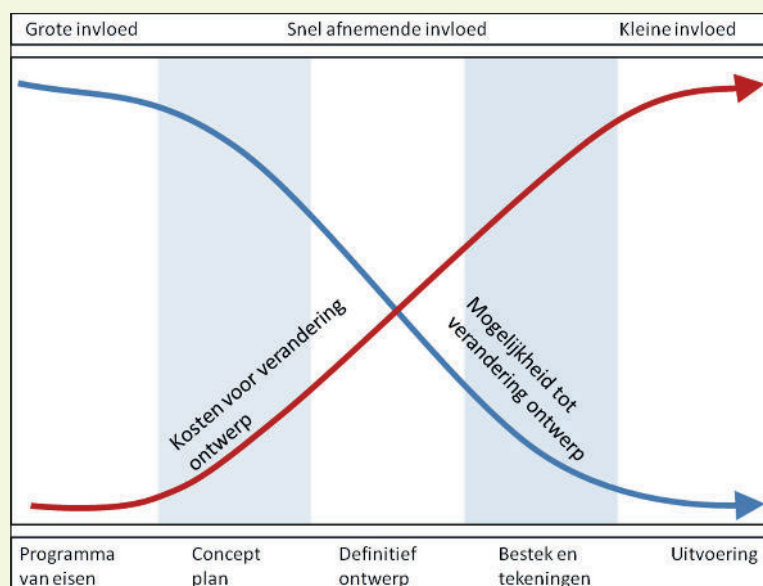


# Gelijktijdig berekenen en beoordelen van gevelprestaties

Wat is de meerwaarde van het 'gelijktijdig' in één model berekenen van prestatie-indicatoren in termen van visueel comfort, thermisch comfort en bijbehorend energiegebruik in relatie tot het gevelontwerp? Levert deze beoordelingsmethode uiteindelijk een nauwkeurigere, betrouwbaardere, eenvoudigere en snellere gevelprestatiebeoordeling op ten opzichte van de 'huidige methode', waarbij de gevelprestaties vaak afzonderlijk van elkaar worden berekend? Kunnen ontwerpers uiteindelijk een meer overwogen ontwerpbeslissing nemen en levert het een meerwaarde op in termen van laag energiegebruik en hoog comfort? Dit artikel beantwoordt deze vragen op basis van onderzoek dat gericht is op een ruimte met kantoorfunctie.

Ir. A.B.M. (Alexander) Berk, prof.ir. P.G.S. (Paul) Rutten, dr.ir. M.G. L.C. (Marcel) Loomans, ir. M.P.J. (Mariëlle) Aarts en ir. R.C.G.M. (Roel) Loonen, Technische Universiteit Eindhoven



-Figuur 1- Ontwerp- en besluitvormingsproces met bijbehorende kosten voor verandering en mogelijkheden voor ontwerp-aanpassingen (Cherry and Petronis, 2009).

Door de snel groeiende vraag naar beter presterende gevels hebben ontwerpers behoefte aan bouwprestatie-analysmethoden, die een reële voorspelling kunnen geven van de bouwprestaties, om weloverwogen ontwerpbeslissingen mogelijk te maken. Vooral in de beginfase van het ontwerpproces moeten veel belangrijke ontwerpbeslissingen worden genomen [1]. Die beslissingen zijn later moeilijk meer aan te passen of brengen een hoop kosten met zich mee, zie figuur 1. Het is daarom van belang om meteen in het beginproces over zoveel mogelijk gedetailleerde informatie te beschikken. Dit vereist een integrale aanpak en een betrouwbare, nauwkeurige ontwerpmethode. Daglichtopeningen zijn de componenten van de gevel die direct invloed hebben op zowel comfortbeleving als het energiegebruik [2]. Juist de aanwezigheid van deze daglichtopeningen verhoogt de complexiteit van het com-

Prestatie-indicator	A Beste klasse	B Goede klasse	C Redelijke klasse
Aanbevolen verlichtingssterkte (lx)	$500 \leq E_{hor} \leq 2000$	$500 \leq E_{hor} \leq 2000$	$500 \leq E_{hor} \leq 2000$
DGP limiet 95% van de tijd (%)	$\leq 0.35$	$\leq 0.40$	$\leq 0.45$
Gemiddelde DGP limiet in 5% interval (%)	0.38	0.42	0.53
PPD (%) en PMV (-)	10 en +/-0.5	20 en +/-0.85	35 en +/-1.76
EPC (-) en energiegebruik (kWh/m <sup>2</sup> )	1,1 en 150	1,1 en 150	1,1 en 150

