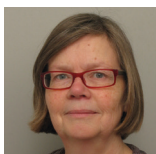


# PARAMETRISCH-GEOMETRISCHE MODELLEN VOOR BEOORDELING VAN ZONREFLECTIES EN ANDERE BOUWFYSICA-VRAAGSTUKKEN



Dr. ir. H.R. (Roel) Schipper, TU Delft, Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen



Dr. G.J. (Truus) Hordijk, TU Delft, Faculteit Bouwkunde



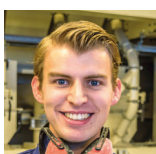
Dr. M. (Michela) Turrin, TU Delft, Faculteit Bouwkunde



M.D.A. (Michou) Mureau MSc, TU Delft, Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen



E.J.H. (Edward) Franssen MSc, TU Delft, Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen



A. (Arthur) van Rhijn BSc, TU Delft, Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen

**Innovatieve software komt regelmatig op de markt, maar Rhinoceros-Grasshopper heeft een compleet nieuwe wereld aan mogelijkheden ontsloten. Ook voor de bouwfysicus is dit zeer relevant. Doordat gebruik wordt gemaakt van een intuïtieve, parametrische en grafische programmeertaal, kunnen complexe geometrische problemen zeer snel worden gemodelleerd en opgelost. Dit artikel beschrijft een bouwfysisch probleem dat in de ontwerpfase al voorkomen had kunnen worden door het snel en effectief door te rekenen met deze tool.**

## INLEIDING

In 2013 verschenen er in de kranten berichten over een nieuw gebouw in Londen, dat door zijn dubbelgekromde glasgevel zonnestrallen als een soort lens richting de straten voor het gebouw focuste. Hierdoor liep op een bepaald moment van de dag de temperatuur in het brandpunt zo hoog op, dat zelfs het kunststof van auto's plaatselijk smolt [1]. Architect Rafael Viñoly voerde als excuus aan dat er geen geschikte rekentool voorhanden was geweest om deze situatie door te rekenen [2].

Geprikkeld door deze uitspraak hebben studenten van de Technische Universiteit Delft op verschillende manieren in hun bachelor-eindprojecten deze situatie onderzocht. Literatuurstudie liet al snel zien dat dit niet het enige gekromde gebouw was met problemen door zonreflecties. In 2003 werden bijvoorbeeld klachten gemeld over opwarming van appartementen rondom de bekende Walt Disney Concert Hall in Los Angeles [3] als gevolg van zonreflecties. Het iconische gebouw van Frank O'Gehry heeft inderdaad gekromde en spiegelende gevels. In 2010 werden zonnebrandplekken bij personen geconstateerd als gevolg van een 'death ray', een stralingsbundel die gevormd werd door de weerspiegeling van een gekromde hotelgevel in Dallas [4]. Dit gebouw bleek opmerkelijk genoeg ontworpen door dezelfde architect Viñoly als het gebouw in Londen. Op basis van de literatuurstudie werd daarom geconcludeerd dat verdere verdieping in deze interessante verschijnselen gerechtvaardigd was. Dit artikel laat de diverse modelleringsstappen zien voor dubbelgekromde spiegelende gevels zoals uitgevoerd door de studenten en zet het in een wijder perspectief.

## GEOMETRIE EN BOUWFYSICA

Veel bouwfysische problemen hebben een sterk geometrisch karakter. Denk bijvoorbeeld aan zonreflecties en slagschaduw bij gebouwen, geluidreflecties en weggeometrie in de ruimte- en verkeersakoestiek, invloed van raamafmetingen op energiegebruik en daglichttoetreding, enzovoort. Veel bouwfysische evaluatietools hebben daarom gereedschap voor geometrisch modelleren ingebouwd, of hebben importmogelijkheden voor bekende CAD-uit-

