

Adaptieve gevels

In de zoektocht naar oplossingen voor het bereiken van een steeds energiezuinigere gebouwde omgeving is een belangrijke rol weggelegd voor het ontwerp van de gevel. Op de uitzondering van beweegbare zonwering na, bevindt de gebouwschil zich echter in een impasse: het is een statisch element in een constant veranderende omgeving. Adaptieve gevels daarentegen hebben wel de mogelijkheid om de dynamiek in hun omgeving te benutten. Wanneer dit op slimme wijze gebeurt, door te anticiperen en te reageren op veranderende buitencondities en comfortwensen, bestaat de mogelijkheid om op actieve manier extra voordelen toe te voegen aan de passieve bouwwijze.

Ir. R.C.G.M. (Roel) Loonen, dr. M. (Marija) Trčka, prof.dr.ir. J.L.M. (Jan) Hensen;
Unit Building Physics and Services, Technische Universiteit Eindhoven

Vooruitgang op het gebied van adaptieve gevels is grillig en wordt gekenmerkt door gefragmenteerde ontwikkelingen; enerzijds gedreven door ontdekkingen op het gebied van materiaalkunde (e.g. schakelbaar glas [1,2], aanpasbare thermische opslagcapaciteit [3], en variabele isolatie [4]), anderzijds ontstaan op ad-hocbasis tijdens het ontwerpproces (figuur 1) [5]. Ondanks deze ontwikkelingen is er voornamelijk weinig gerapporteerd over de daadwerkelijke prestaties en mogelijke voordelen ten opzichte van de gangbare praktijk. Het gevolg is dat het nog onduidelijk is welk soort adaptief gedrag het meest wenselijk is. Hierdoor weten we ook niet wat het werkelijke potentieel van adaptieve gevels is, en welk deel daarvan met de huidige stand van de techniek al haalbaar is. Binnen de gebouwsimulatieliteratuur heeft de toepassing van wiskundige optimalisatietechnieken al vaak bewezen een krachtig hulpmiddel te zijn om verder te komen dan trial-and-error of standaardoplossingen. Met

de komst van steeds efficiëntere optimalisatie-algoritmes, betere interfaces en de aanhoudende toename in rekenkracht, komt de intrede van optimalisatie in de dagelijkse ontwerp-praktijk steeds dichterbij. De link tussen (i) adaptieve gevels, (ii) gebouwsimulatie, en (iii) optimalisatie is echter nog niet eerder tot stand gebracht. Dit artikel legt wel dit verband en heeft als doel om het inzicht in het latente potentieel van adaptieve gevels te vergroten. Allereerst wordt simulatie gecombineerd met optimalisatie voor het analyseren van een conventionele, 'statische' gevel. Vervolgens wordt gekeken in hoeverre een adaptieve gevel deze prestaties nog kan overtreffen.

■ DE OPTIMALE GEVEL

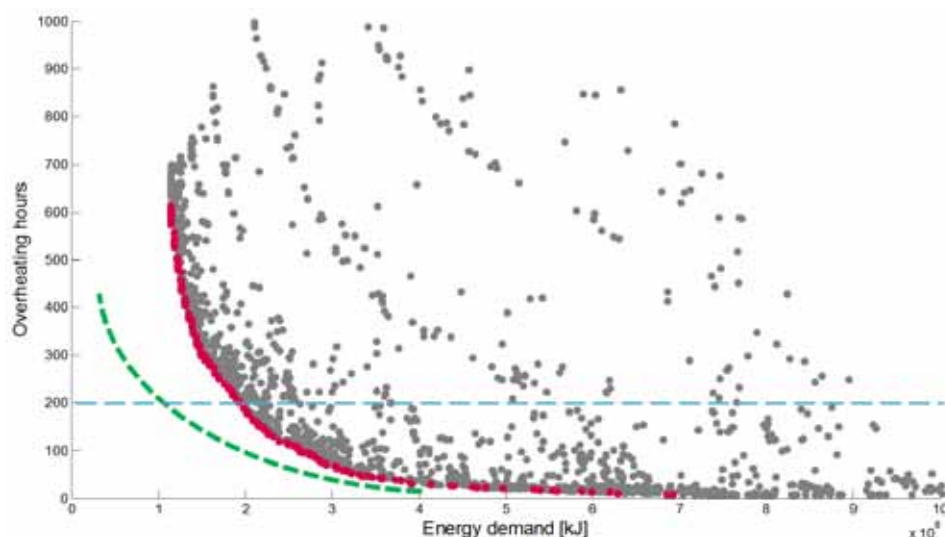
De verschillende functies die een gevel moet vervullen zijn per definitie divers en soms zelfs conflicterend van aard. De focus in dit artikel is gericht op de afweging tussen energiebesparing en thermisch comfort. Maximaliseren van één van beide aspecten gaat typisch

