

# Praktijkervaring dynamische 3D TO/CFD-berekeningen

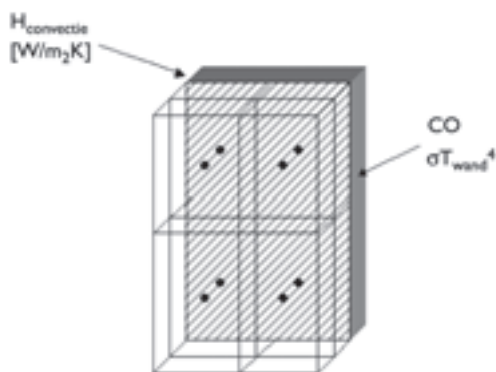
Marcel van Uffelen

Tegenwoordig hebben gebouwen steeds vaker glasoverkapte serres en atria; grote ruimten met een ingewikkelde vorm, bedoeld voor veel verschillende toepassingen. Dit stelt hoge eisen aan het binnenklimaat. Door de grote glasoppervlakken wordt het niet alleen een groot deel van het jaar snel warm, in de winter kan koudeval tochtproblemen veroorzaken. Voor receptionistes of wachtende klanten kan dit vervelend zijn.

Op basis van Phoenics 2009 heeft adviesbureau Peutz een programma ontwikkeld om dynamische temperatuurverschrijdingsberekeningen (TO-berekeningen) te verrichten, in combinatie met een geïntegreerde computational fluid dynamics (CFD) luchtstromingsberekening. Met het programma kunnen de driedimensionale temperatuurverdelingen en luchtbewegingen in kantoren, atria, serres – en combinaties daarvan – worden bestudeerd gedurende een warme, zonnige voorjaars- of zomerperiode. Hierbij wordt gebruikgemaakt van een klimaatbestand van een bepaald meteostation, bijvoorbeeld De Bilt, van een bepaald referentieklimaatjaar, bijvoorbeeld 1964, of een nieuwer en warmer jaar, zoals 2006. Als het model is opgezet kunnen ook op eenvoudige wijze de eventuele koudeval en temperatuurgradiënt in de winter worden onderzocht. Daarnaast is het met het rekenmodel mogelijk eventueel benodigde maatregelen te dimensioneren. De achterliggende techniek wordt verderop kort beschreven.

## TECHNIEK

Met Phoenics 2009 zijn zowel de warmtestromen en temperaturen in vaste materialen, zoals beton, als in de lucht te berekenen. Dit heet conjugate heat transfer (afbeelding 1). Voor een goede berekening van de warmteoverdracht tussen de wanden en de lucht zijn empirische formules voor de



1. Principe van conjugate heat transfer op grensvlak lucht en wand door convectie en straling.

warmteoverdrachtscoëfficiënt de aangewezen weg, bij voorkeur geen standard wall functions [1,2,3].

Daarnaast speelt warmteoverdracht door straling een belangrijke rol bij bouwfysische toepassingen als TO-berekeningen. Daartoe detecteert het programma alle materiaaloppervlakken die aan de lucht in het rekendomein grenzen en voegt deze aan de stralingsmatrix toe. De zichtfactoren tussen alle vlakken worden, net als bij Vabi 114 [4], met een Ray-tracing-methode berekend. Daarna wordt de stralingsmatrix voor elke tijdstap opgelost met het s2SR 'surface to surface radiation'-model uit Phoenics.

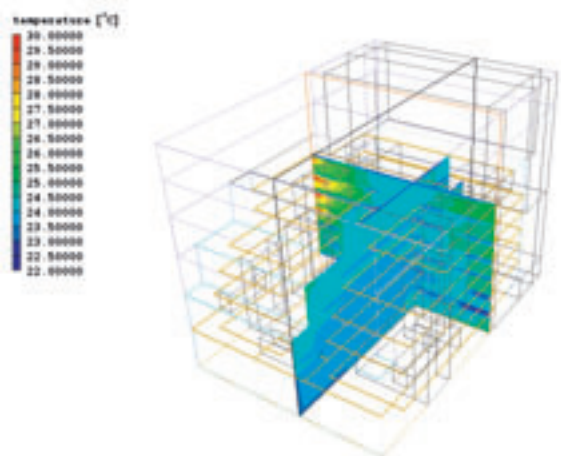
Voor de berekening van de zonnestraling, zonshoogte en -azimuth is gebruikgemaakt van het zogeheten Perez-model [5] uit BFEF [6]. Andere routines uit BFEF zijn gebruikt om bij elke tijdstap voor elk materiaaloppervlak te berekenen of er zonnestraling op valt of dat het in de schaduw van andere vlakken ligt. Hierbij kan ook beschaduwing door externe vlakken en gebouwen worden meegemodelleerd en berekend.