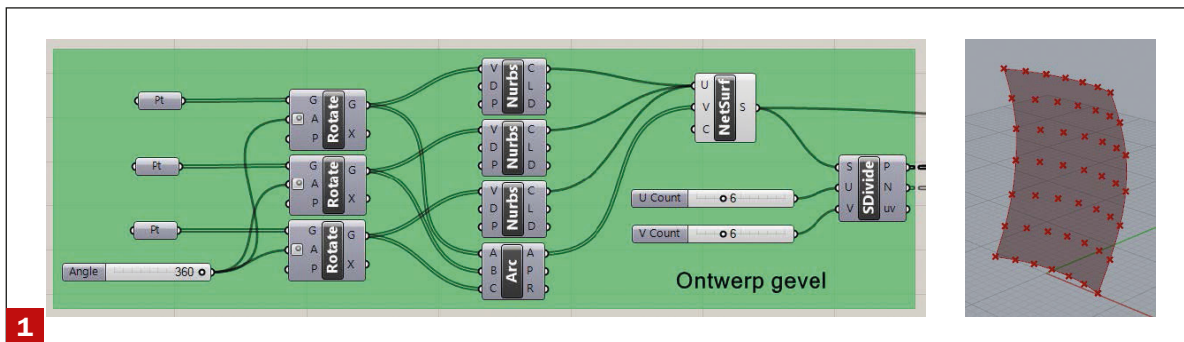
wisselingsformaten. De meeste bouwfysici besteden desondanks nog steeds aardig wat tijd aan het correct invoeren van gebouwgeometrie voor hun advisering. Door de opkomst van BIM wordt deze koppeling gelukkig steeds eenvoudiger.

Er is echter een andere ontwikkeling, die wat losstaat van BIM, maar de afgelopen vijf jaar explosief opkomt, eerst vooral in de academische wereld, maar nu ook steeds vaker in de bouwfysica- en constructieve advisering. Dit is het gebruik van evaluatietools die aan parametrische 3D-modellen gekoppeld worden, waarbij al in een zeer vroeg ontwerpstadium bouwfysische kengetallen worden geproduceerd.

Het meest populaire programma onder de nu in opleiding zijnde architecten is zonder twijfel *Rhinoceros-3D*, dat via intuïtieve stroomschema's in de 'plug-in' *Grasshopper* geometrische objecten real-time kan bewerken en evalueren. Ook andere CAD-leveranciers leveren vergelijkbare software, die onder architecten steeds vaker een plek vindt naast de meer traditionele tekenpakketten. Hoe werkt dit?

Objecten in de CAD omgeving zijn in principe geometrieën zoals punten, lijnen, curves, oppervlakken en volumes. Bewerkingen in *Grasshopper* kunnen bestaan uit het simpelweg toekennen van waarden aan variabelen (bijvoorbeeld afmetingen of coördinaten) maar ook bewerkingen van geometrieën (bijvoorbeeld translatie, rotatie, verscalen, zoeken naar snijpunten, opdelen in kleinere vlakken), rekenkundige bewerkingen (bijvoorbeeld berekenen van coördinaten, lengtes, of oppervlakten, goniometrische functies), evaluatie van functies, bewerken van lijsten met objecten.

In figuur 1 is bijvoorbeeld zichtbaar hoe van links naar rechts een drietal gekromde lijnen wordt geroteerd (bewerking *Rotate*) om een punt (objecten *Pt*) met een door de gebruiker in te voeren hoek (schuifknop *Angle*). Vervolgens worden deze gekromde lijnen verbonden tot een gevelvlak (objecten *Nurbs* en *NetSurf*) en verdeeld



Voorbeeld associatief-geometrisch model in Grasshopper (links) met als resultaat dubbelgekromd geveloppervlak met verdeling in meetpunten (rechts) [6]

[bewerking *S Divide*] in een patroon van 6 x 6 meetvlakken [U count] en [V count]. De verschillende bewerkingen worden dus achter elkaar geschakeld als een keten, waardoor een parametrische ketting van bewerkingen real-time wordt uitgevoerd op het beeldscherm. Het resultaat van dit associatieve programmeerwerk is telkens real-time grafisch zichtbaar. Op internet zijn talloze voorbeelden te zien van wat mogelijk is [5].

