

Voor een atrium, met behulp van gebouwssimulatie¹

Vergelijking van twee energiezuinige koelstrategieën

De gebouwde omgeving is een complex geheel met veel onderlinge interacties. Zelfs als we ons beperken tot aspecten zoals binnenmilieu en energiegebruik, zijn reële ontwerpgegevens meestal te ingewikkeld om te worden opgelost met eenvoudige regels en richtlijnen. Een manier om hiermee om te gaan is door gebruik te maken van computersimulaties. Dit artikel probeert dit te illustreren aan de hand van een case studie.

- door prof.dr.ir. J.L.M. Hensen*



De heer prof.dr.ir. J.L.M. Hensen

De casestudy [3] betreft comfortproblemen in de zomer in het atrium van een neurologische kliniek in Duitsland. Als mogelijke oplossing zijn twee energiezuinige koelstrategieën beschouwd: vervanging van de bestaande beglazing en/of het vergroten van de natuurlijke ventilatie in het atrium.

VERVANGING BESTAANDE BEGLAZING

De volgende twee beglazingssystemen zijn als alternatief voor de bestaande beglazing beschouwd:

- zonwerende beglazing met een lagere ZTA-waarde dan de bestaande beglazing;
- thermotropische beglazing met temperatuurafhankelijke optische eigenschappen.

Thermotropische beglazing

Thermotropische beglazing in zijn eenvoudigste vorm bestaat uit twee lagen glas met daartussen een laag thermotropisch materiaal. Thermotropische

materialen zijn transparant voor zonnestraling bij lage temperaturen, maar schakelen automatisch om naar een veel hogere reflectie boven een bepaalde omschakeltemperatuur. Het materiaal bestaat uit twee hoofdcomponenten met verschillende brekingsindices (een polymeer en water in het geval van de zogenaamde hydrogels, en twee verschillende polymeren bij polymeer blends). Bij lage temperaturen zijn deze vermengd op moleculair niveau zodat het materiaal homogeen en transparant is. Als de temperatuur in het materiaal stijgt tot een bepaalde waarde, die tijdens het productieproces kan worden ingesteld, scheiden de twee componenten zich op microscopisch niveau. Invallend licht wordt dan sterk verstrooid, waarbij het meeste diffuus wordt gereflecteerd. De laag geeft dan een witte indruk en slechts een klein deel van de invallende zonnestraling wordt nog doorgelaten.

Om een acceptabele thermische isolatie te verkrijgen (lage U-waarde) wordt de thermotropische beglazing gecombi-

neerd met een binnenruit met low-e coating. De spouw wordt met gas gevuld. Een dergelijk beglazingssysteem zou kunnen worden toegepast om oververhitting in de zomer te voorkomen, terwijl het zoninstraling in de winter toelaat [2].

Er is een significante vooruitgang geboekt in de ontwikkeling van "schakelbare" beglazingen sinds de oorspronkelijke simulaties voor deze casestudy in 1994, bijvoorbeeld in Japan [6]. Parallel hieraan zijn er ondertussen twee manieren van "actieve" omschakeling uitgewerkt. De eerste, elektrochrome beglazing, werd geïntroduceerd op de Europese markt in 1998 [5]. De tweede is gasochrome beglazing, waarvan ondertussen ook prototypes zijn ontwikkeld [2]. Deze twee typen beglazing behouden doorzicht in de omgeschakelde staat, maar vereisen een complexe technologie in de gevel, in vergelijking tot thermotropische beglazing.

* Technische Universiteit Eindhoven

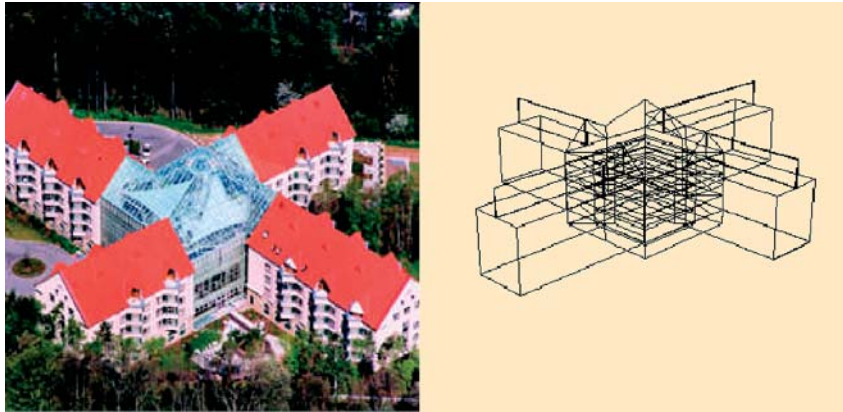
COMPUTERMODEL

Modelleren is als het ware het proces, waarbij het gebouwoontwerp zo wordt uitgedrukt, dat het geschikt is voor simulatie. Dit hangt af van de context. Betreft het nieuwbouw of herbestemming? Kan men beschikken over de juiste afmetingen, constructieve en operationele gegevens? Wat zijn de doelstellingen van de analyse?