-Tabel 1-  
Kwaliteitsklassen  
voor de beoordeling  
van visueel comfort,  
thermisch comfort en  
energie

fort-energieprobleem, omdat er een directe interactie is tussen het binnen- en buitenklimaat. Een belangrijk fysisch conflict dat hierbij ontstaat, is de wisselwerking tussen het visueel comfort, thermisch comfort en energiegebruik. De beoordeling van de fysieke aspecten, die van belang zijn voor het gevelontwerp, gebeurt vrijwel altijd afzonderlijk van elkaar. De toepassing van grote ramen op een zuidgevel wekt het gevoel dat de daglichtbenutting en beschikbaarheid van uitzicht groot is, maar daarnaast leidt het ook tot een verhoogd risico op verblinding en thermische problemen ten gevolge van direct zonlicht. Om deze problemen op te lossen, kan gebruik worden gemaakt van zonwering. Aan de ene kant wordt zo het energiegebruik voor koeling gereduceerd, maar aan de andere kant neemt het visueel comfort juist af door belemmering van het uitzicht en afname van de daglichtbijdrage. Daardoor neemt het energiegebruik voor kunstverlichting juist weer toe. Het is de vraag of het gebruik van intuïtie en eenvoudig ontwerpregels blijft volstaan om de transitie naar beter presterende gevels mogelijk te maken. Om de consequenties van deze conflicterende belangen direct inzichtelijk te maken zou het beter zijn om de bouwfysische aspecten gelijktijdig in één model te beoordelen. Gelijktijdig betekent hier dat alle prestatie-indicatoren op integrale wijze worden beoordeeld en dat de dynamische koppeling tussen de fysieke domeinen behouden blijft. Het doel van dit onderzoek is om na te gaan wat de meerwaarde is van het gelijktijdig berekenen en beoordelen van de fysieke domeinen (visueel, thermisch en energie) in relatie tot het gevelontwerp ten opzichte van de individuele beoordeling van de fysieke domeinen. De meerwaarde kan worden uitgedrukt in meer gedetailleerde informatie over de gevelprestaties, waardoor de ontwerper een meer overwogen ontwerpbeslissing kan nemen in termen van laag energiegebruik en hoog comfort. Dit onderzoek is niet bedoeld om zoek te gaan naar de best presterende gevel, maar juist om inzicht te geven in de mogelijkheden van het gelijktijdig beoordelen van de

fysieke aspecten.

## METHODE

Het onderzoek is opgedeeld in drie delen:

- vaststellen van kwantificeerbare prestatie-indicatoren voor visueel comfort, thermisch comfort en energie;
- ontwikkeling van een simulatiestrategie;
- case studie.

Om de prestaties voor visueel comfort, thermisch comfort en bijbehorend energiegebruik nauwkeurig te kunnen beoordelen, is de inzet van kwantitatieve prestatie-indicatoren essentieel. Daarnaast is het van belang om te kijken hoe de prestatie-indicatoren het beste kunnen worden uitgedrukt om ze meetbaar en vergelijkbaar te maken. Met behulp van een literatuuronderzoek zijn op basis van normen, richtlijnen en onderzoeksgegevens relevante prestatie-indicatoren geselecteerd.

Voor de gelijktijdige beoordeling van de gevelprestaties is gebruik gemaakt van gebouwsimulatie. Op basis van softwareanalyse, de mogelijkheden en tekortkomingen van gebouwsimulatie in relatie tot de vastgestelde prestatie-indicatoren is bekeken hoe gebouwsimulatie kan worden ingezet ter beoordeling van de gevelprestaties.

Als derde stap volgde een case studie om te bepalen wat de potentiële meerwaarde is van het gelijktijdig simuleren van de drie prestatie-indicatoren in één model. De onderzochte case is gericht op een volledig geklimatiseerde kantoorruimte (5,4 m x 3,6 m x 2,7 m), oriëntatie op het zuiden en een glaspercentage van 90%. De ruimte is voorzien van een mechanisch ventilatiesysteem. Verder wordt de ruimte begrensd door soortgelijke kantoorruimten. In deze case wordt de gevelvariabele *binnenzonwering* met een regeling op stralingsintensiteit ( $W/m^2$ ) onderzocht.