## 1. NIEUWBOUW SABIC-HOOFDKANTOOR TE SITTARD

In opdracht van Arcadis te Maastricht zijn in 2005 enkele CFD-berekeningen uitgevoerd voor het thermisch binnenklimaat in de zomer van het nieuwe Sabic-hoofdkantoor te Sittard. Het gebouw bestaat uit een grote ruimte met zes open kantoorverdiepingen die aan een centraal gelegen atrium grenzen en wordt aan de buitenzijde gekenmerkt door een vliesgevel van zonwerende beglazing en een glazen atriumdak. In de gevel zijn geen te openen delen opgenomen en aan de binnenzijde is de gevel van lichtwering voorzien.

In de grote open ruimte mogen geen grootschalige luchtbewegingen optreden. Ook is het van groot belang – met het oog op het thermisch comfort in de zomersituatie op de bovenste verdiepingen – een verticale temperatuurgradiënt in het gebouw te voorkomen.

In afbeelding 2 is de berekende temperatuurverdeling in het atrium weergegeven. Bij de modellering is vooral aandacht besteed aan het exact programmeren in de broncode van Phoenics van de proportionele regeling van de koelplafonds.



2. Berekende temperatuurverdeling in het atrium van het Sabic-hoofdkantoor.

Bij de proportionele regeling worden de waterdebieten door de koelplafonds gestuurd aan de hand van de afwijkingen tussen de momentane temperatuur in elke zone van het gebouw en de ingestelde streefwaarde.

De temperatuur blijkt tamelijk constant te zijn over de hele hoogte van de ruimte. Dit is gerealiseerd door de verdeling van de capaciteit van de koelplafonds te optimaliseren; aan de Zuidwestzijde en op de bovenste verdieping is de capaciteit verhoogd. De berekende temperatuur bedraagt daardoor op alle zes de kantoorverdiepingen ongeveer 25 °C.

In de praktijk blijkt het atrium goed te functioneren, gedurende twee zomers vertonen de binnentemperaturen al een goede overeenkomst met de vooraf, tijdens de ontwerpfase, berekende waarden. Tijdens de zomer van 2011 worden nog gedetailleerde metingen uitgevoerd.

## 2. NIEUWBOUW DE TUINEN TE BLEISWIJK

In opdracht van ZorgCompas te Bleiswijk en in samenwerking met installatieadviseur IOC te Ridderkerk zijn berekeningen uitgevoerd van het thermisch binnenklimaat gedurende de zomer in het nieuw gebouwde zorgcentrum De Tuinen te Bleiswijk. Dit gebouw is in het voorjaar van 2009 opgeleverd en is voorzien van een groot atrium waar zorgappartementen omheen zijn gebouwd. In het atrium zijn een apotheek en gezondheidscentrum gevestigd. In het dak van het atrium zijn grote regelbare openingen gemaakt voor de afvoer van rook en warmte (RWA), in geval van brand.

Vooral op de galerijen op de tweede verdieping, en bij de terrassen op het atriumdek (eerste verdieping), mag het op een zonnige zomerdag niet te warm worden. Op basis van

de resultaten van de CFD-studie is, om de zontoetreding en daarmee de temperaturen in het atrium te beperken, gekozen voor toepassing van een kleiner glasoppervlak in combinatie met zonwerende beglazing. Daarnaast is op basis van de berekeningen voor mechanische toevoer van gekoelde lucht gekozen. Op warme, zonnige dagen kunnen een of meer RWA-openingen in het dak samen met de deuren van de hoofdentree worden opengezet. Zo worden de temperaturen op de bovenste verdieping niet te hoog. Deze maatregelen hebben in de praktijk voor een goede temperatuurbeheersing in het atrium gezorgd.

## 3. MUSEUM DE BEYERD TE BREDA

In opdracht van de Gemeente Breda zijn tijdens de winter van 2007/2008 diverse metingen en berekeningen verricht om te bepalen hoe bij de opening van Museum de Beyerd in 2008 voldoende bouwvocht uit de betonnen bouwconstructies van de tentoonstellingszalen zou zijn verdwenen. Dit om beschadiging van de op te hangen kunstwerken door een te hoge luchtvochtigheid te voorkomen. Voor deze studie is een CFD-rekenmodel opgezet voor een van de zes tentoonstellingszalen, waarmee de luchtstromingen, -temperaturen en vochtconcentraties gedurende een jaar zijn berekend. Op basis van hierover beschikbare literatuur [7,8] is een extra module voor de berekening van het vochttransport in de betonnen gebouwconstructies aan het CFD-rekenmodel toegevoegd.

