

# Gebouwprestatie- s(t)imulatie

*Mijnheer de Rector Magnificus, dames en heren, Te warm, te koud, te droog, te vochtig, verblinding, tocht, ongezond, te hoog energiegebruik; we maken het allemaal wel eens mee in de gebouwen waarin we wonen en werken. Gegeven de beperkingen van traditionele ontwerphulpmiddelen en methoden, is het dan verwonderlijk dat gebouwen vaak niet de verwachte prestaties halen? Onder het motto 'The best way to predict the future, is to create it', wil ik in deze intreerede aangeven voor welke partijen en in welke mate gebouwprestatie simulatie van belang is. Ik wil laten zien dat door een toenemende draagwijdte van deze technologie gedurende de levenscyclus van een gebouw de impact en het aantal belanghebbenden sterk toe zullen nemen. Ik zal ook ingaan op hoe mijn onderwijs en onderzoek hierop inspelen.*

**-Door prof.dr.ir. J.L.M. Hensen\***

**S**imulatie is het proces dat bestaat uit het maken van een vereenvoudigd model van een complex systeem en het gebruiken van dat model voor het voorspellen van het gedrag van het werkelijke systeem. Waarom simulatie? De belangrijkste redenen zijn, dat de werkelijkheid doorgaans

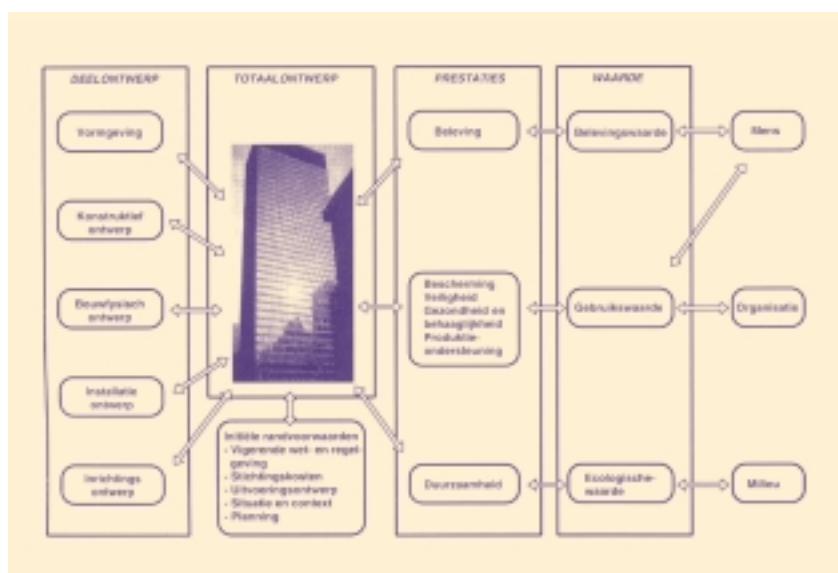
te complex is of dat het gewoon onmogelijk is om echte systemen in al hun complexiteit te analyseren. Vaak is dat overigens niet eens nodig. Door zich zorgvuldig te beperken tot de relevante elementen en eigenschappen van het echte systeem (wat meestal veel moeilijker is dan het lijkt), is het

in het algemeen mogelijk om een model te maken waarmee het gedrag en de prestaties van het echte systeem voldoende nauwkeurig kunnen worden voorspeld. Simulatie kan bijvoorbeeld worden gebruikt voor de analyse en het ontwerp van complexe systemen, zoals gebouwen met bijbehorende installaties.

Rutten [4] gaf al aan dat moderne gebouwen een groot aantal prestaties moeten leveren in termen van beleving, bescherming, veiligheid, gezondheid, behaaglijkheid, productieondersteuning en duurzaamheid.

Bij gebouwprestatie simulatie denken we vooral aan het simuleren van fysische processen in gebouwen. Het simuleren van de energiebehoefte voor verwarming en koeling en van luchtstromingen in gebouwen is wellicht het meest bekend, maar simulatie van licht, rookverspreiding, geluid en de kwaliteit van het binnenmilieu is vaak minstens zo belangrijk.

Voor het simuleren van gebouwprestaties bestaat er een groot aantal modellen. We kennen fysieke modellen, variërend van een schaalmodel (bijvoorbeeld een maquette) tot modellen op ware grootte (bijvoorbeeld een klimaatkamer, testcellen, proefwoningen en -wijken). We kennen ook virtuele modellen in de vorm van computermodellen. Hiermee is het mogelijk om de verschillende fysische aspecten over een range van resolutieniveaus (van microscopisch tot regionaal) te simuleren. Fysische modellen spelen echter ook een belangrijke rol: laboratoriummodellen voor het valideren en kalibreren van de computermodellen; proefwoningen en andere 'echte' gebouwen voor het 'ontdekken van



**Overzicht van deelontwerpen en prestaties van een modern kantoorgebouw [4]**

-FIGUUR 1-

\* TU Eindhoven

Uitgesproken op 14 november 2003  
aan de Technische Universiteit Eindhoven

onbekende of onverwachte relaties en interacties'.