## GEKWANTIFICEERDE PRESTATIE-INDICATOREN

In tabel 1 zijn de prestatie-indicatoren weergegeven, die gebruikt zijn ter beoordeling van het visueel comfort, thermisch comfort en energie.

Aangezien het niet altijd mogelijk/wenselijk is om aan de hoogste eisen ten aanzien van comfort te kunnen voldoen en om de ontwerper keuzevrijheid te geven, is er een onderscheid gemaakt in drie comfortklassen: A beste klasse, B goede klasse en C redelijke klasse. Het thermisch en visueel comfort zijn meetbaar en vergelijkbaar gemaakt door de prestaties te beoordelen op basis van overschrijdingsuren. Echter, de energieprestatie is niet uit te drukken in een aantal overschrijdingsuren en zal daarom gekwantificeerd worden in een jaarlijks energiegebruik ( $kWh/m^2$ ). Het visueel comfort wordt beoordeeld aan de hand van de horizontale verlichtingssterkte (lx) en verblinding met behulp van de verblindingsindex DGP (Daylight Glare Probability). Voor een goede visuele prestatie van de taak in het horizontale vlak is een minimale verlichtingssterkte van 500 lx vereist vanuit de algemene Europese norm NEN-EN 12464:2009 [3]. Daarnaast wordt er een bovengrens voor verlichtingssterkte van 2.000 lx gehanteerd, aangezien de waardering voor de horizontale verlichtingssterkte na 2.000 lx daalt [4] en de kans op visueel discomfort stijgt. DGP duidt de kans op verblinding aan, waarbij DGP een functie is van de verticale verlichtingssterkte op het oog als ook de luminantie van de verlichtingsbron met zijn vaste hoek en positie-index [5]. Gebaseerd op gebruikers-evaluaties van verblinding door daglicht zijn drie comfortklassen voorgesteld [6]. Andere prestatie-indicatoren als luminantieverhoudingen, uniformiteit en uitzicht zijn meegenomen als randvoorwaarden in dit onderzoek maar zullen niet worden meegewogen in de visuele prestaties, omdat er geen harde eisen aan kunnen worden gesteld [7]. De beoordeling van het thermisch comfort gebeurt op basis van de operationele temperatuurgrenzen volgens de ATC-methode (Adaptief Thermisch Comfortmodel), met een glijdend toenemende comfortluchttemperatuur, als functie van de RMOT (Running Mean Outdoor Temperature) gedefinieerd volgens ISO 74 [8]. Ten opzichte van het 'statische' PMV-model van Fanger is het ATC-model in

staat om het thermisch comfort in volledig geklimatiseerde gebouwen net iets beter te voorspellen [9]. RMOT is het gemiddelde van de maximale en minimale buitentemperatuur van de beschouwde dag en de drie dagen daaraan voorafgaand. Aangezien in de ATC-methode geen rekening wordt gehouden met het effect van diffuse en directe straling afkomstig van een daglichtopening, volgt er een naberekening met behulp van de methode van La Gennusa et al. [10], waarin dit wel mogelijk is.

De beoordeling van de energieprestatie gebeurt aan de hand het jaarlijkse primaire energiegebruik (kWh/m<sup>2</sup>) voor koeling, verwarming en verlichting.

