

Computersimulatie van Geotabs-systemen

Geotabs is een recent afgerond Europees onderzoeksproject gericht op de verbetering van installatieontwerp en -regeling van kantoorgebouwen voorzien van geothermische warmtepompen en betonkernactivering. Het uiteindelijke doel is een betere energiestaat en een eenvoudiger commissioning-procedure terwijl het thermisch comfort gewaarborgd blijft. Gebouwsimulatie was één van de onderzoeksmethoden. De belangrijkste conclusies worden in dit artikel beschreven.

Dr. D. (Daniel) Cóstola, A. (Alessia) Arteconi, prof.dr.ir. J.L.M. (Jan) Hensen; Unit Building Physics & Services, Technische Universiteit Eindhoven

Eén van de projectdoelstellingen was het creëren van een database van gevalideerde simulatiemodellen voor Geotabs-systemen en gebouwen. De database beschrijft modellen op basis van publiekelijk beschikbare informatie. De modellen zijn niet zelf getest en in sommige gevallen zijn de modellen zelfs niet beschikbaar. Toch zal de database redelijk compleet zijn, omdat er drie benaderingen zijn gebruikt om informatie te verzamelen: literatuuronderzoek (ongeveer 100 papers), discussies met Geotabs-partners en een enquête onder circa 30 deskundigen op dit gebied. De verzamelde gegevens laten zien dat er een grote verscheidenheid aan simulatiemodellen en -programma's is. De onderlinge verschillen hebben vooral betrekking op resolutieniveau, complexiteit van fysische beschrijving, aannamen qua randvoorwaarden en de manier waarop modellen van componenten worden gekoppeld. De overdraagbaarheid van componentmodellen tussen de verschillende simulatieprogramma's is gering, ondanks pogingen om algemeen bruikbare componentmodellen te ontwikkelen zoals, bijvoorbeeld, door Ashrae. Over het algemeen is er weinig bekend over eventuele validatie van de modellen. De ondervraagde gebruikers negeerden of waren zich vaak niet bewust van validatie.

In de praktijk worden maar een paar simulatieprogramma's voor dit soort systemen gebruikt. Voor betonkernactivering is dat in Nederland vaak de Vabi-software. Voor simulatie van complete Geotabs-systemen wordt vooral gebruik gemaakt van Trnsys. Voor ontwerp van bodemwarmtewisselaars wordt vaak Earth Energy Designer (EED) gebruikt.

■ REFERENTIEGEBOUW EN MODELERING

Doorgaans wordt bij de analyse van Geotabs-gebouwen afzonderlijk gekeken naar de behoefte van het gebouw en naar de productie (de warmtepomp (WP) en bodemopslag). Bij analyse van de vraagkant (gebouw) wordt aangenomen dat de aanbodkant altijd voldoende water met de gewenste aanvoertemperatuur kan leveren. Bij analyse van de aanbodkant wordt er meestal vanuit gegaan dat er geen terugkoppeling is door bouwprocessen, zoals variaties in bezetting, interne warmtebronnen etc. In het Geotabs-project hebben beide analyses echter gezamenlijk plaatsgevonden om zo de potentiële terugkoppeling tussen vraag- en aanbodkant te kunnen bekijken.

In het Geotabs-project was het Hollandsch Huys in Hasselt, België, (figuur 1) als 'testgebouw' beschikbaar. Hier zijn uitgebreide

metingen en simulaties uitgevoerd. Verder was het mogelijk om verbeterde modelgebaseerde regelstrategieën te implementeren en te testen.

Het Hollandsch Huys heeft een totaal vloeroppervlak van 4.500 m², waarvan momenteel slechts een gedeelte in gebruik is. Het gebouw heeft vier verdiepingen. De betonkernactivering en aanvullende klimatisering zijn niet op iedere verdieping gelijk uitgevoerd. Het zou veel tijd hebben gekost om het gebouw in detail te modeleren. Bovendien zou dit leiden tot lange rekentijden. Aan de gebouwkant is alleen de tweede verdieping gemodelleerd, onderverdeeld in 12 thermische zones. Andere projectpartners hebben één of meerdere andere verdiepingen gesimuleerd. Dit heeft relatief weinig invloed op de uiteindelijke resultaten gehad.