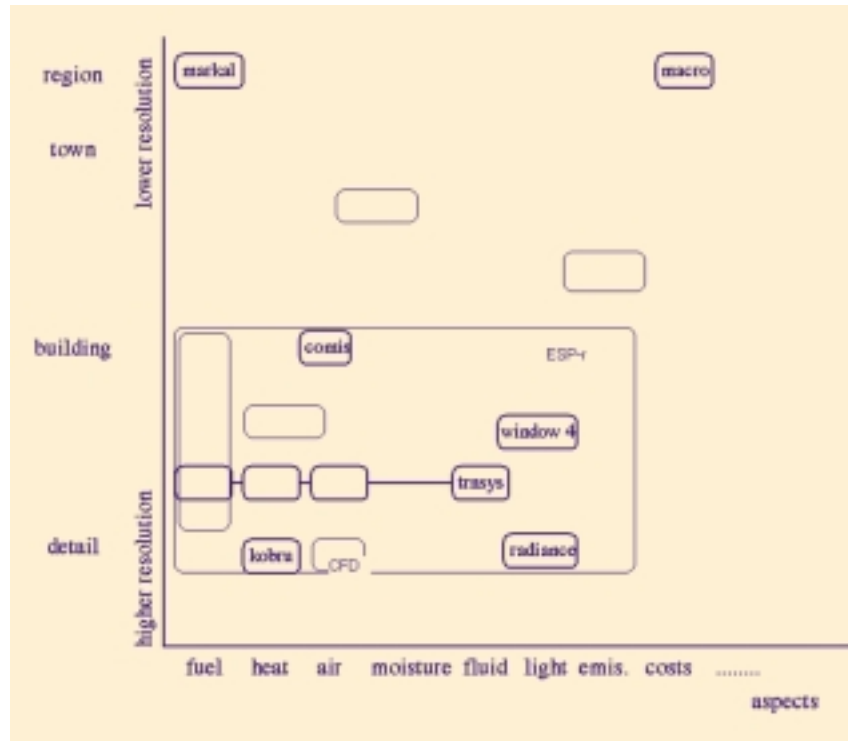
De enorme ontwikkelingen in rekenkracht van computers, in numerieke methoden en in beschikbare fysieke gegevens hebben het mogelijk gemaakt om fysieke processen te simuleren met resolutieniveaus en tijdschalen die nog slechts een paar jaar geleden voor onmogelijk werden gehouden. Voor overzichten van thans beschikbare software voor gebouwprestatie simulatie, zie bijvoorbeeld [www.ibpsa-nvl.org](http://www.ibpsa-nvl.org).

### Waarom is het nodig?

Gebouwprestaties zoals binnenmilieu-kwaliteit, energiegebruik, en CO<sub>2</sub>-uitstoot zijn niet alleen afhankelijk van individuele bouwdeelen (gevel, binnenwanden, ramen, vloeren, enz.) of van de installaties (verwarming, ventilatie, airconditioning, verlichting, enz.), maar van het integrale geheel van al deze dynamische subsystemen. De problemen (en oplossingen) liggen vaak niet zozeer op de afzonderlijke vakgebieden, maar juist op het raakvlak van bouwfysica, binnenmilieu en installatietechnologie. In Eindhoven is dit binnen Bouwkunde al lang geleden onderkend door de grondlegger van de capaciteitsgroep Fysische Aspecten van de Gebouwde Omgeving (FAGO), prof.ir. J. Hamaker (1978).

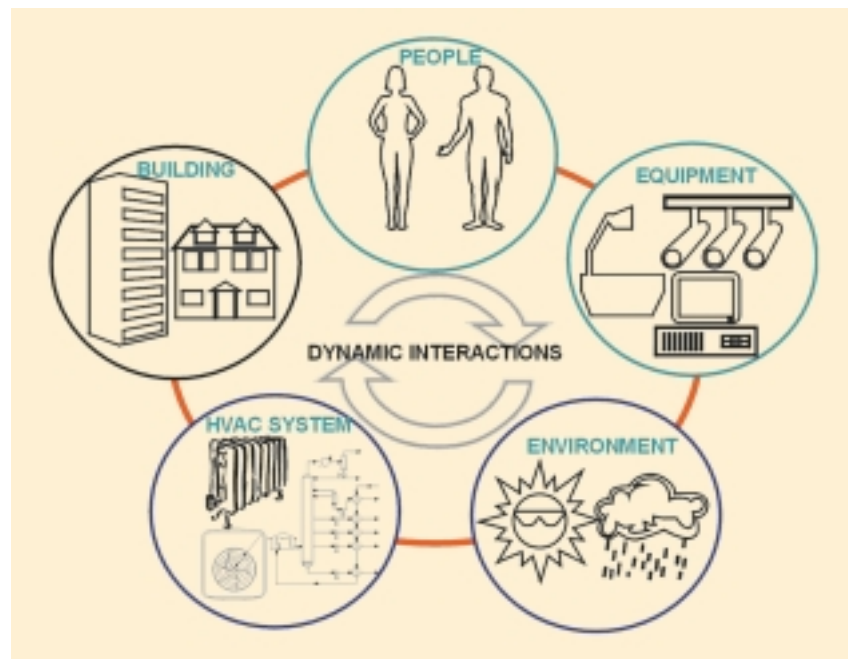
Het binnenmilieu en het daarmee samenhangende gebruik van fossiele brandstoffen en de uitstoot van CO<sub>2</sub> is maatschappelijk gezien zeer relevant. Denk bijvoorbeeld aan gezondheid en welbevinden (ongeveer 90% van ons hele leven brengen we door in gebouwen), productie van goederen en diensten (ongeveer 60% van ons BNP wordt in gebouwen geproduceerd), gebruik van fossiele brandstoffen (het energiegebruik in gebouwen is ongeveer 30% tot 40% van het totale nationale gebruik), installatiekosten (ongeveer 5% tot 10% van de bouwkosten bij woningen en 30% tot 50% bij utiliteitsbouw).