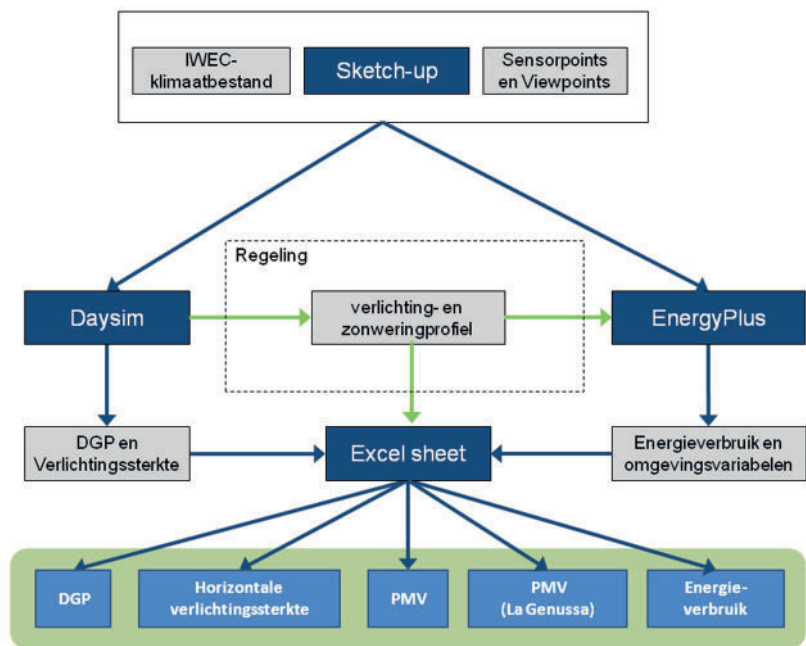
### SIMULATIESTRATEGIE

Gebouwsimulatie heeft de potentie om een waardevol hulpmiddel te zijn voor de voorspelling van bouwprestaties in de ontwerpfase, mits het op de juiste manier wordt ingezet. Omdat het niet mogelijk is om met één simulatieprogramma alle vastgestelde prestatie-indicatoren te kunnen beoordelen, is een gekoppelde simulatiestrategie ontwikkeld. Op basis van de geselecteerde prestatie-indicatoren, beschrijving van een conceptmodel en mogelijkheden van simulatieprogramma's, is een simulatiemodel ontwikkeld waarin Daysim 3.1 is gebruikt voor de beoordeling van het visuele domein, wat gekoppeld is aan EnergyPlus 7.0 voor het thermische en energetische domein, zie figuur 2. Om ervoor te zorgen dat bij de beoordeling van de prestaties de integrale koppeling tussen de fysieke domeinen behouden blijft, wordt gebruik gemaakt van co-simulatie.

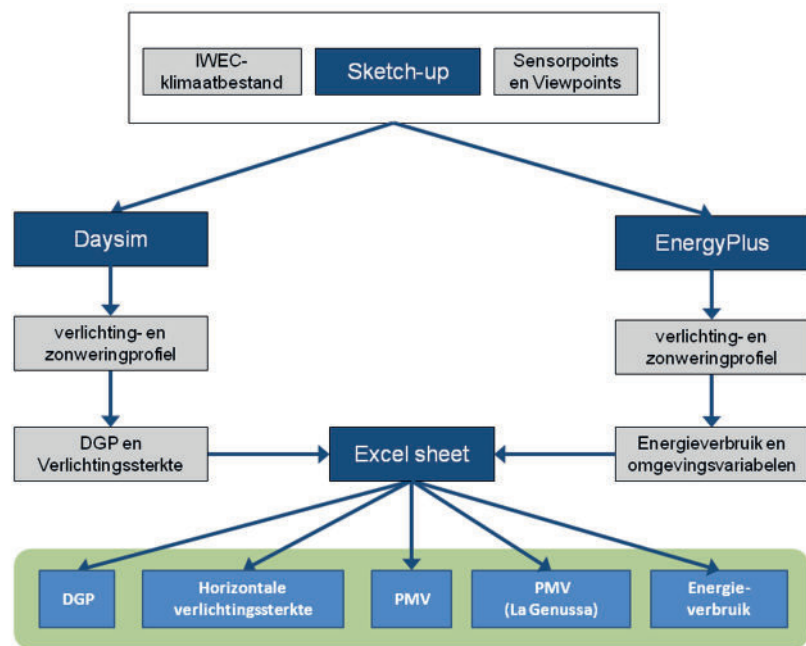
Co-simulatie maakt het mogelijk om verschillende programma's complementair aan elkaar te koppelen, waardoor de fysieke domeinen gelijktijdig kunnen worden beoordeeld [11]. De verlichting- en zonweringprofielen die gegenereerd zijn met Daysim, zullen daarom als input worden gebruikt in EnergyPlus. Bij de individuele beoordeling van de fysieke domeinen ontbreekt de koppeling tussen Daysim en EnergyPlus, wat resulteert in twee zonwering- en verlichtingsprofielen, zie hiervoor de simulatiestrategie figuur 3. Deze twee ontwikkelde simulatiestrategieën zullen gebruikt worden voor de case studie.