Het rekenmodel is gebaseerd op het feit dat na het uitharden van het beton het watergehalte in de poriën gelijk is aan het maximale vochtgehalte  $\Psi_m$  van circa 13 procent van het volume. Vanuit het binnenoppervlak, dus aan de zijde van de tentoonstellingszaal, vindt vochttransport naar de lucht plaats, tot aan het oppervlak het kritische vochtgehalte  $\Psi_c$  is bereikt, met een waarde van ongeveer 12,5 procent van het volume. Het kritische vochtgehalte is de grens waaronder geen vochttransport in vloeibare vorm in het beton kan plaatsvinden, omdat het vocht in de verschillende poriën niet meer met elkaar in verbinding staat. Er kan dan alleen nog damptransport plaatsvinden. Het mag duidelijk zijn dat vanaf dat moment veel minder vocht vanuit het beton naar het oppervlak kan stromen, waardoor het oppervlak droger wordt. In het beton bevindt zich een zich steeds verder terugtrekkend vochtfront, waar de vochtconcentratie gelijk is aan het kritisch vochtgehalte  $\Psi_c$  en de relatieve luchtvochtigheid gelijk is aan 100 procent. De bijbehorende gedeeltelijke dampdruk wordt verder bepaald door de temperatuur in het beton.

De mate van vochttransport van dit vochtfront naar de lucht in de tentoonstellingszaal is afhankelijk van het



dampdrukverschil tussen beton en lucht in de zaal en van de twee weerstanden die het transport ondervindt: namelijk in het beton en in de luchtgrenslaag net langs het betonoppervlak. Zo kan de droging van betonnen vloeren, wanden en plafonds worden gesimuleerd. De berekeningen zijn in de praktijk gevalideerd door metingen in het museum. Tot het moment van de opening zijn diverse controlemetingen van de afgifte van bouwvocht uitgevoerd.

Uit het onderzoek werd geconcludeerd dat – omdat het afdekzeil van de betonvloeren ongeveer een half jaar voor de opening al werd verwijderd en de mechanische ventilatie conform advies vanaf februari 24 uur per dag in werking is gesteld (met tot ongeveer 20 °C verwarmde lucht) – bij de opening in de grootste tentoonstellingszalen nog een vocht-afgifte van circa 1 l/h zou plaatsvinden. Dit is gelijk aan de vocht-afgifte van ongeveer 35 personen.

Om de vocht-afgifte in de tentoonstellingszalen te compenseren is de relatieve luchtvochtigheid van de ingeblazen lucht wat lager ingesteld dan de streefwaarde in de zalen (50 procent). Tevens is voor een langere periode het maximale ventilatiedebiet ingesteld.

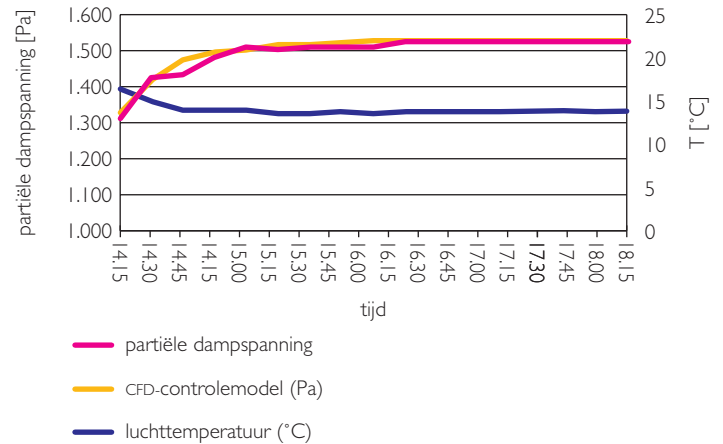
Uit afbeelding 3 kan worden geconcludeerd dat de controlemetingen van de bouwvocht-afgifte voldoende aansluiten bij het berekende verloop. In overeenstemming met de verwachtingen is al drie weken na het in werking stellen van de installaties geconstateerd dat de relatieve luchtvochtigheid in de tentoonstellingszalen met een gemeten waarde van 48 procent aan de gestelde eisen voldoet. Dit is te danken aan het grote ventilatiedebiet van ongeveer zes luchtwisselingen per uur.