De gebouwde omgeving wordt steeds complexer ten gevolge van economische, milieutechnische en sociale ontwikkelingen, zoals een toenemend bewustzijn en een groeiende behoefte aan binnenmilieukwaliteit (gezondheid, comfort, productiviteit), de vraag naar multifunctionaliteit (wonen, werken, winkelen, sport, ontspanning), de



**Willekeurige voorbeelden van gebouwprestatie simulatiesoftware met globale indicatie van het beschouwde resolutieniveau en de belangrijkste gemodelleerde fysieke aspecten.**

-FIGUUR 2-



**Dynamische interacties tussen subsystemen in gebouwen**

-FIGUUR 3-

vraag naar flexibele, aanpasbare gebouwen en de toenemende (internationale) concurrentie in de bouw. Dit betekent dat het ontwerpen van gebouw en installatie complexer wordt, omdat er aan veel meer eisen moet worden voldaan. Om gebouwprestaties substantieel te verbeteren, is het nodig om een gebouw in zijn geheel te optimaliseren en niet te benaderen als de som van een

aantal afzonderlijk geoptimaliseerde componenten. Integrale gebouw simulatie is hiervoor ideaal, omdat tegelijkertijd de constructies, de installaties, het binnenmilieu en het buitenmilieu kunnen worden meegenomen. Door het voorspellen van toekomstige prestaties van alternatieve ontwerpopties of regelstrategieën, kan simulatie helpen bij analyse, ontwerp, beheer en rege-

ling van gebouw en installaties voor een goed en duurzaam binnenmilieu. Zodoende kan simulatie een bijdrage leveren aan de zorg voor mensen, nu en in de toekomst.

### **Wie heeft er wat aan?**

‘The best way to predict the future, is to create it’ geeft de essentie van het nut van simulatie van gebouwprestaties wellicht het best weer.

Ontwerpen draagt risico’s in zich. Je professionele reputatie op het spel zetten voor een innovatief ontwerp is riskant. Zelfs het schatten van maximale verwarmings- en koelcapaciteiten kan niet-vermoede implicaties hebben. Simulatie van gebouwprestaties kan (mits goed gebruikt door capabele mensen) een zeer waardevol hulpmiddel zijn om ontwerprisico’s te verkleinen.

Met behulp van simulaties kunnen prestaties van innovatieve ontwerp-oplossingen worden voorspeld. Zodoende kan simulatie bijdragen aan technologische vooruitgang en aan het verbeteren van de concurrentiepositie, de productiviteit, de kwaliteitsbewaking en de effectiviteit in de bouwsector. Vanuit die optiek is geslaagde implementatie van simulatiesoftware en toepassing in de praktijk essentieel voor een groot aantal partijen in de bouw.

Voordat simulatie van gebouwprestaties beschikbaar was, moesten architecten en ingenieurs een gebouw met bijbehorende installaties ontwerpen met behulp van traditionele mono-disciplinaire ontwerpmethoden en/of ambachtelijke vuistregels. Dit leidde vaak tot overgedimensioneerde installaties, te hoog energiegebruik en/of een relatief slecht binnenmilieu. Met behulp van simulatie kunnen ontwerpers hun expertise beter tot uitdrukking laten komen, uitbreiden en verbeteren. Hierdoor is het bijvoorbeeld mogelijk geworden om duurzame energietechnologieën in ieder gebouw en niet alleen in demonstratieprojecten toe te passen.

Gebouw- en installatieontwerpers worden steeds meer geconfronteerd met regelgeving betreffende energiegebruik en milieubelasting. Daardoor hebben zij meer kennis van de aanverwante disciplines nodig, om tijdig rekening te kunnen houden met die

regelgeving. Het ontwerpen van gebouwen met bijbehorende installaties zal meer en meer gedaan worden door multidisciplinaire teams. Simulatie is voor ontwerpers niet alleen van belang om ideeën te toetsen, maar kan ook worden gebruikt om ideeën te presenteren en te promoten. Simulatie zou wel eens één van de belangrijkste technologieën kunnen worden voor communicatie en samenwerking in multidisciplinaire ontwerpteam.

### **Stand van zaken**

Gebouwprestatie simulatie heeft zich veel trager ontwikkeld dan in de jaren zeventig werd gedacht. Destijds waren de verwachtingen hoog gespannen, maar de materie is moeilijker gebleken dan verwacht. Dit heeft enerzijds te maken met de complexiteit en voortdurende ontwikkelingen in de bouw zoals warmte- en koudeopslag in de bodem, atria, klimaatgevels en 2<sup>e</sup> huidfaçades. Anderzijds is de markt voor simulatiesoftware nog steeds relatief klein.

Hoewel met de huidige software een indrukwekkend areaal aan gebouwprestaties kan worden gesimuleerd [1] zijn er nog veel knelpunten over routinematig gebruik in de praktijk, zoals:

- in de praktijk wordt gebouwprestatie simulatie tot nu toe vrijwel alleen gebruikt voor toetsing van het definitieve ontwerp; dus feitelijk analyse van een enkele oplossing in plaats van optimaliseren door het voorspellen van het toekomstig gedrag van meerdere ontwerpvarianten;
- veel software wordt niet echt in de praktijk gebruikt bij het ontwerpen, waarschijnlijk omdat er een discrepantie is tussen beoogde en werkelijke gebruikers qua doelstellingen, verwachtingen, achtergrondkennis, vaardigheden, beschikbare tijd en budget;
- verschillende gebouw- en installatiecomponenten en -systemen kunnen nog niet, of niet voldoende nauwkeurig, worden gesimuleerd;
- kwaliteitsbewaking in zijn algemeenheid.