### CASE STUDIE

Figuur 4 geeft de prestaties weer voor visueel en thermisch comfort, klasse B, uitgedrukt in het aantal overschrijdingsuren en energie, uitgedrukt in kWh/m<sup>2</sup> per gevelvariant met behulp van co-simulatie. Een heel jaar is gesimuleerd en het aantal overschrijdingsuren is afgeleid voor de gebruikersperiode (maandag



-Figuur 2- Simulatiestrategie co-simulatie



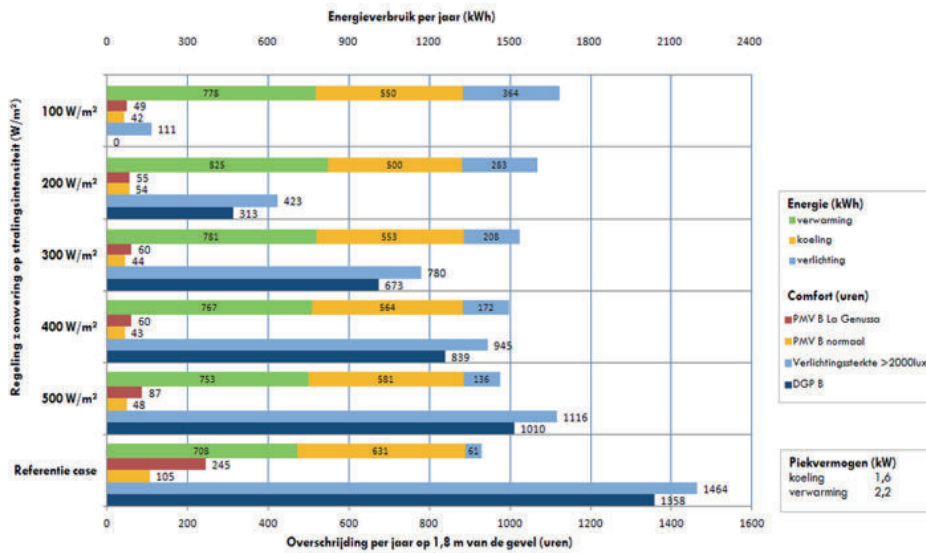
-Figuur 3- Simulatiestrategie individuele beoordeling

t/m vrijdag van 8.00 tot 17.00 uur). De prestaties zijn bepaald op een afstand van 1,8 meter van de daglichtopening, op een hoogte van 1,2 meter voor de DGP en 0,75 meter voor de verlichtingssterkte en PMV. Het piekvermogen voor koeling (1,6 kW) en verwarming (2,2 kW) is voor alle varianten gelijk. In de referentiecasse is geen zonwering toegepast. De zonwering wordt ingeschakeld zodra het schakelcriterium (bijvoorbeeld 200 W/m<sup>2</sup>) wordt bereikt, dus als de gemeten zonintensiteit op het verticale vlak parallel aan de betreffende gevel wordt overschreden. De zonwering wordt geregeld op 100, 200, 300, 400 en 500 W/m<sup>2</sup>. De verlichting wordt ingeschakeld zodra de ver-

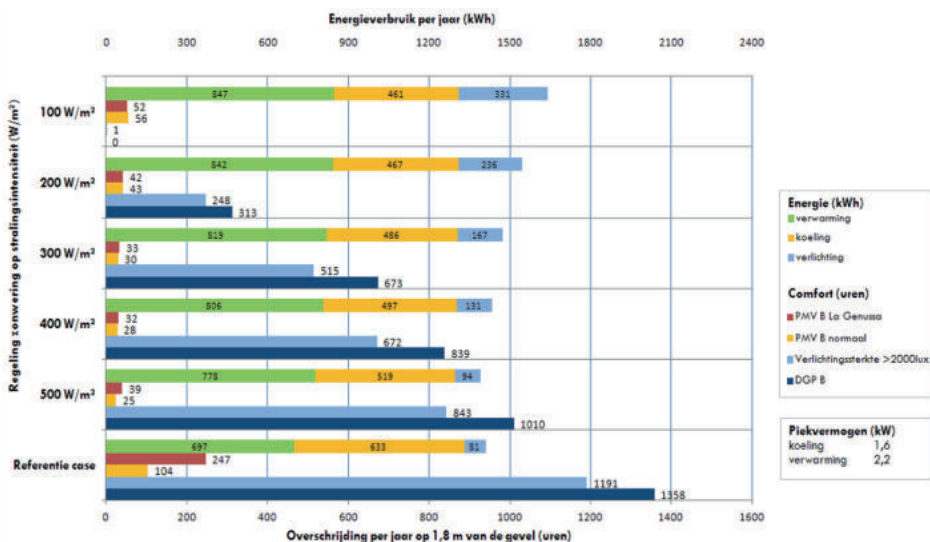
lichtingssterkte onder de 500 lx komt en weer uitgeschakeld als de verlichtingssterkte boven de 500 lx komt.