In vergelijking tot bijvoorbeeld realistische visualisatie studies, kan energiemodellering veel abstracter worden gedaan. Een complexe geometrische vorm kan worden vereenvoudigd zonder effect op de resultaten. Ruimten met dezelfde temperatuur kunnen in één thermische zone worden gecombineerd. Hoewel er geen vaste regels zijn, is het meestal voldoende om oppervlakte, volume en materiaalgegevens te respecteren, zodat de warmtegeleiding, thermische capaciteit en ruimtelijke relaties in stand gehouden worden. Een belangrijke vuistregel is om het gebouwmodel zo eenvoudig mogelijk te houden zonder te kort te doen aan de relevante fysische processen.

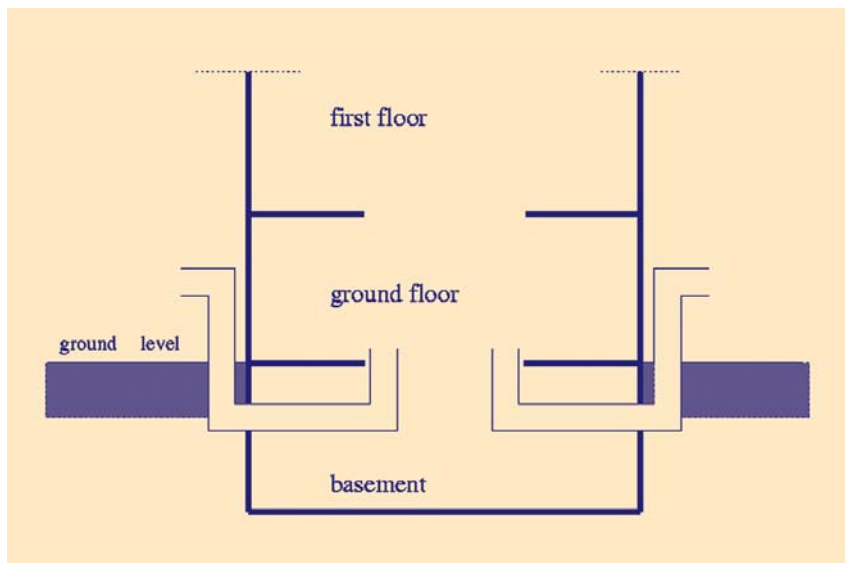
De huidige casestudy is geometrisch gemodelleerd zoals aangegeven in figuur 1. Hoewel het zo eenvoudig mogelijk is gehouden, is de configuratie toch relatief ingewikkeld. Het model omvat niet minder dan 25 thermische zones voor het atrium. Waar er in het echt geen oppervlakken zijn, zijn de thermische zones gekoppeld met fictieve wanden zonder warmteweerstand, warmtecapaciteit en die geen straling absorberen of reflecteren. Voor de ruimten die aan het atrium grenzen zijn thermisch constante condities aangenomen. De gebouwdelen die aan het atrium grenzen zijn als beschaduwende blokken gemodelleerd.

In dit geval zijn uiteraard de optische eigenschappen van de beglazing uitermate belangrijk, zie tabel 1. Omdat de optische eigenschappen van de thermotropische beglazing in de diffuse toestand niet goed bekend waren, is er een optimistische en een pessimistische aanname gedaan. In het huidige onderzoek zijn alle transparante systemen behandeld als zogenaamde "transparante meerlaagse constructies". Dit betekent dat vereenvoudigde concepten zoals U-waarde en ZTA-factor feitelijk niet worden gebruikt. De enige



Werkelijkheid versus computermodel van het gebouw.

- FIGUUR 1-



Kanalen voor natuurlijke toevoer van buitenlucht naar het midden van het atrium

- FIGUUR 2-

Kenmerken:	Tvis -	Tsol -	ZTA -	U W/m ² K
Bestaande beglazing	0.43	0.29	0.39	1.76
Zonwerend, 66/34	0.65	0.30	0.33	1.20
Zonwerend, 21/20	0.21	0.134	0.20	1.3
Thermotropisch, verticale, helder	0.75	0.41	0.51	1.25
Thermotropisch, dak, helder	0.70	0.37	0.49	1.24
Thermotropisch, diffuus, pessimistisch	0.17	0.10	0.16	1.3
Thermotropisch, diffuus, optimistisch	0.05	0.03	0.06	1.2

Belangrijkste optische en thermische eigenschappen van het beglazingssysteem.
Tvis = normal-hemispherical visible transmittance; Tsol = normal-hemispherical solar transmissie; ZTA = zontoetredingsfactor (indicatief); U = nominale U-waarde (indicatief).