#### 4. BOULEVARD DELTION COLLEGE TE ZWOLLE

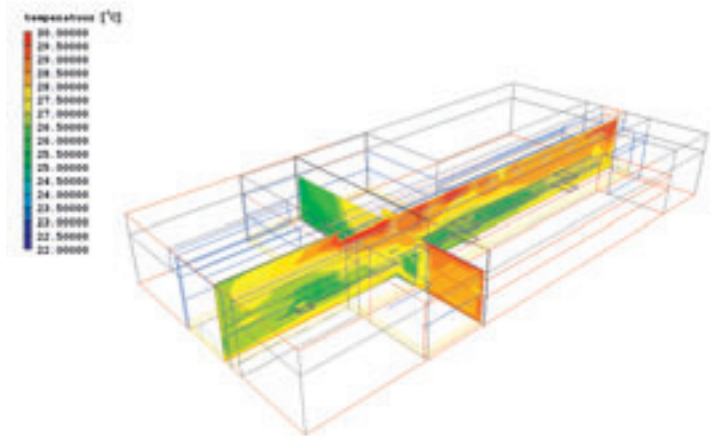
TO/CFD-berekeningen zijn voor de Westelijke en de Oostelijke boulevard in het nieuw gebouwde Deltion College te Zwolle verricht. Het doel van deze berekeningen was gedurende de zomer de maximale luchttemperaturen in de gehele boulevard in kaart te brengen en een goede oplossing te vinden voor een beperking van de temperaturen in de loopbrug. Gekoelde lucht uit de aangrenzende ruimten wordt, door nozzles in de gevels van de omringende onderwijsgebouwen, in de boulevard geblazen. Daarnaast wordt op natuurlijke wijze aanvullende lucht toegevoerd. Door luiken in het dak wordt de toegevoerde lucht vervolgens weer afgevoerd.

In het dak en de gevels wordt gebruikgemaakt van een combinatie van zonwerende beglazing en buitenzonwering, wat natuurlijk een gunstig startpunt vormt. De daarmee bereikte luchttemperatuur in de boulevard ligt volgens de berekeningen onder de maximale buitenluchttemperatuur; in de

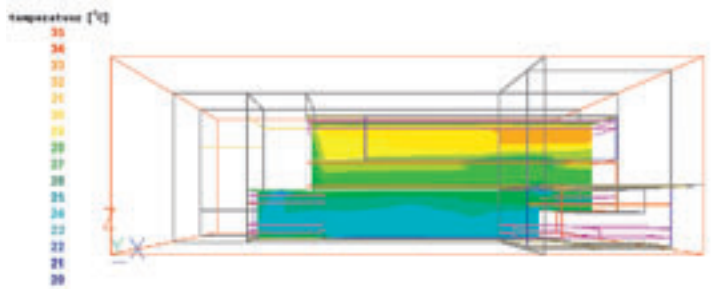
De Beyerd: vochtproductie proefkist 16-10-2007



3. Meting en berekening dampspanning in de proefkist op vloer.



4. Berekende temperaturen in de boulevard van het Deltion College.



5. Berekende temperaturen in het atrium van woon-zorgcomplex Wisselhaege te Eindhoven.

loopbrug zal deze de buitenluchttemperatuur dicht naderen, zie afbeelding 4.

Op basis van de resultaten van het onderzoek is ook in de westgevel buitenzonwering aangebracht en is een temperatuurafhankelijke regeling van de ventilatieroosters in de gevel toegepast, zodat op warme dagen geen te warme buitenlucht naar binnen stroomt.

Het nieuwe gebouw van het Deltion College is sinds begin 2008 in gebruik. Tijdens de eerste zomer is gebleken dat de temperaturen aan de verwachtingen voldoen.



## 5. WOON-ZORGCOMPLEX WISSEHAEGE TE EINDHOVEN

In opdracht van de Blaay-Van den Bogaard Raadgevende Ingenieurs te Rotterdam en Hevo Bouwmanagement te 's-Hertogenbosch is een CFD-berekening van het thermisch binnenklimaat verricht in het atrium van de nieuwbouw van woonzorgcomplex Wissehaege – voorheen de Weerde – te Eindhoven. De berekening sloot aan op TO-berekeningen die eerder zijn verricht door de Blaay-Van den Bogaard.

Het was belangrijk om te voorkomen dat in het atrium – dat uit een grote hal en een aangrenzend restaurant bestaat, plus een café en entreegebied – een te grote verticale temperatuurgradiënt zou optreden. De temperaturen op zowel de begane grond, galerijen en bij de lounges op de tweede en derde verdieping moesten beperkt blijven. Om te voorkomen dat het op de bovenste verdiepingen 's zomer te warm wordt, is het atrium van een systeem voor vloerkoeling, 's winters als vloerverwarming te gebruiken, voorzien. Afzuiging vindt in de keuken bij het restaurant plaats.