### ASSOCIATIEF-GEOMETRISCH MODELLEREN EN PROGRAMMEREN

De ontwikkeling van de combinatie Rhinoceros 3D en Grasshopper (verder in dit artikel aangeduid als Rhino-GH) heeft de laatste jaren een hoge vlucht genomen, omdat een krachtige geometrische parametrische engine voor het eerst werd gekoppeld aan een toegankelijke, sterk visueel georiënteerde programmeertaal, die zeer krachtige bewerkingsmogelijkheden biedt van die geometrieën. Bovendien was dit voor het eerst een taal die ook associatief en intuïtief te gebruiken was door ontwerpers die van huis uit niet gewend zijn aan de starre en abstracte syntax van 'echte' programmeertalen. Het is echter zeker geen 'programmeren voor dummies': ook voor echte programmeurs biedt Rhino-GH veel herkenbare lijstbewerkingen en zeer krachtige, wiskundig onderbouwde en robuuste algoritmes. Bij alle grote architectenbureaus zitten inmiddels specialisten die kunnen lezen en schrijven met Rhino-GH of met vergelijkbare tools van andere leveranciers. De tools worden bovendien ook in andere industrieën gebruikt (onder andere scheepvaart, industrieel ontwerpen, constructeurs), wat de gebruikersgroep alleen maar groter maakt.

De grafische programmeertaal is relatief simpel aan te leren en door geleidelijk de mogelijkheden te verkennen kunnen enorm krachtige modellen worden opgesteld. Ook koppeling met externe software via scripts in Python, Visual Basic of C# is mogelijk, denk bijvoorbeeld aan Excel of gespecialiseerde rekensoftware.

### EVALUATIE EN OPTIMALISATIE MET PLUG-INS

Voor de architectonische en bouwfysische wereld zijn in de afgelopen jaren diverse plug-ins ontwikkeld, die het opstellen van de modellen voor veel voorkomende taken vereenvoudigen. Enkele voorbeelden in de sfeer van de later in dit artikel te bespreken zonreflecties zijn Heliotrope (met zonnebaan-model afhankelijk van datum, tijd en locatie op aarde), DIVA (met onder andere illuminantie-

berekeningen, daglichtdiagrammen) en Ladybug (met onder andere windrozen, zonnebaan, beschaduwing). Ook andere takken van de bouwfysica kunnen baat hebben bij Rhino-GH: er zijn inmiddels ook mensen die bijvoorbeeld CATT-Acoustic of EnergyPlus hebben gekoppeld aan deze software.

Sommige ontwerpproblemen met een sterk geometrisch karakter zijn terug te voeren tot het zoeken naar een doel of het uitvoeren van een optimalisatie. Dit maakt Rhino-GH tot een ideale verkenningstool in een vroeg ontwerp stadium, wanneer de bouwgeometrie nog betrekkelijk makkelijk is aan te passen. Bijvoorbeeld: 'vind die oriëntatie van de zonnepanelen in een gevel waarbij de jaarlijkse opbrengst maximaal is', of 'pas de vorm van de luifel zo aan dat directe zoninstraling wordt voorkomen'. Grasshopper heeft genetische algoritmes beschikbaar (onder andere Galapagos en Octopus) waarmee systematisch ontwerpvariabelen kunnen worden afgetast op hun effect op een bepaalde doelparameter. De gebruiker hoeft hierbij alleen maar de zoekruimte te begrenzen, waarna het krachtige algoritme snel een enorm groot aantal combinaties van parameters globaal verkent, en bij een gevonden optimum inzoomt op de beste oplossing.

### VOORBEELD: ZONREFLECTIES IN DE BEBOUWDE OMGEVING

Om een en ander meer concreet te maken bespreken we een case-study rond het gebouw 20 Fenchurch Street in Londen van Rafael Viñoly, dat door zijn vorm al snel de bijnaam *Walkie Talkie* kreeg. Het gebouw staat aan de rand van de *City* in Londen, en heeft een dubbelgekromde glasgevel gericht op de Theems, die pal ten zuiden van het gebouw loopt (zie figuur 2).

Nog voor de oplevering kwamen er in 2013 klachten uit de wijk ten zuiden van het gebouw dat de zonreflecties van de zuidgevel niet alleen storend waren, maar door de concave vorm van het gebouw ook sterk werden gebundeld. De energie werd op sommige momenten van de dag zodanig gebundeld dat de zonnewarmte tot smeltende auto's en schade aan panden leidde [1].