Organisaties zoals de International Energy Agency (IEA) en de American Society of Heating, Refrigerating and Airconditioning Engineers (ASHRAE) zijn al jarenlang actief op het gebied van kwaliteitsbewaking van software.

In eerste instantie waren het vooral validatiestudies. Meer recent zijn testmethoden ontwikkeld zoals de Building Energy Simulation Test and Diagnostic Method (BESTEST) door de IEA en een specifieke Standard Method of Test (SMOT) voor gebouwprestatie simulatiesoftware door ASHRAE.

Naast kwaliteitsbewaking van de software is kwaliteitsbewaking van het toepassingsproces wellicht nog belangrijker. In een aantal papers is hierop ingegaan tijdens het recente International Building Performance Simulation Association (IBPSA) congres, Building Simulation 2003 in Eindhoven [1]. Een goede opleiding van (toekomstige) simulatiegebruikers is hierbij van groot belang.

Gebouwmodellering en -simulatie beginnen een (verdiende) eigen plaats te krijgen bij verschillende universitaire opleidingen in binnen- en buitenland. Op een recente ASHRAE annex IBPSA-USA-seminar bleek dat Nederland een van de meest vooruitstrevende landen is op dit gebied.

In de jaren zeventig en tachtig werd naïef gedacht, dat het mogelijk zou moeten zijn om software zodanig ‘intelligent’ te maken, dat ‘iedereen’ er relevante simulaties mee zou kunnen uitvoeren. We zijn er ondertussen achter, dat dit alleen mogelijk is voor een klein aantal specifieke, relatief eenvoudige en goed gedefinieerde simulatietaken, zoals eenvoudige normtoetsingen die, bijvoorbeeld zouden kunnen worden gestuurd door een CAD-pakket. Maar zelfs voor dit soort taken moet de gebruiker voldoende domeinkennis hebben om de resultaten zinvol te kunnen interpreteren.

In de werkelijkheid doet simulatiesoftware bijna nooit precies wat een innovatieve ontwerper graag zou willen, juist omdat nieuwe innovatieve oplossingen nog niet in de simulatiesoftware beschikbaar zijn. Uit verschillende studies is gebleken, dat gebouwsimulatie niet alleen afhangt van software, maar dat het ook een ‘kunde’ is, die kritisch afhankelijk is van twee essentiële eigenschappen:

- de kennis en kunde om het complexe systeem met bijbehorende interrelaties te begrijpen, ofwel voldoende domeinkennis;
- de bekwaamheid om dit begrip te vertalen in een voor de simulatie-

software geschikte, logische representatie.

Voor beide eigenschappen geldt overigens, dat het belang en de moeilijkheidsgraad ervan exponentieel toenemen met het resolutieniveau van het simulatiemodel.

Ook is gebleken dat voor effectieve simulatie van bouwprestaties en kwaliteitsborging van de resultaten drie belangrijke uitgangspunten gelden:

- het model moet gepast zijn in termen van complexiteit, schalen resolutieniveau;
- de software moet gevalideerd en het model moet gekalibreerd zijn.
- de simulaties moeten worden gebruikt om alternatieve oplossingen of ontwerpopties in relatieve zin met elkaar te vergelijken.

In de praktijk wordt vaak aan één of meerdere voorwaarden niet voldaan.

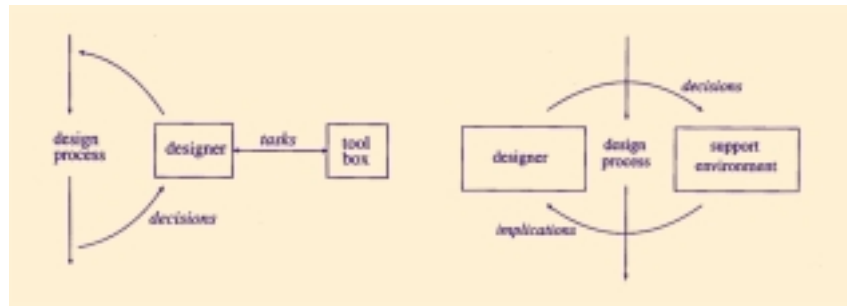
## TENDENSEN

Reeds lang is de noodzaak onderkend van een integrale benadering van gebouw en installatie vanaf het eerste begin van het ontwerpproces. Er is een duidelijke tendens in onderzoek en ontwikkeling die moet leiden tot toepassing van simulatie eerder in het ontwerpproces.

Ontwerpen vindt steeds vaker plaats in teamverband. Bij het ontwikkelen van software kan ervan worden uitgegaan dat bouwprestatie simulatie vooral zal worden gebruikt door iemand met domeinkennis over binnenmilieu, bouwfysica en installaties en kennis en vaardigheden over simulatie.

Er is ook toenemende belangstelling voor mogelijkheden voor het gebruik van simulatie anders dan voor het ontwerp, bijvoorbeeld bij de oplevering van het gebouw, of voor continuous commissioning, auditing en voorspellend regelen van gebouw en installaties.