ten koste van het andere aspect. In zulke situaties biedt multi-objective optimalisatie uitkomst om toch weloverwogen beslissingen te kunnen maken. Als case-study is gekozen voor een tweepersoonsreferentiekantoorruimte (5,4x3,6x2,7 m) met oriëntatie op het zuiden. De thermofysische eigenschappen en de verhouding open/dicht van de façade zijn niet voorgescreven, maar worden bepaald door middel van optimalisatie. De prestatie-indicatoren en tevens de te minimaliseren doelfuncties zijn: (i) het energiegebruik voor verwarming, koeling en verlichting, en (ii) het aantal uren per jaar dat de binnentemperatuur hoger is dan 25°C. Simulaties zijn uitgevoerd in Trnsys v17. Als optimalisatie-algoritme is het genetisch algoritme NSGA-II gebruikt. Figuur 2 geeft de uitkomsten van de optimalisatiestudie. Ieder punt in deze afbeelding vertegenwoordigt de prestaties van één enkel gevelontwerp voor het hele jaar, met telkens iets verschillende eigenschappen. In totaal zijn 1.200 varianten geanalyseerd. De keuze

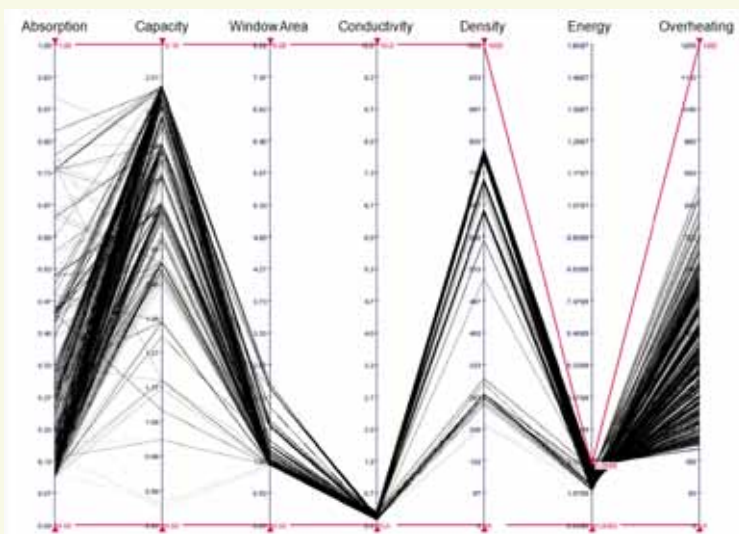
van varianten is niet willekeurig, maar bepaald door het genetisch algoritme. Een ontwerp is betiteld als 'Pareto optimaal', dan en slechts dan als het niet naar links en/of beneden gedomineerd wordt in de oplossingsruimte. Alle Pareto ontwerpen – in figuur 2 weergegeven in rood – zijn dus per definitie even goed. Afhankelijk van de prioriteiten in een ontwerp-team en mogelijke aanvullende overwegingen kan vervolgens gekozen worden voor de best gewaardeerde variant. In veel gevallen zal dit leiden tot een gebalanceerde trade-off die zich bevindt nabij de oorsprong van de grafiek. De figuren 3 en 4 laten de resultaten zien van dezelfde optimalisatiestudie, maar nu in een grafiek met parallele coördinaten. Iedere zwarte lijn van links naar rechts in de afbeelding stelt een gebouwontwerp voor. De eerste vijf assen vanaf links geven de ontwerpparameters; de overblijvende twee assen aan de rechterzijde de bijbehorende prestaties. Doordat gebruik is gemaakt van 'brushing' is slechts een subselectie van de multi-dimensionale ruimte gevisualiseerd [6]. De weergaven in figuur 3 en figuur 4 laten zien dat de gevelontwerpen die leiden tot een hoog comfortniveau niet samenvallen met de ontwerpen die leiden tot een lage energievraag, en omgekeerd. Dit resultaat duidt op het bestaan van tegenstrijdige belangen die veranderen met de tijd, en de afwezigheid van een set vaste eigenschappen die aan alle eisen kan voldoen. Een aanvullende analyse laat bovendien zien dat er strijdigheid bestaat tussen ontwerpen met ofwel lage koel- of verwarmingsbehoefte. Met het oog op energie en comfort is het ontwerpen van gevels dus een complexe opgave, die zelfs in het gunstigste geval leidt tot slechts een compromis. De hypothese luidt daarom dat zelfs de best pres-