The pers meldde dat de architect het volgende zou hebben gezegd: *"I knew this was going to happen. But there was a lack of tools or software that could be used to analyse the problem accurately"* [2]. Iedereen die enig zicht heeft op bouwfysica en bezonningsstudies fronste waar-



2 Het organisch gevormde gebouw in het midden van de foto heeft een glasgevel op het zuiden, uitkijkend over de rivier de Theems. Op de foto is inmiddels de (na voltooiing aangebrachte) externe zonwering zichtbaar, waarop we later terugkomen (foto: Roel Schipper, juni 2017)

schijnlijk de wenkbrauwen bij deze opmerking. Een ideale uitdaging dus voor studenten aan de opleiding Civiele Techniek in Delft. Voor hun bachelor-eindproject in de richting Building Engineering kregen ze de stelling voorgelegd dat een bachelor-student in staat moet zijn om in een paar weken tijd dit fenomeen inzichtelijk te maken. Rhino-GH bleek hiervoor een prima bruikbare tool. Achtereenvolgens paktten Michou Mureau, Edward Fransen en Arthur van Rhijn in hun eindproject een stukje van het probleem op en kwamen tot een oplossing waarbij eerst

het algemene fenomeen van brandpuntvorming door zonreflecties werd gemodelleerd door Mureau [7]. Vervolgens werd door Fransen [6] een model toegevoegd voor concave gevels en een koppeling aan een statisch rekenmodel om de warmteconcentratie te bepalen. Door Van Rhijn [8] werd dit model vervolgens dynamisch gemaakt en werd een optimalisatie-routine toegevoegd om in een stedenbouwkundige context met echte gebouwgeometrie naar probleemlocaties te zoeken. Het bachelor-eindproject van Michou Mureau en Edward Fransen werd begeleid door Truus Hordijk en Roel Schipper, het eindproject van Arthur van Rhijn door Michela Turrin en Roel Schipper. Hieronder wordt kort ingegaan op de resultaten per bachelor-eindproject.

### MUREAU

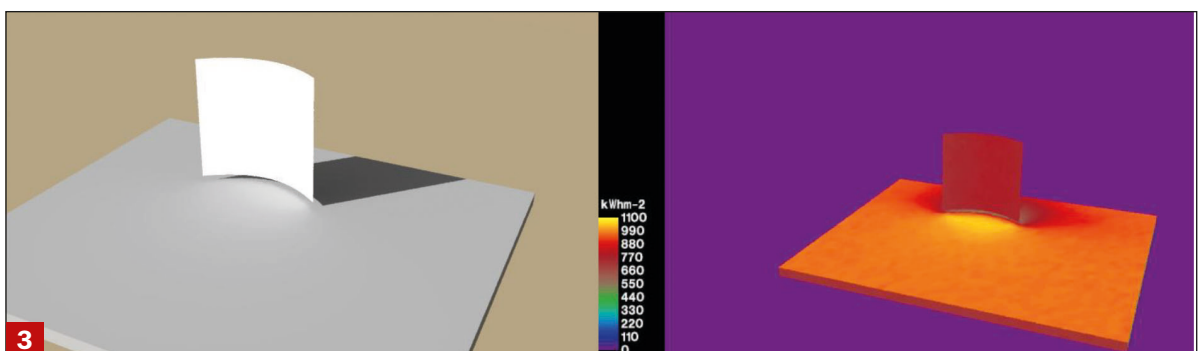
In het eerste bachelor-eindproject is gestart met een literatuurstudie naar vergelijkbare probleemgevallen met zonreflecties. Opmerkelijk genoeg werden diverse cases gevonden, zelfs van dezelfde architect als die van de Walkie Talkie. Hiermee werd in elk geval aangetoond dat het probleem niet uniek was en dat het blijkbaar ook niet tijdig voorzien was door de adviseurs van de betreffende gebouwen.

Vervolgens werd een parametrisch gevelontwerp gemaakt met een enkel-gekromde gevel op een platte stedenbouwkundige omgeving (dus zonder omringende gebouwen). Hierna werd de zonnebaan berekend met Rhino-GH plug-in Heliotrope. Voor diverse tijdstippen konden hierna - via goniometrische bewerkingen - de reflecterende stralen in het gekromde gevelvlak worden bepaald en kon grafisch worden onderzocht of dit tot brandpuntvorming leidde. Toen dit inderdaad het geval bleek, werd met een andere plug-in, DIVA, een berekening uitgevoerd naar de stralingsintensiteit in de gevonden brandpunten.