Het gebouw heeft relatief weinig ramen, is goed geïsoleerd (U-waarde buitenmuren: 0.21W/m².K) en heeft driedubbele beglazing (U-waarde van 0.65 W/m².K en G-waarde van 0.5W/m².K).

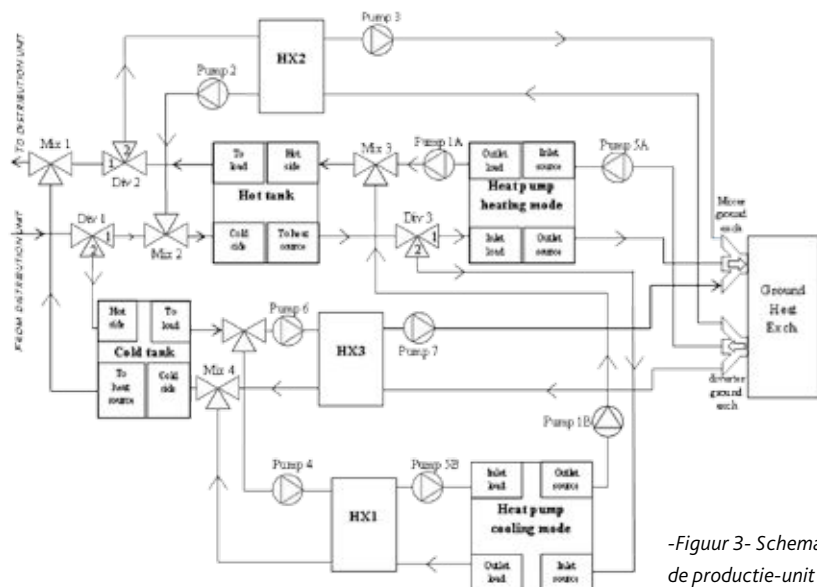
De vloeren met betonkernactivering zijn vanwege de grote overspanning relatief dik en hebben om gewicht te besparen holle ruimten (de zwarte dozen in figuur 2) van 240 mm hoog en 200 mm breed/lang en een h.o.h. maat van 300 mm. De watervoerende buizen



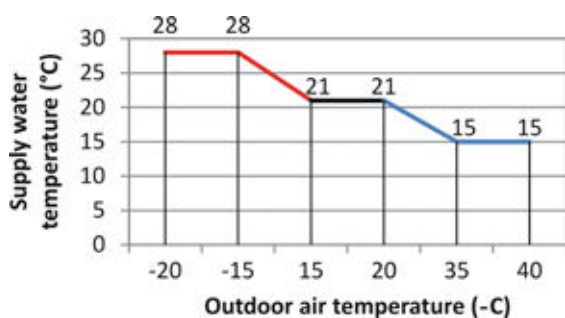
-Figuur 1- Hollandsch Huys



-Figuur 2- TABS layout (rood) en lucht dozen (zwart) verankerd op de betonnen plaat



-Figuur 3- Schema van de productie-unit



-Figuur 4- Watertoevoertemperatuur als functie van de buitentemperatuur

hebben een uitwendige diameter van 20 mm en zijn horizontaal in twee lagen geplaatst met eveneens een h.o.h. maat van 300 mm. Er is geen enkel simulatiemodel gevonden wat rechtstreeks voor deze configuratie geschikt zou zijn. Daarom zijn er eerst een aantal specifieke 3D-simulaties van de betonnen plaat uitgevoerd om zo equivalente parameters voor deze configuratie te bepalen.

De zonwering bestaat uit lamellen met een reflectiecoëfficiënt van 0.8. De zonwering is belangrijk voor het reduceren van de koellasten en essentieel in gebouwen met TABS. De zonwering gaat omlaag bij een zonnestraling op de gevel > 250 W/m² en omhoog bij < 150 W/m². De hellingshoek van de lamellen hangt af van de zonhoogte. In de simulatiemodellen is dit versimpeld, aangezien de beschikbare modellen geen variabele hellingshoek van de lamellen kennen en er geen reflectiewaarde voor lamellen kan worden ingevoerd.