Te zien is dat het totale energiegebruik toeneemt naarmate de zonwering meer is ingeschakeld. Wat opvalt is dat het energiegebruik voor verwarming en koeling vrij constant blijft en het energiegebruik voor verlichting juist toeneemt naarmate de zonwering meer is ingeschakeld. Aangezien zonwering de daglichttoetreding belemmert, is dit een verwacht resultaat. In alle gevallen blijft het energiegebruik wel ruim binnen de gestelde criteria-eis van 150 kWh/m<sup>2</sup>.

Ook valt te zien dat de toepassing van bin-



-Figuur 4- Energie- en comfortprestaties voor Referentiecasi en regeling zonwering op stralingsintensiteit met behulp van co-simulatie. Op de bovenste x-as het energiegebruik (kWh) voor: verwarming, koeling en verlichting. Op de onderste x-as het aantal overschrijdingsuren (uren) voor comfortklasse B: kans op verblinding (DGP), verlichtingssterkte > 2.000 (lx) en temperatuuroverschrijding volgens de ATC-methode en de methode van La Gennusa (PMV).



-Figuur 5- Energie- en comfortprestaties voor Referentiecasi en regeling zonwering op stralingsintensiteit, waarbij de fysische domeinen individueel zijn beoordeeld. Op de bovenste x-as het energiegebruik (kWh) voor: verwarming, koeling en verlichting. Op de onderste x-as het aantal overschrijdingsuren (uren) voor comfortklasse B: kans op verblinding (DGP), verlichtingssterkte > 2000 (lx) en temperatuuroverschrijding volgens de ATC-methode en de methode van La Gennusa (PMV).

nenzonwering in dit geval weinig effect heeft op het thermisch comfort, variërend van 48 overschrijdingsuren (500 W/m²) tot 42 overschrijdingsuren (100 W/m²). Dit heeft er mede mee te maken dat de criteriagrens van PMV = -0,5 meer wordt overschreden, doordat de zonwering ook op koude dagen bij het bereiken van het schakelcriterium wordt ingeschakeld. Het effect van de directe en diffuse straling afkomstig van een daglichtopening op het thermisch comfort lijkt volgens de methode van La Gennusa mee te vallen, zeker wanneer de zonwering meer is ingeschakeld. Naarmate de zonwering minder is ingeschakeld worden de verschillen tussen de PMV volgens ISSO 74

en de methode van La Gennusa groter. De zonwering blijkt het grootste effect te hebben op het visueel comfort. Het aantal overschrijdingsuren voor zowel DGP als de verlichtingssterkte > 2.000 lx wordt sterk gereduceerd. Zo telt de referentiecasi nog ruim 1.558 overschrijdingsuren, terwijl de case voor de regeling zonwering 100 W/m² geen overschrijdingsuren meer telt. Figuur 5 geeft de prestaties weer voor dezelfde gevelvarianten, alleen dit keer zijn de fysische domeinen individueel beoordeeld. Dus de verlichting- en zonweringprofielen die nodig zijn om het energiegebruik en thermische prestaties te kunnen berekenen, gebeurt met

behelp van EnergyPlus. De vergelijking tussen de co-simulatie en individuele beoordeling laat meteen een aantal verschillen zien. Uit de individuele beoordeling met EnergyPlus blijkt dat de verlichting minder hoeft te worden ingeschakeld voor de gevelvarianten met zonwering. Als gevolg daarvan neemt het energiegebruik voor verlichting en koeling af en neemt het energiegebruik voor verwarming toe, aangezien de interne warmtelast wordt verkleind doordat de verlichting minder is ingeschakeld. Tevens laat het thermisch comfort ook iets minder overschrijdingsuren zien voor alle gevallen met zonwering. Dit lijkt een logisch gevolg te zijn van de verlaging van de interne warmtelast op een aantal tijdstippen.

Het aantal overschrijdingsuren voor DGP is gelijk gebleven, omdat deze net als bij de co-simulatie met Daysim zijn berekend. De verlichtingssterkte is dit keer beoordeeld met behulp van EnergyPlus. Hieruit blijkt dat voor de referentiecasi de criteriagrens van > 2.000 lx met behulp van Daysim 1464 uur wordt overschreden en in EnergyPlus 1191 uur wordt overschreden. Verder blijkt de criteriagrens van < 500 lx met behulp van Daysim 283 uur wordt overschreden en in EnergyPlus 373 uur wordt overschreden. Wat er dus op duidt dat de beoordeling van de lichtomgeving sterk verschilt tussen Daysim en EnergyPlus en tevens leidt tot andere prestaties.