- TABEL 1-

gegevens die daadwerkelijk zijn gebruikt, zijn de transmissie- en absorptiefactoren in elke laag voor verschillende invalshoeken. Met deze gegevens is het mogelijk om de doorlating en de temperatuur van iedere afzonderlijke laag te berekenen.

VERGROTEN NATUURLIJKE VENTILATIE

In de oorspronkelijke situatie worden de toegangsdeur op de begane grond en de balkondeuren geopend als het atrium te warm wordt. Dit resulteert echter in tocht en comfortklachten bij het personeel en patiënten.

Kanalen voor meer natuurlijke ventilatie

Om de natuurlijke ventilatie te vergroten en toch tocht te voorkomen, is een systeem volgens figuur 2 overwogen, waarbij ervan werd uitgegaan dat het geen probleem is om grote open ramen in het dak te hebben. De bedoeling van het systeem is om ongehinderd buitenlucht toe te voeren onder in het atrium zonder tochtklachten. Voor het voorliggende gebouw is uitgegaan van vier kanalen, ieder 30 m lang en 1 m² in doorsnede.

Computermodel

Bij het voorspellen van energiestromen in gebouwen is het nog steeds gebruikelijk om de thermische analyse en de schatting van infiltratie en ventilatie van elkaar te scheiden. Dit gaat in de praktijk vaak goed, in het bijzonder voor mechanische ventilatie. Echter wanneer de luchtstroming wordt veroorzaakt door temperatuurverschillen (waarbij er een relatief sterke koppeling is tussen warmte- en luchtstroming),

is deze vereenvoudiging niet geldig. Passieve koeling door extra natuurlijke ventilatie om oververhitting in de zomer te voorkomen is een typisch voorbeeld.

Dit is uitgebreid beschreven in [4] waarin verschillende methoden om het thermisch- en luchtstromingsmodel te koppelen worden vergeleken. In dat artikel wordt ook uitgebreid ingegaan op de voor- en nadelen van netwerkmodellen ten opzichte van CFD-modellen voor dit soort problemen. Figuur 3 toont enkele simulatieresultaten voor luchtstroming door een atrium dat onder en boven is geopend. Het is interessant dat de stroming 's nachts meestal hoger is dan overdag; de meeste mensen zouden andersom verwachten. De reden is dat het temperatuurverschil binnen-buiten de drijvende kracht is, en dat verschil is 's nachts het grootst.

RESULTATEN & DISCUSSIE

Uit de simulatieresultaten blijkt de best presterende optie in termen van

verlaging van zomerse binnentemperaturen:

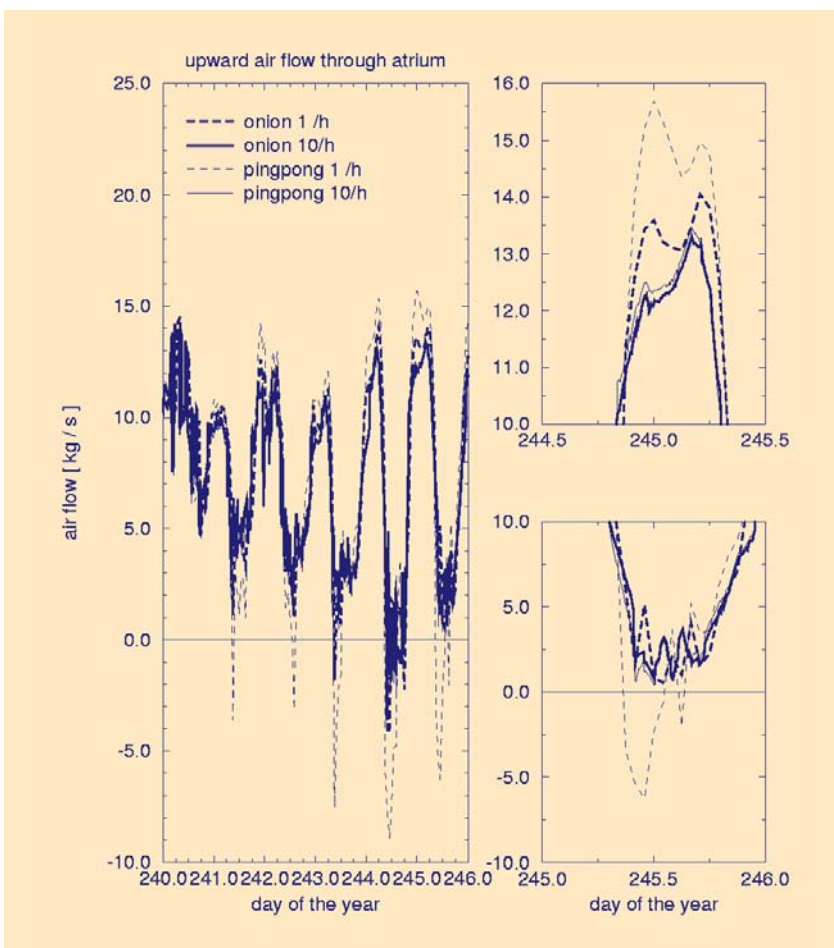
- thermotropische beglazing; omschakeling bij 20 °C; optimistische variant.