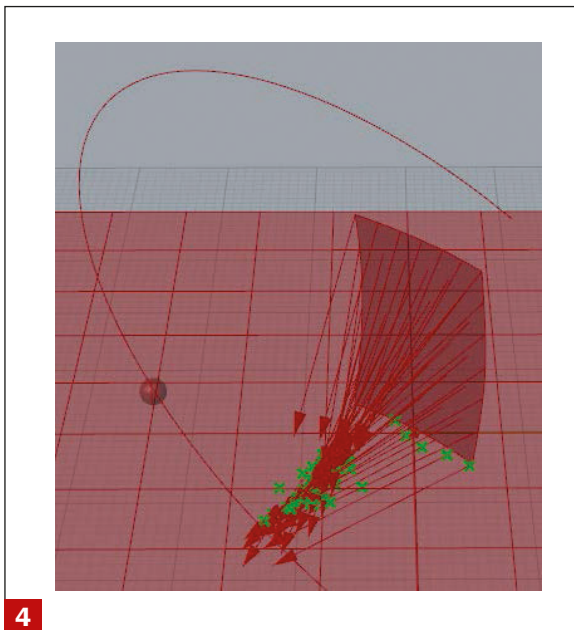
### FRANSEN

Door Fransen [6] werd vervolgens de stap gemaakt van enkel- naar dubbelgekromde, concave gevelvlakken, vergelijkbaar met de kromming die ook bij de Walkie Talkie was uitgevoerd.

Door het variëren van de invoerparameters, zoals kromming en oriëntatie ten opzichte van het zuiden, kon grafisch onderzocht worden of inderdaad sprake was van brandpuntvorming. Door het aantal inkomende reflecties te koppelen aan de zonintensiteit op een bepaalde datum en tijdstip kon vervolgens, onder aanname van een reflec-

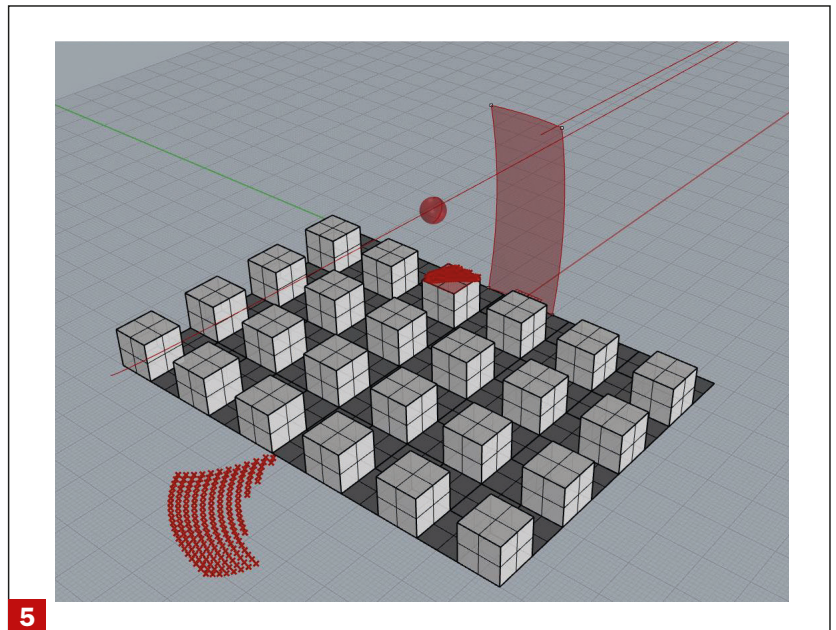


3 Slagschaduw en brandpuntintensiteit bepaald met DIVA [7]



4

Van enkel- naar dubbelgekromd vlak, met reflecties en brandpunt [6]



5

Brandpunt dat ontstaat op een dakvlak op 29 juli [8]