Het klimaatsysteem bestaat uit een luchtbehandelingskast (LBK) en een productie-unit. Verwarming of koeling van de buitenlucht gebeurt via de warmtepomp en eventueel via een backup ketel in het geval dat de warmtepomp niet voldoende warmte kan leveren. De warmtepomp is van het type EWWP145 KAW1M met een nominale koel- en verwarmingscapaciteit van 142 kW respectievelijk 181 kW. De LBK is op een versimpelde manier gemodelleerd door uit te gaan van een constant ventilatievoud.

De warmtepomp is met het gebouw en de bodemwarmtewisselaar verbonden, zoals weergegeven in figuur 3. Dit systeem is in detail gemodelleerd in Trnsys. Het model is redelijk complex, maar dit is nodig om vragen t.a.v. dimensionering en regeling te onderzoeken en/of te optimaliseren.

Tot slot, de bodemwarmtewisselaar: deze bestaat uit twee lineaire boorvelden van 14 en 8 U-buis bodemwarmtewisselaars tot op een diepte van 75 m met 5 m onderlinge afstand. De buizen zijn gemaakt van PE 100 en hebben een buitendiameter van 32 mm en een wanddikte van 2.9 mm.

De regeling van de productie-unit is gebaseerd op de buitentemperatuur: de gemiddelde temperatuur van de voorgaande drie dagen bepaald of er verwarmd of passief/actief (d.w.z. zonder/met WP) gekoeld wordt. De gemiddelde temperatuur van de laatste drie uur wordt gebruikt om de watertoevoertemperatuur te bepalen (zie figuur 4). Er wordt alleen gebruik gemaakt van actieve koeling bij buitentemperaturen hoger dan 30 °C.

SIMULATIERESULTATEN

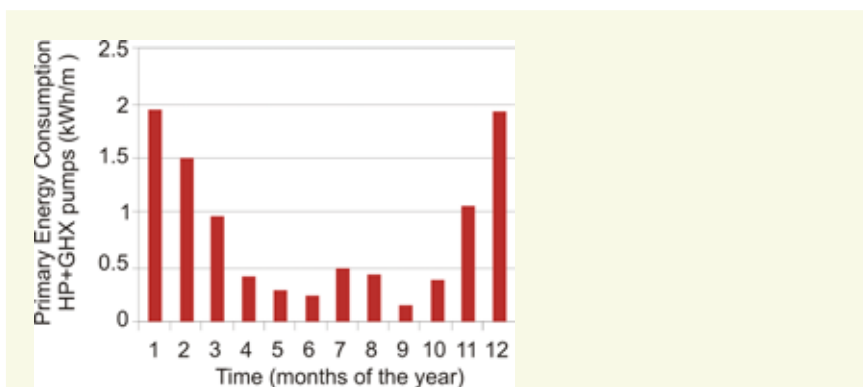
Met het model kunnen verschillende simulaties worden uitgevoerd, bijvoorbeeld voorspel-

ling van het maandelijkse energiegebruik door de productie-unit (WP en circulatiepompen), zoals weergegeven in figuur 5. Deze informatie kan o.a. worden gebruikt om de zogenaamde coëfficiënt of performance (COP) van het totale systeem te berekenen. Het hoge energiegebruik van de circulatiepompen wordt in het Geotabs-project als één van de belangrijkste issues gezien. Als alleen naar de COP van de warmtepomp wordt gekeken, kunnen goede waarden worden bereikt. Maar in verschillende onderzochte situaties was de integrale prestatie vergelijkbaar met die van traditionele systemen, vooral wanneer gekeken werd naar het primaire energiegebruik.