en vervolgens:

- thermotropische beglazing; omschakeling bij 20 °C; pessimistische variant;
- zonwerende beglazing 21/20;
- thermotropische beglazing; omschakeling bij 25 °C; pessimistische variant;
- zonwerende beglazing 66/34.

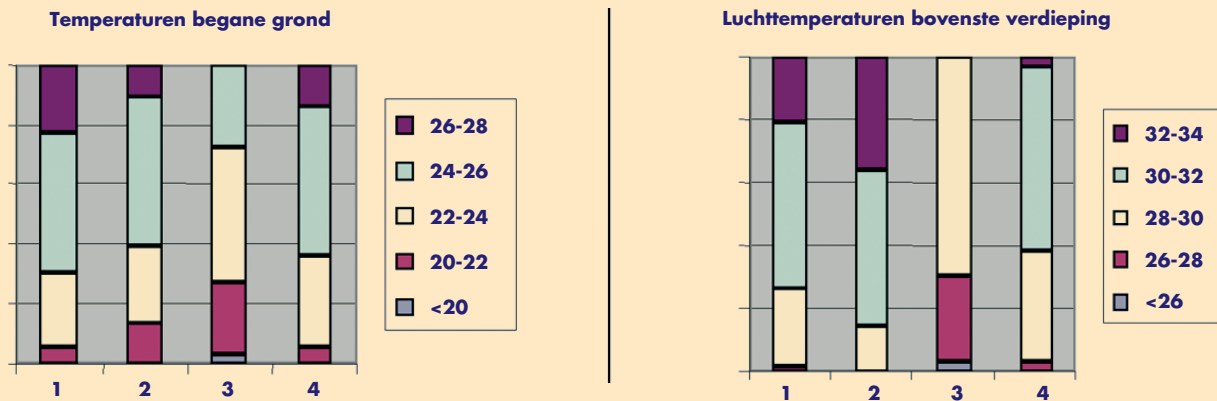
In werkelijkheid zullen ook andere zaken moeten worden bekeken; thermotropische beglazing is bijvoorbeeld in de omgeschakelde staat diffuus. Het zicht vanuit het atrium naar buiten zal verminderen, terwijl zonwerende beglazing en natuurlijke convectieve koeling dit neveneffect niet hebben.

Figuur 4 toont berekende luchttemperaturen voor een week in juli. Met thermotropische beglazing die schakelt bij 20 °C, zou de gemiddelde temperatuur in het atrium aanmerkelijk lager zijn dan in de bestaande situatie. Dat geldt ongeacht of de optimistische of pessimistische waarden voor de omgeschakelde staat worden gekozen. De zonwerende beglazing met ZTA-waarde van 20 % heeft ook een duidelijk positief effect. Uit de simulaties bleek echter slechts een marginaal verschil tussen de huidige beglazing en de zonwerende beglazing 66/34 indien op de 4^e verdieping de ramen geopend zouden zijn. In het geval dat de ramen op de 4e verdieping dicht zouden zijn, presteert de huidige beglazing zelfs beter dan de zonwerende beglazing 66/34. De belangrijkste reden waarom er zo weinig verschil lijkt te zijn tussen de huidige beglazing en de zonwerende beglazing is te wijten aan de combinatie van optische en thermische eigenschappen: hoewel de ZTA aanmerkelijk lager is dan voor de huidige beglazing, is ook de U-waarde veel lager. Met andere woorden, er komt weliswaar minder zonstraling binnen, maar eenmaal binnen kan de warmte er veel moeilijker weer uit. Het netto resultaat is dat de binnentemperaturen in de zomer vrijwel gelijk zouden blijven. Dit resultaat is ook weer anders dan wat in eerste instantie zou worden verwacht, en daarmee toont dit aan dat simulatie (met een geschikt model)