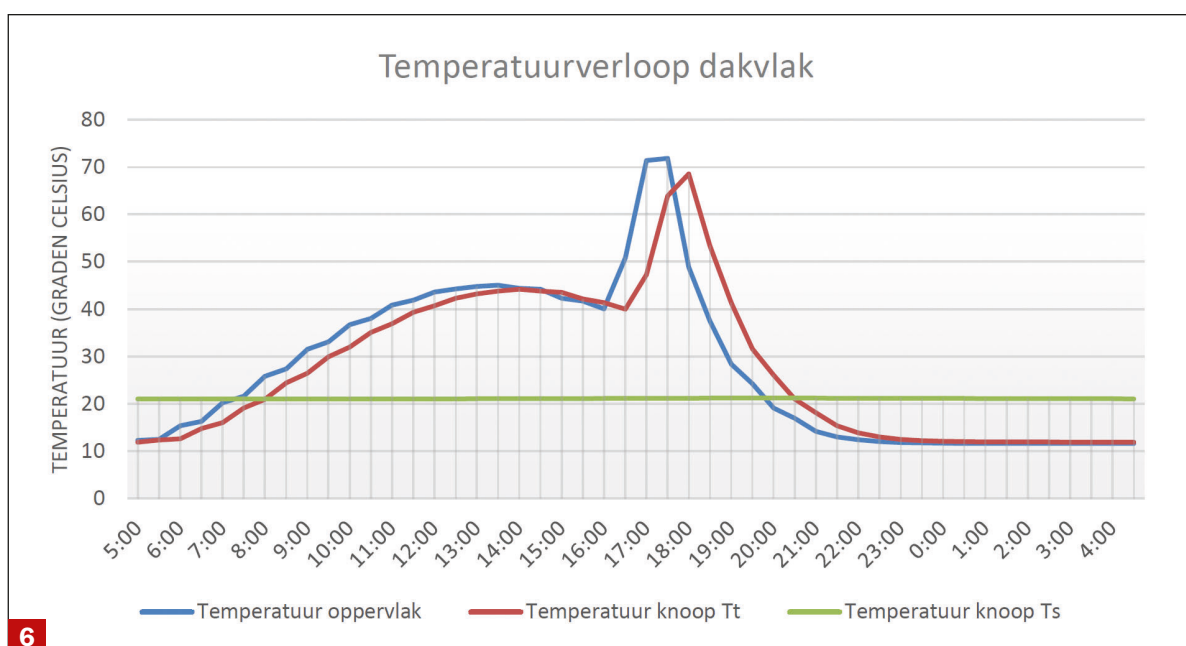
tiefactor van de reflecterende gevel voor het getroffen ‘ontvangende’ oppervlak (gekozen werd voor straatstenen), de oppervlaktetemperatuur worden berekend. Als vereenvoudiging werd hierbij van een constante inkomende warmtestraling uitgegaan. In Excel werd bij een gegeven opbouw van de straat (met zo realistisch mogelijk materiaaldiktes, lambda-waarden, warmtecapaciteit, massa en stralingsabsorptie-coëfficiënt) dynamisch het temperatuurverloop bepaald. Vastgesteld werd dat in enkele uren de oppervlaktetemperatuur in het model kon oplopen tot boven de 70°C. Deze temperatuur stemt overeen met de waarden die in de pers gemeld werden voor het gebouw in Londen.

**VAN RHIJN**

Bij de eerdere twee bachelor-projecten was nog niet duidelijk geworden wat de gevonden brandpunten voor

gevolgen hebben in een stedelijk gebied met echte gebouwen, en hoe de beweging van de zon invloed had op de verplaatsing van het brandpunt. Om dit te onderzoeken werd opnieuw een model [8] gemaakt in Rhino-GH, waarin een gevelvorm kon worden ingesteld door middel van het instellen van verschillende sliders in Grasshopper. Een slider is een schuifje op het beeldscherm, analoog aan de volumeknop, waarmee aan een parameter direct een waarde kan worden toegekend, zie bijvoorbeeld de sliders *Angle*, *U count* en *V count* in figuur 1. De reflecties van de zon door verschillende punten in deze gevel werden hierna berekend.

Rondom het gebouw werd vervolgens een stedelijk gebied ontworpen in de vorm van eenvoudige kubusvormen, waarna werd berekend wat de intensiteit van de gereflecteerde zonnestralen is op elk vlak van het stedelijk



6

Zichtbare sprong in oppervlaktetemperatuur van een dak bij het optreden van een brandpunt op dat dakvlak [8]



Het inmiddels van een brise-soleil voorziene gebouw in Londen (foto Roel Schipper, juni 2017)

gebied. Met de functie Galapagos werd een simulatie uitgevoerd, waarmee systematisch voor een aantal maatgevende dagen werd onderzocht wat de maximale intensiteit van de optredende brandpunten is, en hoe de intensiteit verloopt over de dag. De resultaten van deze simulatie werden vervolgens gebruikt om een aantal dagen te selecteren waarop een brandpunt werd gevormd. Voor deze dagen werd vervolgens via een Python-script berekend wat de intensiteit van de gereflecteerde zonnestrallen is op het vlak waar het brandpunt op gevormd wordt voor elk moment van de dag.