Het ligt voor de hand dat simulatie van bouwprestaties meer en meer gaat worden gebruikt in de praktijk. Dit heeft te maken met prestatiegerichte, in plaats van voorschrijvende normering. Organisaties die zich richten op het promoten van effectief gebruik van simulaties (zoals IBPSA en ASHRAE), specifieke trainingen en



Traditionele benadering versus computer-supported ontwerpomgeving [2]

-FIGUUR 4-

nascholing, het opnemen in de reguliere curricula van hoger onderwijs, en het toenemend aantal adviesbureaus met kennis en ervaring in het toepassen van deze technologie.

Het moge duidelijk zijn dat, als de technologie meer en breder wordt toegepast, er ook hogere eisen zullen worden gesteld aan de simulatiesoftware en de gebruikers daarvan. Dit heeft voordelen, omdat hogere eisen zullen aanzetten tot verdere ontwikkelingen. Het is echter ook problematisch, omdat de onderliggende issues uiterst complex zijn.

Zoals Clarke [2] beschrijft, kan het huidige gebruik van bouwprestatie-simulatie worden gekarakteriseerd met de toolbox metafoer, waarin een ontwerper eerst een bepaalde taak moet herkennen, dan een geschikt programma moet selecteren en gebruiken en vervolgens de resultaten moet vertalen naar een zinvolle ontwerp aanpassing. Dit is niet erg efficiënt, omdat de simulatiesoftware is ontkoppeld van het ontwerpproces en de ontwerper zelf de vertaalslag moet maken tussen de verschillende gegevensmodellen.

Hoe zou een ideale situatie er in de toekomst uit kunnen zien? De ontwerper (van het binnenmilieu) heeft een computerondersteunde ontwerp-omgeving, waarin de juiste simulatie-gereedschappen op het juiste moment beschikbaar zijn. Belangrijk hierbij is, dat de software afgestemd is op het juiste expertiseniveau. De simulatie-gereedschappen zouden ook kunnen worden gebruikt voor het overdragen en inzichtelijk maken van ideeën en concepten naar bijvoorbeeld de opdrachtgever en andere leden van het ontwerpteam.

Eenmaal beschreven gedeelten van gebouw en installaties zouden niet

opnieuw hoeven te worden ingevoerd voor software die later wordt gebruikt. Modellen in latere stadia van het ontwerpproces zouden automatisch kunnen worden gegenereerd door expansie of reductie van model(len) die al eerder zijn gebruikt. Import en export van model en bijbehorende gegevens van en naar andere leden van het ontwerpteam zou eenvoudig moeten zijn. Een voorbeeld zou kunnen zijn: export naar een virtual reality applicatie om de opdrachtgever en toekomstige bewoners het gebouw te laten zien en 'voelen' en voor het geven van tips of instructies over het gebruik van gebouw en installaties. Het model van het definitieve ontwerp zou kunnen worden gebruikt bij de oplevering (werkt alles naar behoren?). Hetzelfde of een afgeleid model zou kunnen worden gebruikt voor beheer (werkt alles nog steeds volgens overeengekomen prestatie-eisen?) en voor (voorspellend) regelen van gebouw en installaties.

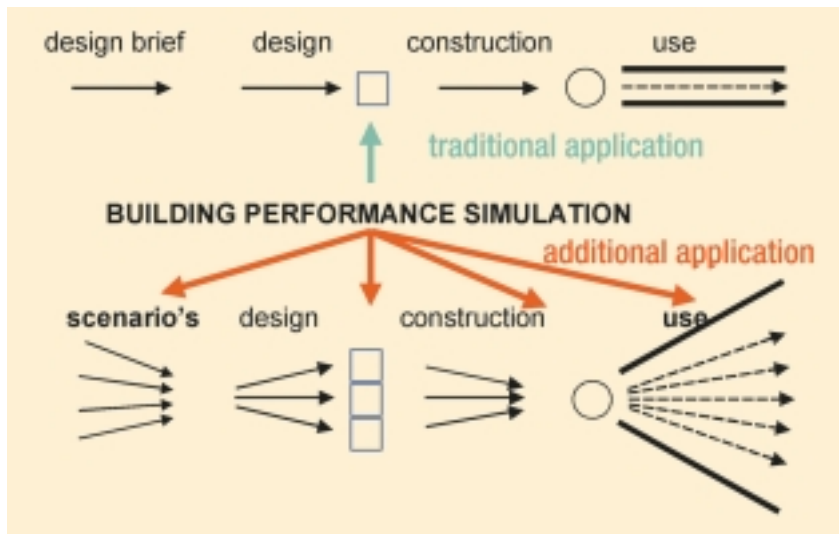
Gegeven de ervaringen uit het verleden, is er nog veel onderzoek en onderwijs nodig voordat dit toekomstbeeld werkelijkheid zal worden.

## ONDERZOEK

Ons onderzoek is voornamelijk gericht op:

- (1) betere kwaliteitsbewaking van bouwprestatie simulatie;
  - (2) efficiënter toepassen in het ontwerpproces;
  - (3) effectiever aansluiten bij onderzoek en ontwikkelingen elders;
  - (4) kennisoverdracht.
- Ik zal dit nader uitleggen.