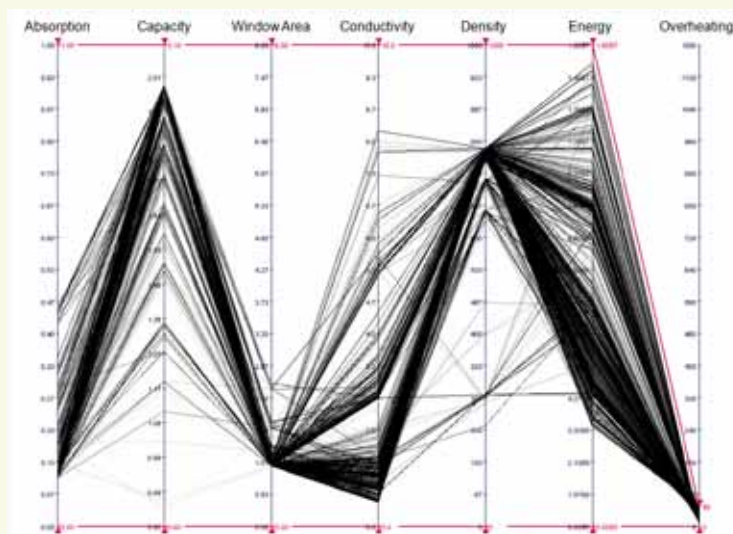
-Figuur 1- Kuggen, Göteborg: één van de gebouwen met adaptieve gevel



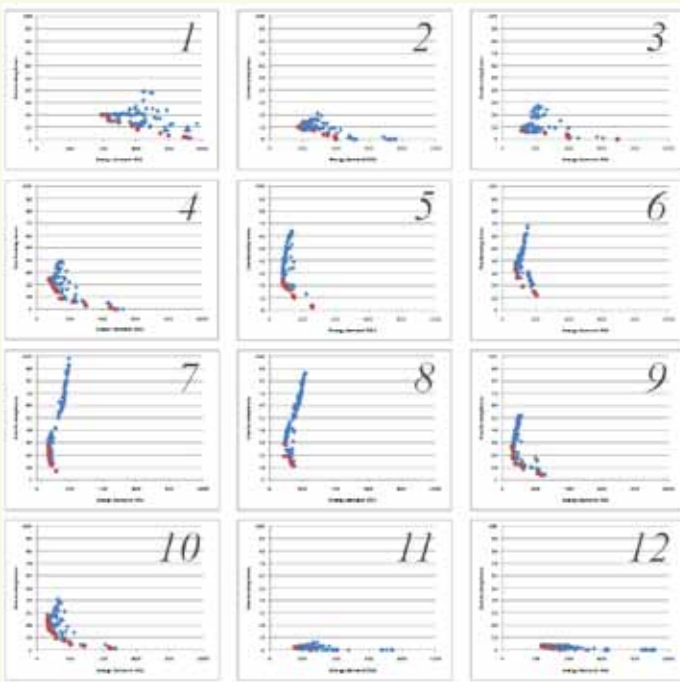
-Figuur 2- Scatterplot met resultaten van optimalisatie. Vergelijking Pareto-sets voor adaptieve gevel (groen) en conventionele gevel (rood)



-Figuur 3- Resultaten met de laagste energievraag



-Figuur 4- Resultaten met het hoogste comfortniveau



-Figuur 5- Overzicht van de twaalf optimalisaties, inclusief Pareto-front

terende conventionele gevel altijd overtroffen kan worden door een ontwerp met aanpasbare eigenschappen.

■ DE OPTIMALE ADAPTIEVE GEVEL

Om deze stelling te onderzoeken zijn de prestaties van adaptieve gevels geanalyseerd op verschillende detailniveaus [7]. Als voorbeeld presenteert dit artikel de resultaten van optimalisatie van adaptief gedrag met als tijdsbasis één maand. Opdeling van het jaar in twaalf optimalisatieperiodes betekent ook het genereren van twaalf Pareto-sets. De resultaten hiervan zijn weergegeven in figuur 5. Iedere grafiek in de figuur is afgebeeld op dezelfde schaal, met op de horizontale as: maandelijkse energievraag (0 - 1 GJ), en op de verticale as: maandelijkse temperatuurverschrijvingen (0 – 100 h). De figuur laat zien dat midden in de zomer- en winterperiodes een duidelijk verloop bestaat van slechte naar goed presterende oplossingen. Maanden in de tussenseizoenen daarentegen laten nog een duidelijke keuzevrijheid open tussen beide prestatie-indicatoren.