Simulatieresultaten van verticale luchtstromingen door een atrium tijdens zes dagen van een referentiejaar. De kleinere afbeeldingen tonen bepaalde resultaten in meer detail. "Onion" (ui) en "pingpong" refereren aan verschillende methoden om het thermisch- en luchtstromingsmodel te koppelen. [4]

- FIGUUR 3-



Luchttemperaturen in het atrium gedurende een week in juli voor de volgende varianten: 1 = huidige beglazing; 2 = zonwerende beglazing 66/34; 3 = thermotropische beglazing, omschakeling bij 20 °C, pessimistische variant; 4 = huidige beglazing + kanalen.

- FIGUUR 4-

noodzakelijk is bij dit soort ontwerp-problemen.


CONCLUSIE

Aan de hand van een realistisch voorbeeld is in dit artikel getracht te laten zien dat:

- simulatie kan worden gebruikt om toekomstige gebouwprestaties te voorspellen. Het biedt tevens de mogelijkheid om ontwerpalternatieven te beoordelen;
- simulatie kan worden gebruikt bij optimalisatie van een product (zoals de optimale omschakeltemperatuur van thermotropische beglazing); en dat
- simulatie kan worden gebruikt om ons begrip van interacties in een complex geïntegreerd systeem zoals een gebouw te vergroten.

In dit specifieke geval kon geen enkele ontwerp oplossing worden geëvalueerd met traditionele ontwerpmethoden. Voor de beglazingstrategie ging dat niet vanwege het atypische gedrag van het geavanceerde beglazingssysteem en bij de tweede oplossing ging dat niet vanwege de sterke koppeling tussen warmte- en luchtstroming.

Sommige resultaten gingen in eerste instantie tegen de verwachting in. De huidige situatie kan worden verbeterd door toepassing van zonwerende beglazing mits een geschikte combinatie van U-waarde en ZTA-factor wordt gekozen. Het effect van schakelende beglazing zal sterk afhangen van de productspecificaties. De natuurlijke ventilatie kan 's nachts groter zijn dan overdag, zowel uit het oogpunt van

comfort als uit het oogpunt van drijvende thermische kracht. Dit impliceert dat nachtelijke spuiventilatie een veelbelovende, energiezuinige koelstrategie zou zijn. Dit soort "onverwachte" resultaten zouden waarschijnlijk niet bereikt zijn met traditionele ontwerpmethoden. 

REFERENTIES

1. Blessing, R. and H.R. Wilson. 1998. "Schichtsysteme mit veränderlichem Transmissionsgrad: Technologische Fortentwicklung thermotroper Schichten in Verglasungen," in BMBF/BEO Seminar Proc. "Solar optimiertes Bauen", Freiburg, Germany.
2. Georg, A.; W. Graf; D. Schweiger; V. Wittwer; P. Nitz and H.R. Wilson. 1998. "Switchable glazing with a large dynamic range in total solar energy transmittance (TSET)," Solar Energy, vol. 62, pp. 215 - 228.
3. Hensen, J.; M. Janak and N. Kelly. 1995. "Predictive modelling Rhoen Klinik, Bad Neustadt; sunprotective vs. thermotropic glazing," University of Strathclyde, Energy Systems Research Unit, Report to Fraunhofer-Institute for Solar Energy Systems, Freiburg, ESRU Report R95/12.
4. Hensen, J. 1999. "A comparison of coupled and de-coupled solutions for temperature and air flow in a building," in ASHRAE Transactions, vol. 105:2, American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers.
5. Pilkington Flabeg GmbH 1999. "Elektrochrome Gläser - Die steuerbare Licht- und wärmeontrolle," Glaswelt, vol. 52, no. 2, pp. 21 - 24.
6. Watanabe, H. 1998. "Intelligent

window using a hydrogel layer for energy efficiency," Sol. En. Mat. Solar Cells, no. 54, pp. 203 - 211.

¹ Vertaalde en aangepaste versie van: J.L.M. Hensen, S. Herkel (Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, Duitsland), M. Janak, N. Kelly (University of Strathclyde, Schotland) en H.R. Wilson (Interpane E & BmbH, Duitsland) 2000. "Simulation for design: comparing two low-energy cooling strategies for an atrium," in Proc. Int. Building Physics Conf IBPC 2000, pp. 115-122, Eindhoven University of Technology.