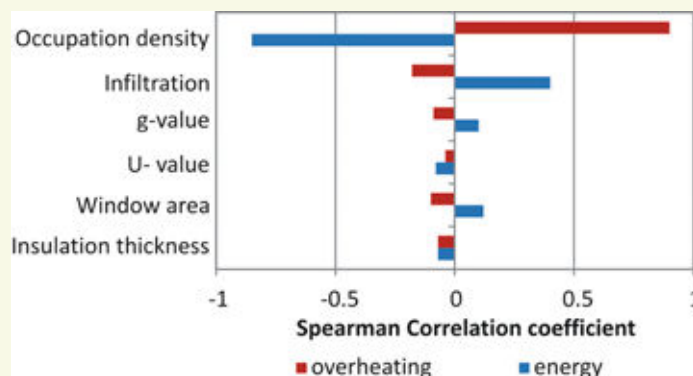
De resultaten in figuur 5 duiden ook op een laag energiegebruik in de zomer. Dit is gedeeltelijk toe te schrijven aan het gebruik van vrije koeling. Daarnaast is het lage energiegebruik ook gerelateerd aan thermisch comfortproblemen tijdens een hoge bezettingsgraad. Het risico op oververhitting kwam in de simulatie naar voren en potentiële oplossingen kunnen met het model worden onderzocht. In dit specifieke geval is de oververhitting vooral gerelateerd aan het instelpunt voor koelen ($T_{\text{buiten}} > 30^{\circ}\text{C}$), bij aanpassing van dit instelpunt werd een acceptabel thermisch comfort bereikt maar was het energiegebruik uiteraard hoger. De simulatieresultaten geven ook bruikbare informatie over de gevoeligheid van de gebouwprestatie voor verschillende ontwerpparameters. Uit figuur 6 blijkt dat de bezettingsdichtheid een sleutelparameter is voor het risico op oververhitting en het energiegebruik in de zomer. De resultaten tonen aan dat de gebouwschil goed is ontworpen waardoor kleine veranderingen in de U-waarde en g-waarde niet van grote invloed zijn op de prestatie, terwijl de onzekerheid in gebouwgebruik en infiltratie veel relevanter is. Wel dient opgemerkt te worden dat de resultaten van de gevoeligheidsanalyse afhankelijk zijn van het aangenomen waardebereik per parameter. Dezelfde aanpak kan worden gebruikt om sleutelparameters voor de prestatie van de productie-unit te bepalen.

CONCLUSIE

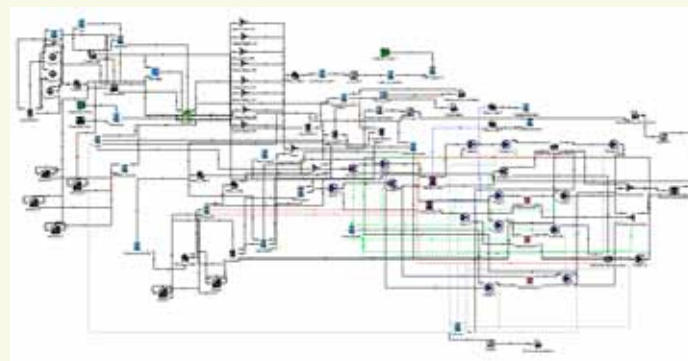
Met een gedetailleerd simulatiemodel kan zinvolle informatie over de prestatie van het gebouw als geheel en over de interacties tussen verschillende componenten worden verkregen. Dit is vooral relevant als er een sterke koppeling is tussen energievraag en -aanbod. Simulaties zijn nuttig voor het analyseren en corrigeren van onvolkomenheden qua gebouwprestatie. De simulaties kunnen ook gebruikt worden voor verdere optimalisering van het gebouw en klimatiseringsinstallatie. In deze specifieke context is met name het risico



-Figuur 5- Primaire energie consumptie door de productie-unit van het gedetailleerde Geotabs-model



-Figuur 6- Gevoeligheidsanalyse van gebouwparameters voor de zomersituatie



-Figuur 7- Schematische weergave van het Trnsys-model

op oververhitting en een lage COP van het totale systeem van belang. De kans op oververhitting kan aanzienlijk worden verkleind door een goed ontwerp van de gebouwschil en door een robuustheidsanalyse van de gebouwprestatie voor verschillende bezettingsscenario's. Ten aanzien van het systeem COP,

laten de simulaties zien dat vooral het aantal pompen en de regeling daarvan belangrijk zijn. Het gedetailleerde simulatiemodel kan hierbij een goed hulpmiddel zijn. Een ander belangrijk punt waarvoor de simulaties nuttig zijn, is bepaling van de jaarlijkse energiebalans van geothermische opslag.