Een belangrijke vraag binnen dit onderzoek was of er geen interferentie gaat optreden tussen enerzijds de mechanische afzuiging en vloerkoeling en anderzijds de te openen ramen bovenin de gevels. Om dit te kunnen beoordelen moesten de luchtbewegingen in het atrium in kaart worden gebracht.

Op basis van de CFD-berekening kon worden geconcludeerd dat het, door de verticale temperatuurgradiënt, bij de lounge en galerij op de derde verdieping enigszins warmer werd dan de eerder uitgevoerde TO-berekeningen hadden voorzien, zie afbeelding 5. Daarom is op basis van de berekeningen geadviseerd in de lounge en de galerij op de derde verdieping mechanische ventilatie toe te passen, of ook hier vloerkoeling aan te brengen. Tevens is de regeling van de te openen ramen zodanig aangepast dat deze al bij een buitenluchttemperatuur van 30 °C worden gesloten.

Dit systeem blijkt in de praktijk zo goed te werken dat het ook bij een recenter project in Diemen, de Sanquin Bloedbank, is overgenomen.

### SAMENVATTING EN CONCLUSIE

Peutz heeft met het CFD-pakket Phoenix 2009 64bit een speciaal programma ontwikkeld dat dynamische TO-berekeningen maakt, in combinatie met een geïntegreerde CFD-luchtstromingsberekening. Hiermee zijn de temperaturen en luchtbewegingen in kantoren, atria, serres en combinaties daarvan voorspelbaar. Groot voordeel ten opzichte van traditionele TO-programmatuur is dat het nieuwe programma de luchtstromingen en de temperatuurgradiënt gedetailleerd

berekent. Ten opzichte van een traditionele CFD-berekening is het nuttig dat veel parameters, zoals de in de tijd variërende zonbelasting, de interne en externe beschaduwings, de ventilatieregeling en de interne warmtelast in het rekenmodel automatisch worden geregeld en berekend. Bovendien zijn diverse technieken voor de berekening van vochtransport, warmteoverdracht door straling en voor de berekening van de convectieve warmteoverdrachtscoëfficiënten bij wanden, vloeren en plafonds in het programma aangebracht, teneinde de fysische nauwkeurigheid te verhogen.

Wat opvalt in de projectbeschrijvingen is dat ter verbetering van het binnenklimaat vooral een optimalisatie van de installaties en de zonwerende voorzieningen heeft plaatsgevonden. In de projecten is zonwering toegevoegd, een extra koelplafond of vloerveld met vloerkoeling, of de luchttoevoerhoeveelheden zijn ietwat verhoogd. In andere gevallen is gezorgd dat kleppen in het dak open kunnen. De verbeteringen blijken in de praktijk vaak een aanzienlijk effect te hebben, zoals gelijkmatiger temperatuurverdelingen, waardoor de temperatuur op de hoogstgelegen verdiepingen of loopbruggen beperkt blijft. Dankzij dit soort berekeningen is, tegen redelijk beperkte kosten, voor de opdrachtgever een wezenlijke kwaliteitswinst te behalen.

### Referenties

- [1] G.M. van Uffelen, 'Nuttig instrument in de ontwerpfase – Integratie van TO- en CFD-berekening', *TWV Magazine 1*, 2006.
- [2] N. Lavery e.a., 'Finite Element Radiative and Conductive Module for use with Phoenix', *Dera, Phoenix User Conference Luxemburg*, 2000.
- [3] Xu W. en Chen Q., 'Numerical simulation of airflow in a room with differentially heated vertical walls', *Ashrea Transactions*, 1995.
- [4] Vabi 114, [www.vabi.nl](http://www.vabi.nl).
- [5] Perez R, Stewart R, Arbogast R, Seals R, Scott J., 'An anisotropic hourly diffuse radiation model for sloping surfaces: Description, performance validation, site dependency evaluation', *Solar Energy*, 1986
- [6] 'Building Physics Finite Element Package', TU Delft.
- [7] Tammes E, Vos B.H., 'Warmte- en vochtransport in Bouwconstructies', *Kluwer Technische Boeken, Deventer-Antwerpen*, 1980.
- [8] Schijndel, A.W.M. Van, 'Integrated heat air and moisture modeling and simulation', *TU Eindhoven*, PhD thesis, 2007.

### Auteur

Ir. G.M. van Uffelen, projectmanager Peutz in Mook