## DISCUSSIE

Uit de resultaten van de case studie kan geconcludeerd worden dat voor de onderzochte case de gelijktijdige beoordeling van het visueel comfort, thermisch comfort en bijbehorend energiegebruik weinig tot geen meerwaarde laat zien. Toch zijn er wel degelijk verschillen waarneembaar, waardoor er sprake is van een potentiële meerwaarde. De integrale aanpak is een afspiegeling van de realiteit, omdat de dynamische interactie van de fysische aspecten als geheel worden beoordeeld. Daarmee wordt een iteratief optimalisatieproces voorkomen, wat een mogelijke tijdswinst oplevert. Daarentegen is de individuele beoordeling een (sterke) simplificatie van de werkelijkheid, waardoor mogelijk de gesimuleerde prestaties (sterk) afwijken van de werkelijke prestaties. Tevens kan dit in het laatste geval resulteren in twee of meer verlichting- en zonweringprofielen, die onderling (sterk) verschillen. Dit leidt dus niet tot een eenduidig resultaat, waardoor het voor de ontwerper lastig wordt om een weloverwogen ontwerpbeslissing te nemen. Aangezien de prestatieverschillen tussen beide methoden voor de case studie minimaal zijn, is simplificatie in dit geval aanvaardbaar. Alleen als de ontwerper behoefte heeft aan een hoge mate van betrouwbaarheid en nauwkeurig-



heid, gaat de voorkeur uit naar een integrale aanpak. Echter, dit onderzoek is gericht op een specifieke ruimte, gebruikersgedrag, klimaatinstallatie en gevelvariabel. Indien een of meer van deze parameters verandert, zou de potentiële meerwaarde beter zichtbaar kunnen worden.

De ontwikkeling van de simulatiestrategie heeft er toe bijgedragen, dat alle vastgestelde gekwantificeerde prestatie-indicatoren nauwkeurig en betrouwbaar konden worden beoordeeld. Dit is niet mogelijk geweest door te volstaan met één simulatieprogramma. Wel is het zo dat er enige expertise van de beoordeelaar wordt vereist om een betrouwbare simulatiestrategie te ontwikkelen en te gebruiken. Aangezien de expertise bij ontwerpers vaak ontbreekt is het wenselijk dat de toekomstige software ook voor hen beter toegankelijk wordt gemaakt. Juist zij zijn degenen die geïnteresseerd zijn in gedetailleerde informatie en gevelvarianten met elkaar willen vergelijken. Uit de resultaten van de case studie blijkt dat geen enkele variant binnen comfortklasse B valt, aangezien de prestatie-indicator DGP, verlichtingssterkte of PMV met één of meer uren wordt overschreden. De vraag is of de comfortgrenzen niet te streng zijn en wel representatief zijn aan de reële waardering van de gebruikers? Zo blijkt uit een onderzoek van Arens et al. [12] bijvoorbeeld dat voor een grote populatie de thermische acceptatiegrens voor strenge temperatuurgrenzen (klasse A) niet veel hoger is dan voor minder strenge temperatuurgrenzen (klasse B en C). Dit kan verklaard worden door het feit dat op een grote populatie de kledingweerstand en metabolisme varieëren, waardoor de variatie van de acceptabele temperatuurgrens breder blijkt te zijn dan de vastgestelde temperatuurgrens. Voor het visueel comfort geldt dat de benodigde hoeveelheid verlichtingssterkte op het werkblad en de kans op verblinding, sterk afhankelijk is van de gevoeligheid van het oog [3]. Naarmate mensen ouder worden, neemt de gevoeligheid van het oog af waardoor een hogere verlichtingssterkte op het werkblad is vereist om goed te kunnen blijven presteren. Ten aanzien van de resultaten voor het thermisch comfort kan geconcludeerd worden dat het effect van de methode van La Gennusa op de thermische sensatie minimaal is in vergelijking met de ATC-methode, alleen voor de referentiecasi is er een significant verschil in overschrijdingsuren (150 overschrijdingsuren). Echter, er zijn ook geen gegevens bekend waaruit blijkt dat de methode is gevalideerd met de werkelijk gemeten thermische sensatie. Op basis hiervan wordt op dit moment geconcludeerd dat de methode van La Gennusa op dit moment onvoldoende betrouwbaar wordt

geacht om een reële voorspelling te doen van het thermische effect van directe en diffuse straling afkomstig van een daglichtopening.