Een stuk kwaliteitsverbetering kan worden verkregen door betere afstemming van gereedschap en gebruiker. Dit kan door te onderzoeken welke ontwerpers simulatie zouden willen



**Vergroten van de draagwijdte van gebouwprestatie simulatie.**

-FIGUUR 5-

gebruiken, op welk moment in het ontwerpproces en met welke doelstelling. Interessant hierbij is de zich wijzigende rol van adviseur en installateur in het ontwerpproces.

De adviseur gaat een belangrijkere rol spelen bij het conceptuele ontwerp, terwijl de installateur taken op zich neemt, die voorheen door de installatieadviseur werden gedaan.

Dit werk heeft duidelijke raakvlakken met het onderzoek naar strategisch ontwerpen van collega Rutten. Kwaliteitsverbetering kan ook worden verkregen door meer aandacht te besteden aan methodologische aspecten (waaronder validatie en kalibratie) van gebouwprestatiesimulatie in het ontwerpproces. In deze context vindt samenwerking plaats in het 'design analysis integration' onderzoek van Augenbroe bij het Georgia Institute of Technology in Atlanta.

In de nabije toekomst willen we samen met enkele industriële partners een project starten met als belangrijkste doelstellingen het onderzoeken en verwezenlijken van innovatieve toepassingen van gebouwsimulatie gedurende de gehele levenscyclus van een gebouw, in het bijzonder voor:

- het genereren en selecteren van ontwerpvarianten in een vroege fase van het ontwerpproces, wanneer er relatief snel beslissingen moeten worden genomen op basis van relatief weinig gegevens, maar die een grote invloed en belangrijke consequenties kunnen hebben gedurende de gehele rest van de levenscyclus van het gebouw;

- het optimaliseren van het ontwerp gedurende vroege en latere fasen in het ontwerpproces, waar tot nu toe gebouwprestatie simulatie vrijwel alleen wordt gebruikt om te toetsen of aan bepaalde (minimale) normen wordt voldaan;
- gebouwprestatie voorspellingen en analyse van audit-resultaten met het oog op initiële en continuous commissioning bij en na oplevering van het gebouw;
- modelgebaseerd voorspellend regelen in het bijzonder voor concurrerende of elkaar beïnvloedende systemen, zoals daglicht, natuurlijke ventilatie, zonwering, airconditioning, warmte en koudeopslag, enz.

Het onderzoek streeft naar maximaal gebruik van simulatie gedurende de gehele levenscyclus. Daarom zijn interoperabiliteit, hergebruik van modellen en optimale sturing van simulatie-inspanningen belangrijke aandachtspunten. Een van de grootste uitdagingen in dit project is dat het bij de genoemde toepassingen gaat om belanghebbenden en uitvoerenden met sterk verschillende achtergrond, doelstelling, behoeften en middelen. Deze verschillen zullen expliciet in acht moeten worden genomen.

Een belangrijke doelstelling is, dat de modellen voor de verschillende fasen en toepassingen voor zover mogelijk worden gegenereerd uit eerdere modellen op basis van vererven, expansie of reductie.

Een niet onbelangrijk bijkomend voordeel van een computermiddel als een

dynamische blauwdruk en handleiding van het gebouw plus installaties is, dat er hierdoor ook meer financiële middelen beschikbaar kunnen komen voor gebouwprestatie simulaties tijdens het ontwerp.

Een andere onderzoekslijn beoogt het effectiever aansluiten bij werk en ontwikkelingen elders. Voor gebouwprestatie simulatie zijn er in dat verband drie belangrijke internationale benaderingen.

De eerste is om alle ontwikkelingen in één softwareomgeving (bijvoorbeeld in Matlab), of -elegantier- in een neutrale taal (bijvoorbeeld Modelica) te representeren. Probleem hierbij is, dat bestaande software moet worden vertaald. Dit is geen wetenschappelijk onderzoek en hiervoor zijn vrijwel geen middelen beschikbaar. De tweede benadering is gebaseerd op software interoperabiliteit op het niveau van gebouw en installatiebeschrijving (productmodellering). Dit onderzoek is in een vergevorderd stadium en wordt momenteel door de industrie verder uitgewerkt en geïmplementeerd.



**Toekomstige geïntegreerde simulatieomgeving bestaande uit een geavanceerd multi-zone gebouwprestatie simulatieprogramma dat run-time gekoppeld is met externe gebouw simulatiesoftware.**

-FIGUUR 6-

Wij focussen op de derde benadering waarin een stap verder wordt gegaan door niet alleen interoperabiliteit op inputniveau na te streven, maar door simulatieapplicaties run-time te koppelen.

De onderzoeksvragen hierbij betreffen niet zozeer de softwarematige aspecten van interprocescommunicatie, maar veel meer fysische aspecten, zoals voor welk type toepassingen wil je dit verwezenlijken, welke variabelen moeten

dan met welke frequentie worden uitgewisseld en hoe kun je variabelen in de verschillende applicaties in overeenstemming brengen? Bij dit onderzoek werken we samen met onder anderen Clarke van de University of Strathclyde in Glasgow.

## ONDERWIJS

Op onderwijsgebied wordt niet gestreefd naar een soort simulatie-ingenieur. Simulatie is niet meer dan één van de hulpmiddelen om te komen tot een optimaal ontwerp en eindresultaat. Er is behoefte aan mensen met eigen vak-kennis en toegevoegde simulatiekennis en -vaardigheden.

