

Op weg naar een betere modellering

Convectie in energiesimulaties tijdens nachtventilatie

De prestatie van nachtventilatie wordt geëvalueerd door middel van gebouwsimulatiemodellen en hangt sterk af van de convectieve overgangscoefficiënt. Door middel van CFD-simulaties is aangetoond dat de overgangscoefficiënt aan het plafond sterk kan variëren tijdens de periode van verhoogde ventilatie. Om nachtventilatie nauwkeuriger te simuleren is het daarom belangrijk om het optredende stromingspatroon in de zone te voorspellen. Verder lijkt de vloer een aantrekkelijker warmtebuffer te vormen dan het plafond, omwille van de efficiëntere warmteoverdracht 's nachts.

Ir.-arch. S. (Sarah) Leenknecht¹, ing. R. (Rolf) Wagemakers², prof.dr.ir. W. (Walter) Bosschaerts², prof.dr.ir.-arch. D. (Dirk) Saelens¹
1.Afdeling Bouwfysica, KU Leuven, Leuven, België; 2.Departement Mechanica, Koninklijke Militaire School, Brussel, België

Nachtventilatie is een vorm van passieve koeling. Hierbij wordt overdag de thermische massa in het gebouw gebruikt om de warmte te bufferen, waarna deze 's nachts weer afgekoeld wordt door koude buitenlucht over de massa te laten stromen. Deze warmtebuffer wordt typisch verkregen door betonnen plafonds en/of vloeren onbedekt te laten. De warmteoverdracht tussen beton en lucht wordt dan een bepalende factor voor het koelvermogen en beschreven door de convectieve warmtestroomdichtheid q_c (zie kader). Het haalbare koelvermogen van nachtventilatie wordt berekend met energiesimulatiemodellen, zoals Trnsys en E+. Helaas blijft de modellering van convectie in zulke modellen eenvoudig. Enerzijds wordt in deze modellen aangenomen dat de lucht in een zone perfect gemengd is, wat de selectie van een referentietemperatuur beperkt. Anderzijds wordt aangenomen dat de oppervlakken isotherm zijn en wordt er enkel met oppervlaktegemiddelde waarden gerekend. Ten slotte is de tijdsafhankelijke

selectie van de convectieve overgangscoefficiënt niet gemakkelijk, aangezien die afhankelijk is van het stromingspatroon in de zone. Dit kan enkel via numerieke simulatie van de stroming bepaald worden. Een dergelijke simulatie vraagt echter veel rekentijd en expertise. Als alternatief kan het energiesimulatiemodel zelf een classificatie van de stroming maken, namelijk in functie van de drijvende kracht en de oorzaak van de temperatuurverschillen. Beausoleil-Morrison (2000) ontwikkelde zo een algoritme om convectiecorrelaties toe te kennen aan de interne oppervlakken. Dit algoritme is toegepast in ESP-r en in E+. Deze methode is een pragmatische oplossing, maar in dit onderzoek wordt aangetoond dat een verdere verfijning van deze methode aangewezen is in het geval van nachtventilatie.

METHODE

De luchtstroming in een 2D-doorsnede van een kamer is gedurende 8 uur gesimuleerd. De kamer heeft een hoogte van 2.7 m en een diepte van 4.75 m. Toevoer- en afvoeropenin-

gen zijn 10 cm hoog en zijn tegenover elkaar aan beide zijden van de kamer geplaatst. Twee configuraties zijn vergeleken: toe/afvoer op 20 cm van het plafond of toe/afvoer grenzend aan het plafond. De temperatuur van de toevoerbuis en het debiet variëren. De thermische massa maakt deel uit van het model onder de vorm van twee betonplaten van 10 cm in vloer en plafond, steeds geïnitieerd op 22°C. De simulaties zijn uitgevoerd met Fluent 12, een commercieel CFD-pakket. De cases zijn uitgedrukt volgens debiet (xh), initieel temperatuurverschil (xK) en geometrie (00 of 02), bijvoorbeeld case 7h2K02. Een overzicht van de onderzochte cases is te

$$q_c = h_c \cdot (T_s - T_{ref})$$

q_c is de convectieve warmtestroomdichtheid aan het oppervlak [W/m²], h_c is de convectieve overgangscoefficiënt [W/(m².K)], T_s is de oppervlaktetemperatuur [K] en T_{ref} is een gekozen referentietemperatuur, meestal de gemiddelde kamertemperatuur [K].