Deze berekende waarden van de intensiteit van de gereflecteerde zonnestrallen zijn in Excel gezet. Voor deze en alle andere inkomende en uitgaande energiestromen is een warmtebalans opgesteld. Via deze warmtebalans was het tenslotte mogelijk om het temperatuurverloop te berekenen voor deze dagen.

Opnieuw werd bevestigd dat de temperatuur tot boven 70°C kan oplopen, maar dat de periode gedurende welke deze piek optrad korter was dan bij de door Fransen gemaakte berekening met een constante stralingsbelasting. Dit lag in de lijn van de verwachting.

## CONCLUSIE

De hier beschreven bachelor-eindprojecten laten zien dat Rhino-GH een krachtig instrument is, dat bovendien in relatief korte tijd kan worden aangeleerd. Er zijn online veel tutorials beschikbaar, en er is inmiddels een steeds groter wordende groep gebruikers. Studenten die nu hun studie afronden zullen veelal kennis hebben gemaakt met de mogelijkheden. Er zijn krachtige rekentools beschikbaar voor tal van bouwfysische thema's, waarvan in dit artikel Heliotrope, DIVA, Galapagos en de koppeling met Excel zijn geïllustreerd.

Voordat een adviseur in de praktijk aan de slag gaat met Rhino-GH is validatie belangrijk. Vaak kan met gezond verstand gelukkig al worden gezien of de resultaten betrouwbaar zijn, door bijvoorbeeld voor een standaardgeval te checken of de orde-groottes kloppen.

De besproken gereedschappen zijn uitermate goed bruikbaar in een vroeg ontwerpstadium; hierdoor kan snel inzicht worden verkregen in het effect van belangrijke keuzes, zoals bijvoorbeeld de vorm van het gebouw, op bouwfysische aspecten. Maatregelen zijn over het algemeen in een vroeg stadium veel makkelijker inpasbaar en effectiever dan in de besteks- of uitvoeringsfase. Het dure fiasco met de Walkie Talkie spreekt voor zich, als men zich probeert voor te stellen wat het achteraf aanbrengen van een buitenzonwering moet hebben gekost.

Het is zaak dat bouwfysica-adviseurs op de hoogte zijn van dit soort innovatieve tools en dat ze hun diensten daarop afstemmen. Architecten kunnen dit soort modellen namelijk steeds vaker ook zelf bouwen, en zouden daarmee ook minder behoefte kunnen hebben aan externe advisering. De combinatie van bouwfysische expertise en modelleervaardigheden met de hier besproken tools zullen ook weer nieuwe mogelijkheden bieden voor de adviespraktijk. Voor meer informatie over de besproken programma's kunt u altijd contact opnemen met één van de auteurs. ■

## BRONNEN

- ▶ [1] BBC, *Who, what, why: How does a skyscraper melt a car?* <https://tinyurl.com/y7wbc6fs>, 2013
- ▶ [2] L. Garfield, *The 'death ray hotel' burning Las Vegas visitors came up with a simple fix*, geciteerd op 31 oktober 2017, te vinden op <https://tinyurl.com/yavhmtt5>
- ▶ [3] J-R. Chong, *Whose Bright Idea Was This? Disney Hall glare gets to neighbors*, L.A. Times, 2004, geciteerd op 31 oktober 2017, te vinden op <https://tinyurl.com/ycah2xf>
- ▶ [4] DailyMailReporter, *Las Vegas hotel guests left with severe burns from 'death ray' caused by building's design*, 2010, geciteerd op 31 oktober 2017, te vinden op <https://tinyurl.com/247jtv5>
- ▶ [5] David Rutten, *Grasshopper Getting Started*, <https://tinyurl.com/yc23lxpg>
- ▶ [6] Edward Fransen, *Temperatuurstijging door zonlichtreflectie van gekromde gebouwen*, 2015
- ▶ [7] Michou Mureau, *Brandpunt-detectie voor zonlicht op gekromde gebouwen*, 2014
- ▶ [8] Arthur van Rhijn, *Zonreflectie van gekromde gevel in stedelijk gebied*, 2015