Wij verzorgen drie colleges modellering en simulatie voor studenten bouwkunde en installatietechniek. Het eerste inleidende vak zal binnenkort worden gegeven in het eerste en tweede jaar van de studie i.p.v. in een latere fase, zoals nu nog het geval is. Het aantal studenten zal naar verwachting oplopen van ruim twintig naar ongeveer tachtig tot honderd studenten per jaar. Het tweede (state-of-the-art) en derde (capita selecta) vak zijn bedoeld voor studenten in de masterfase. Het onderwijs is gebaseerd op de volgende veronderstellingen en benaderingen:

- universitair onderwijs moet worden gevoed vanuit onderzoek;
- bachelorstudenten worden geacht eerst het inleidende vak te hebben gevolgd voordat ze bouwprestatie-simulatie toepassen in projectwerk. Masterstudenten en aio-ers die onderzoek doen in onze richting moeten de twee andere vakken ook doen;
- modelleren en simuleren leer je pas echt door het te doen; d.w.z. in individueel of groepsmatig projectwerk, dat qua complexiteit kan variëren van relatief eenvoudig (bachelorfase), via state-of-the-art (echte praktijkproblemen) tot zeer geavanceerd (promotieonderzoek).

## INTERNATIONALE SAMENWERKING

In mijn ervaring ontstaat (internationale) samenwerking vaak vanuit min of meer toevallige persoonlijke contacten of vanuit activiteiten in (internationale) beroeps- en/of belangenorganisaties, zoals in mijn geval IBPSA, ASHRAE, de Vereniging voor Auto-

matisering in de Bouw en Installatietechniek (VABI) en de Nederlandse technische vereniging voor installaties in gebouwen (TVVL). Institutionele bilaterale overeenkomsten en overheidssubsidies spelen daarbij vaak wel een essentiële rol om één en ander praktisch mogelijk te maken.

Mijn jarenlange samenwerking met Professor Joe Clarke van de University of Strathclyde in Glasgow uit zich vooral in gezamenlijk onderzoek, ontwikkeling en toepassing van bouwprestatiesimulatiesoftware.

Jarenlange samenwerking met Professor Frantisek Drkal in Praag heeft geleid tot het geven van colleges en het begeleiden van promovendi van de afdeling Environmental Engineering aan de Czech Technical University. We zijn daarbij in de gelukkige omstandigheid dat onze wederzijdse onderzoeksgroepen op verschillende niveaus complementair zijn. Zo zijn wij met het Center for Buildings & Systems TNO - TU/e verankerd in de faculteit Bouwkunde, terwijl de Schotse en Tsjechische groepen bij werktuigbouwkunde zijn ondergebracht.

Qua onderzoek is de Schotse groep meer softwaregericht, de Tjechische groep meer praktisch toepassingsgericht, terwijl we ons in Eindhoven meer richten op het ontwikkelen en verbeteren van simulatieprocessen en -technieken.

## BEDRIJFSLEVEN

Feitelijk heeft Nederland lange tijd voorop gelopen in het toepassen van simulatiesoftware voor gebouwen. Dit kwam vooral door de de-facto norm van de Rijksgebouwendienst om ontwerpen voor nieuwe kantoorgebouwen te toetsen op temperatuuroverschrijding in de zomer.

Zowel de al in de zeventiger jaren opgerichte vereniging VABI, als de door VABI hiervoor ontwikkelde software waren uniek in de wereld.

Onze voorsprong zijn wij echter langzaam maar zeker aan het verliezen aan landen zoals de Verenigde Staten en het Verenigd Koninkrijk.

Landen waar softwareleveranciers hard aan de weg timmeren. Wij blijven een beetje steken op het niveau van temperatuuroverschrijdingsberekeningen, terwijl er veel meer mogelijk is dan

alleen toetsen aan de normen.

Het is overigens interessant dat het Department of Energy in de Verenigde Staten een substantiële bijdrage levert aan het ontwikkelen van specifieke software en aan promotie van bouw-simulatie in zijn algemeenheid, dit in tegenstelling tot de Nederlandse en Europese overheid.

Ik hoop dat de activiteiten van de Nederlands-Vlaamse afdeling van IBPSA, in samenwerking met VABI, TVVL en andere beroeps- en/of belangenorganisaties, er mede voor zullen zorgen dat er in de praktijk meer begrip ontstaat voor bouwprestatiesimulatie.

Ik ben ervan overtuigd, dat door een toenemende draagwijdte van deze technologie gedurende de levensloop van een gebouw, de impact en het aantal belanghebbenden sterk zullen toenemen, en dat dit uiteindelijk stimulerend zal werken op fysische bouwprestaties.

## DANKWOORD

Ik hoop een beeld te hebben gegeven van het vakgebied bouwprestatie-simulatie en wat ik daaraan denk bij te dragen. Ik dank de Technische Universiteit Eindhoven voor het in mij gestelde vertrouwen om dit vak verder gestalte te geven. Samen met collega's binnen en buiten de TU/e, en speciaal met het Center for Buildings & Systems TNO - TU/e, hoop ik zinvol en hoogwaardig onderzoek en onderwijs te mogen verwezenlijken.

Ik dank de VABI voor het financieel mogelijk maken van mijn leerstoel.

Nadat ik bij Bouwkunde begon te studeren, ontwikkelde ik al snel mijn interesse in Fysische Aspecten van de Gebouwde Omgeving (FAGO). Ik ben bij FAGO afgestudeerd, gepromoveerd en sta hier nu als hoogleraar. Ik voel me bij FAGO thuis en daarvoor wil ik graag alle collega's bedanken.