Door vervolgens alle mogelijke combinaties te maken van maandelijks optimale concepten kan het theoretische potentieel van adaptieve gevels op jaarbasis inzichtelijk worden gemaakt. Dit resulteert opnieuw in een wolk van oplossingen, en ook een nieuw Pareto-front (groene lijn in figuur 2). Wanneer als aanvullende voorwaarde gesteld wordt dat het aantal van 200 overschrijdingsuren toelaatbaar is, dan blijkt een energiebesparing van bijna 50% ten opzichte van de beste conventi-

onele gevel haalbaar. Hierbij wordt opgemerkt dat aanzienlijke extra verbeteringen mogelijk zijn in de stap van de ideale statische gevel naar de 'gemiddelde gevel'.

■ DISCUSSIE

De opdeling van het jaar in twaalf optimalisatieperiodes is deels arbitrair bepaald door de Gregoriaanse kalender. Het zou interessant zijn om te onderzoeken of de uitkomsten gevoelig zijn voor de keuze van het omschakelmoment. Ook is de keuze voor de frequentie van veranderbaarheid (per maand) een discussiepunt. Een gevel die verandert met de seizoenen in plaats van de maanden zou bijvoorbeeld niet alleen kunnen leiden tot elegantere oplossingen, maar biedt ook kansen voor het gebruik van materialen en technieken die met het oog op (financiële) haalbaarheid wellicht realistischer zijn. Het andere alternatief is adaptiviteit met een kortere tijdsconstante. De gebouwschil zoals bestudeerd in dit artikel heeft bijvoorbeeld geen mogelijkheid om in te spelen op uurlijkse veranderingen in zonninstraling en dag-en-nachtschommelingen in buitentemperatuur. De volledige versie van de paper, zoals gepresenteerd tijdens de BS2011-conferentie omvat een tweede toepassing van adaptieve gevels, waarin juist gekeken is naar de effecten van kortetermijnveranderingen [7]. In deze aanpak is gebruik gemaakt van een modelgebaseerde optimale regelstrategie, waarin Trnsys is gekoppeld aan Matlab. Uit die resultaten blijkt dat de voordelen van aanpasbaarheid op uurlijkse en maandelijkse basis in dezelfde orde van grootte zijn. Het gecombineerde effect is nog niet onderzocht.

■ TOEKOMSTPERSPECTIEF

Als zijnde onderdeel van een lopend onderzoeksproject doet dit artikel geen poging om definitieve uitspraken te geven over het haalbare potentieel van adaptieve gevels. Het onderzoek in deze fase is oriënterend en richt zich op toekomstige ontwikkelingen; directe praktische toepasbaarheid van de resultaten is daarom voorlopig van minder belang. Zo zijn veel materialen met de gewenste aanpasbare eigenschappen nu nog niet voorhanden. Resultaten van het onderzoek hopen juist een bijdrage te leveren bij het uitstippelen van nieuwe onderzoeks- en ontwikkelingstrajecten die hiertoe kunnen leiden. Ook helpt deze studie bij het bepalen van een theoretische bovengrens. Welk deel van dit veelbelovende perspectief ook daadwerkelijk behaald kan worden met adaptieve gevels; de toekomst zal het uitwijzen.

Dit onderzoek wordt gesubsidieerd door Agentschap NL, EOS-LT project Facet. Zie www.eosfacet.nl voor meer informatie.

■ REFERENTIES

1. Loonen, R.C.G.M., Trcka, M., Cóstola, D. & Hensen, J.L.M. (2011). Prestatiesimulatie van adaptieve gevels. *TVVL Magazine* 40(2):12-16.
2. Debije, M.G. (2010). Solar energy collectors with tunable transmission. *Advanced Functional Materials* 20(9):1498-1502.
3. Hoes, P., Trcka, M., Hensen, J.L.M. & Hoekstra Bonnema, B. (2011). Investigating the potential of a novel low-energy house concept with hybrid adaptable thermal storage. *Energy Conversion and Management* 52(6):2442-2447.
4. Burdajewicz, F., Korjenic, A. & Bednar, T. (2011) Bewertung und Optimierung von dynamischen Dämmsystemen unter Berücksichtigung des Wiener Klimas. *Bauphysik* 33:49-58
5. Loonen, R.C.G.M. (2010) Overview of 100 Climate Adaptive Building Shells, onderdeel van afstudeerrapport: 'Climate Adaptive Building Shells – What can we simulate?', Technische Universiteit Eindhoven.
6. Martin, A.R. & Ward, M.O. (1995) High dimensional brushing for interactive exploration of multivariate data. In *Proceedings of the 6th Conference on Visualization'95*, IEEE Computer Society, p. 271.
7. Loonen, R.C.G.M., Trcka, M. & Hensen, J.L.M. (2011). Exploring the potential of climate adaptive building shells. In *Proceedings of Building Simulation 2011: 12th Conference of International Building Performance Simulation Association*, pp. 2148-2155