## CONCLUSIE

Uit de case blijkt dat de verschillen onderling te klein zijn om te kunnen spreken over een potentiële meerwaarde. Daarom is er meer onderzoek nodig naar het gelijktijdig beoordelen van visueel comfort, thermisch comfort en bijbehorende energiegebruik om aan te kunnen tonen dat de integrale aanpak potentie biedt ten opzichte van de individuele beoordeling. Om deze potentiële meerwaarde aan te kunnen tonen, zou bijvoorbeeld de gevelvariabele buitenzonwering onderzocht kunnen worden. Deze heeft namelijk meer effect op het thermisch comfort dan de binnenzonwering. Hoe groot de meerwaarde is, zal dan moeten blijken. Het onderzoek heeft wel aangetoond dat de integrale aanpak de dynamische conflicten tussen de fysieke domeinen direct oplost en als gevolg daarvan een iteratief optimalisatieproces wordt voorkomen, wat tijd en kosten bespaart. Daarnaast heeft het onderzoek ertoe bijgedragen dat de prestaties voor comfort meetbaar en vergelijkbaar zijn gemaakt door te beoordelen op basis van overschrijdingsuren. Een vervolgonderzoek moet uitwijzen of de ontwerper nu daadwerkelijk een meer overwogen ontwerpbeslissing kan nemen. Verder dient bekeken te worden of de vastgestelde prestatie-eisen niet te streng zijn, aangezien het aantal overschrijdingsuren aan de hoge kant is. Een ander aandachtspunt is de complexiteit en ontwikkeling van een simulatiestrategie. Uit dit onderzoek is gebleken dat de ontwikkeling van de juiste simulatiestrategie een tijdrovend proces is en tevens enige expertise van de onderzoeker vereist. Om deze beoordelingsmethode toegankelijk te maken voor ontwerpers en mogelijk andere partijen, dient de simulatiestrategie te worden gesimplificeerd.

## REFERENTIES

1. Cherry, E. and Petronis, J. Architectural Programming. Whole Building Design Guide (WBDG). [http://www.wbdg.org/design/dd\\_archprogramming.php](http://www.wbdg.org/design/dd_archprogramming.php). National Institute of Building Sciences, 2009
2. Bessoude, M., Tzempelikos, A., Athienitis, A.K. and Zmeureanu, R. Indoor thermal environmental conditions near glazed facade with shading devices – Part 1: Experiments and building thermal model. Building and Environment, Vol 45, pp 2506-2516, 2010
3. NEN. NEN-EN 12464-1. Light and lighting – Lighting of workplaces – Part 1: Indoor

workplaces. Delft, Nederlands Normalisatie Instituut (NEN), 2009

4. Boyce, P.R. Human factors in lighting. Lighting Research Center, 2003
5. Wienold, J. and Christoffersen, J. Evaluation methods and development of a new glare prediction method for daylight environments with the use of CCD cameras. Energy and Building. Vol 38, pp.743-757, 2005
6. Wienold, J. Dynamic Daylight Glare Evaluation. In Proceedings of Building Simulation, the Eleventh International IBPSA Conference, Glasgow Scotland, pp 944-951, 2009
7. Berk, A.B.M. Relatie tussen visueel comfort, thermisch comfort en energie in relatie tot het gevelontwerp. Master of Science Thesis, Technische Universiteit Eindhoven, 2012
8. ISSO. ISSO Publicatie 74. Thermische behaaglijkheid-eisen voor de binnentemperatuur in gebouwen. Rotterdam, Stichting ISSO, 2004.
9. De Dear, R., Brager, G. and Cooper, D. Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference. Final report ASHRAE RP-884, 1997
10. La Gennusa, M., Nucara, A., Rizzo, G. and Scaccianocce, G. The calculation of the mean radiant temperature of a subject exposed to the solar radiation – a generalized algorithm. Building and Environment, Vol 40, pp. 367-375, 2005
11. Trčka, M. and Hensen, J. Overview of HVAC system simulation. Automation in construction, Vol 19, pp 93-99, 2008
12. Arens, E., Humphreys, M.A., De Dear, R. and Zhang, H. Are 'class A' temperature requirements realistic or desirable? Building and Environment, Vol 45, pp. 4-10, 2010