Enkele mensen wil ik in het bijzonder danken, omdat ze zoveel voor mijn loopbaan hebben betekend.

In de eerste plaats Joop Vorenkamp, emeritus hoogleraar. Hij heeft mij altijd bijzonder weten te motiveren,

eerst als docent en afstudeerbegeleider, daarna als leidinggevende en nog later als tweede promotor.

Mijn eerste kennismaking met Joe Clarke, professor in Environmental Engineering in Glasgow, was in 1986. Sindsdien ben ik elk jaar in Schotland geweest, vaak voor langere periodes. Joe ken ik als leermeester, als eerste promotor, als directeur van de onderzoekseenheid waar ik bijna negen jaar met veel plezier heb gewerkt, maar vooral als goede vriend.

Frantisek Drkal, professor in Environmental Engineering in Praag, ontmoette ik in 1993. Wij hebben sinds die tijd samen veel interessante projecten gedaan en dingen meegemaakt in Tsjechië.

Paul Rutten, hoogleraar in ontwerpen van het binnenmilieu, ken ik sinds 1995. Eerst als partner in een internationaal onderzoeksproject, later als collega en goede vriend. Hij is het geweest die mij heeft overgehaald om in 2000 terug te komen naar de TU/e, onder andere om een bijdrage te leveren aan het Center for Building & Systems TNO - TU/e. Ik ben nog steeds erg blij met die beslissing.

Ik wil hier ook de aio-ers en studenten bedanken - onderzoek lukt niet en is lang niet zo leuk wanneer je het in je eentje doet.

Een speciaal woord van dank aan mijn moeder. Mijn vader heeft deze dag helaas niet mee kunnen maken. Maar samen hebben jullie wel hiervoor de basis gelegd.

Last but not least, lieve Lada, diky moc!

Ik heb gezegd. 

## LITERATUUR

1. Augenbroe, G. en J.L.M. Hensen (eds.) *Building Simulation 2003*, Proceedings of the 8<sup>th</sup> International Building Performance Simulation Association Conference, IBPSA, 2003.
2. Clarke, J.A. *Energy simulation in building design*, Butterworth-Heinemann, Oxford. 2<sup>e</sup> editie, 2001.
3. Hamaker, J. *Integratie?!*, rede uitgesproken ter afsluiting van de ambtsperiode als hoogleraar in de fysische

beheersing van het binnenmilieu aan de afdeling der Bouwkunde van de Technische Hogeschool te Eindhoven op 3 november 1978.

4. Rutten, P.G.S. *'Strategisch bouwen'*, rede uitgesproken ter aanvaarding van het ambt van hoogleraar in het ontwerpen van het binnenmilieu aan de faculteit Bouwkunde van de Technische Universiteit Eindhoven op 31 mei 1996.

## COLOFON

Productie: Communicatie Service Centrum TU/e  
Fotografie: Rob Stork, Eindhoven  
Ontwerp: Plaza ontwerpers, Eindhoven  
Druk: Drukkerij Lecturis, Eindhoven  
ISBN: 90-386-1143-9  
Digitale versie: [www.tue.nl/bib/](http://www.tue.nl/bib/)

## CURRICULUM VITAE

Prof.dr.ir.J.L.M. Hensen is per 1 oktober 2002 aan de Technische Universiteit Eindhoven benoemd tot hoogleraar binnen de faculteit Bouwkunde. Zijn vakgebied is bouwprestatie simulatie.

Jan Hensen werd in 1953 geboren te Tilburg. Na het behalen van het HBS-B diploma aan het St Pauluslyceum te Tilburg in 1971 en het vervullen van zijn militaire dienstplicht, studeerde hij vanaf 1975 aan de toenmalige Technische Hogeschool in Eindhoven waar hij in 1981 het diploma bouwkundig ingenieur behaalde. Vervolgens was hij tot medio 1986 in dienst van de Technisch Fysische Dienst TNO - TH van de Centrale Organisatie TNO. Daarna werd hij als assistent-onderzoeker aangesteld bij de afdeling der Bouwkunde aan de Technische Hogeschool in Eindhoven.

In 1991 promoveerde hij op het proefschrift 'On the thermal interaction of building structure and heating and ventilation systems', met Professor Clarke (University of Strathclyde) en Professor Vorenkamp als respectievelijk 1<sup>e</sup> en 2<sup>e</sup> promotor.

Van 1991 tot 1993 was hij universitair docent bij de faculteit Bouwkunde. Vanaf oktober 1993 tot eind 1999 heeft hij gewerkt bij de afdeling Werktuigbouwkunde aan de University of Strathclyde in Glasgow. Sinds 1993 is hij parttime werkzaam bij de Czech

Technical University in Praag. Bij die universiteit werd hij in 2002 bevorderd tot hoogleraar binnen de faculteit Werktuigbouwkunde.

Per 1 januari 2000 kwam hij in dienst van de faculteit Bouwkunde aan de Technische Universiteit Eindhoven als universitair hoofddocent op het vakgebied prestatiegericht ontwerpen. Sinds 2001 is hij directeur onderzoek van het Center for Building & Systems TNO - TU/e.

Zijn interesses liggen vooral op het interdisciplinaire gebied van bouwfysica, binnenmilieu en installaties. Zijn onderwijs en onderzoek richten zich op computersimulatie voor het prestatiegericht ontwerpen van gebouw en installaties. Op bestuurlijk niveau is hij zowel nationaal als internationaal actief in deze discipline.