering zien die verder gaat dan het regelen van het comfort in een kantoor of een gebouw. Doordat er steeds meer functies gekoppeld worden aan het regelsysteem voor het klimaat, ontstaan mogelijkheden om de functionaliteit verder uit te breiden:

- dynamische inzet en bewaking op basis van beschikbaarheid, duurzaamheid en rendement;
- energiebeheer en energieoptimalisatie van bestaande systemen;
- comfortbeheer en -bewaking;
- energiemanagement;

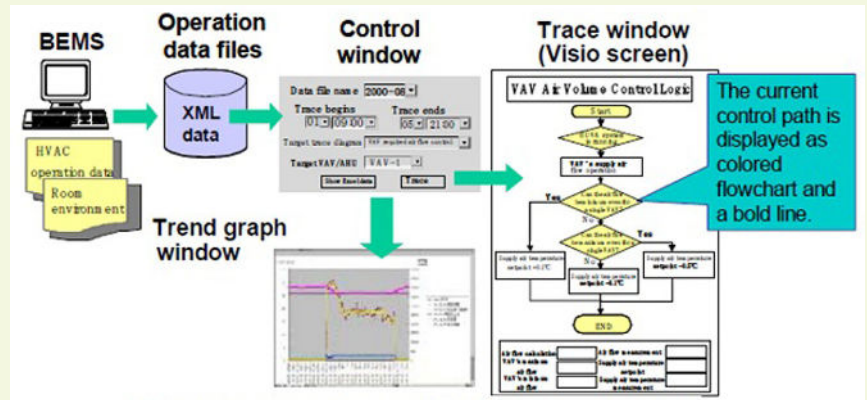
Het project beoogt de noodzakelijke ondersteuning te ontwikkelen om de duurzame energiedienstverlening in de gebouwde omgeving te versterken. Voor Kropman is het van groot belang dat deze diensten beter aansluiten bij de behoefte van de klant en dat ze door optimale ondersteuning effectiever verlopen. Dit vergroot ook de mogelijkheid van ondersteunende diensten door bijvoorbeeld adviesbureaus. Zij kunnen nu eenvoudig het beheer en energiemanagement verzorgen voor opdrachtgevers, die zich dan volledig kunnen bezighouden met hun kernactiviteiten.

## REFERENTIES

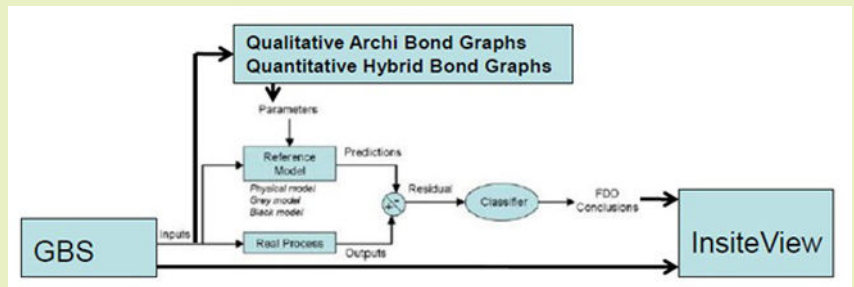
1. Elkhuisen B., Rooijackers E., 2006, Hoe te komen tot hoog kwalitatieve installaties, VV+, juli/augustus
2. Peitsman H.C., Aker K.P.A. van, Claridge D.E., Bynum J.D., 2010, Energieanalyse en foutdiagnose Vertigo-gebouw TU/e, TVVL Magazine, No. 6, 2010
3. Ahmed A., Ploennings J., Mensel K., Cahill B., 2010, Multi-dimensional building performance data management for continuous commissioning, Adv. Eng. Informat. (2010), doi:10.1016/j.aei.2010.06.007
4. Costa A., Keane M., Raftery P., O'Donnell J., 2009, Key factors-methodology for enhancement and support of building energy



-Figuur 9- Performance index gebaseerde methode (Annex 47)



-Figuur 10- Algemene opzet van de logica traceerder van de klimaatprocesregeling (Annex 47)



-Figuur 11- Logisch schema van modelgebaseerde foutdetectiesystemen in combinatie met Bondgraaftechnologie en diagnoseproces [11]

performance, in Proceedings Building Simulation, Glasgow, UK, 2009.

5. Choinière D., Corsi M., 2003, A BEMS-assisted commissionings tool to improve the energy performance of HVAC systems, Proceedings 3<sup>rd</sup> International Conference for Enhanced Building Operations, Berkely, California, October 13-15, 2003
6. Tsai JJ-H., Gero, J.S., 2008, The scalability and flexibility of qualitative Archi Bond Graphs for building simulation, Proceedings Innovation in Architecture, Engineering and Construction, 2008, Antalya
7. Curtin J.C., 2007, The development and testing of an automated building commissioning analysis tool (Abcat), MSc thesis, Texas A & M University, August 2007
8. Low C.B., Wang D., Arogeti, S., Luo M., 2010a, Quantitative Hybrid Bond Graph-Based Fault Detection and Isolation, IEEE Transactions on automation science and engineering vol.7, No.3, July
9. Ould Bouamama B., Samantaraya, A.K., Medjahera K., Staroswieckib M., Dauphin-Tanguy G., 2005, Model builder using functional and bond graph tools for FDI design, Control Engineering Practice 13 (2005) 875-891
10. Helm R.Th.C van der., Wortel W., Zeiler W., 1999, Het internet GBS; Insite View, Verwarming & Ventilatie, December 1999
11. Xiao F., Wang S., 2009, Progress and methodologies of lifecycle commissioning of HVAC systems to enhance building sustainability, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 13 (2009) 1144-1149