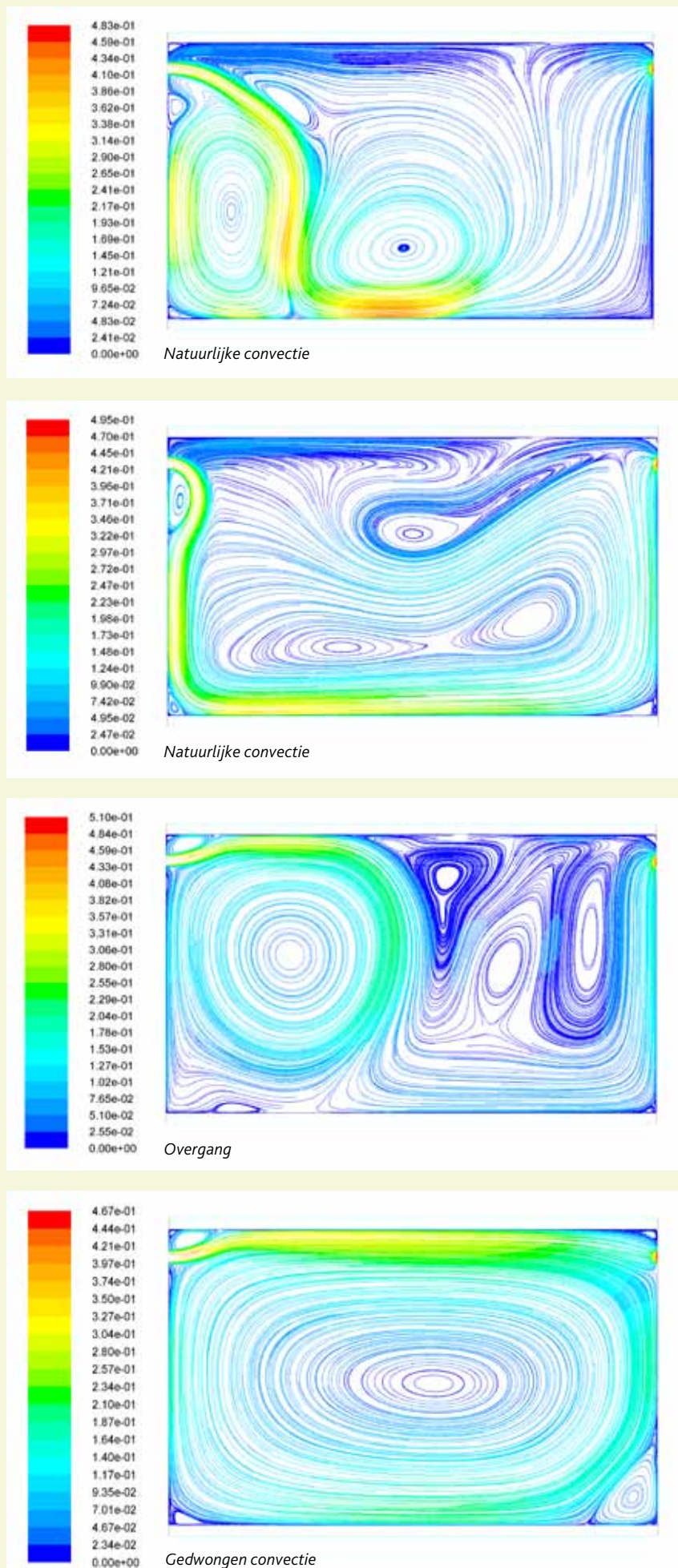
vinden in tabel 1, op de volgende pagina. Voor het CFD-model is een rekengrid opgesteld met 22.000 cellen. De stroming is opgelost tot aan de wand en de turbulentie is gemodelleerd met het RNG k-ε turbulentie-model. Verdere details en afbeeldingen kunnen gevonden worden in Leenknecht et al (2011). Hierna wordt eerst de evolutie van de stroming besproken en de impact van de stroming op de convectie aan vloer en plafond. Vervolgens wordt teruggekoppeld naar de selectie van de convectieve overgangscoefficiënt in gebouw-simulatiemodellen. Ten slotte worden enkele conclusies getrokken.

EVOLUTIE VAN STROMING

De luchtstroming in de kamer bepaalt de plaatselijke convectieve warmtestroomdichtheid aan de oppervlakken. Er kunnen vier stromingsregimes onderscheiden worden tijdens de volledige simulatieperiode, waarbij regimes 1 en 2 gedomineerd worden door natuurlijke convectie en regime 3 een overgang toont naar de gedwongen convectie in regime 4. Deze vier fases zijn te zien in figuur 1.

Regimes 1 en 2 worden sterk beïnvloed door het temperatuurverschil tussen de inkomende lucht en de zonelucht. Hierdoor valt de zwaardere koude lucht in het eerste geval onmiddellijk naar beneden en hecht de koude luchtstroom zich aan de wand onder de toevoeropening. De koude lucht stroomt dan verder over de vloer naar de andere kant van de kamer, waar ze omhoog getrokken wordt richting afvoeropening. Een deel van deze stroming verlaat de zone, terwijl een ander deel verder omhoog stroomt, tegen het plafond botst en terugvalt in de kamer en zo voor menging zorgt. Regime 2 is zeer gelijkaardig, maar in dit geval dringt de toevoerlucht wel over korte afstand horizontaal binnen in de kamer. Tijdens deze fases is er een goede menging van de kamerlucht met de toevoerlucht en de kamer koelt langzaam af. Regime 1 en/of 2 kan uren duren. Op een bepaald moment wordt echter de gedwongen convectie sterker dan de natuurlijke convectie en overwint deze ook de hechtkracht aan de wand. Op dit moment start regime 3, waarbij de koude toevoerlucht loskomt van de wand en zich aan het plafond hecht. Er ontstaat een met de klok meedraaiende grote wervel, die zich door de kamer beweegt naar de afvoeropening toe. Deze fase neemt 10 tot 30 minuten in beslag. Wanneer deze beweging voltooid is, start regime 4 en is de stroming in de kamer volledig gedomineerd door gedwongen convectie.

Zoals te zien in figuur 2, op de volgende pagina, komen de meeste cases binnen de gesimuleerde 8 uur niet tot regime 3, terwijl sommige cases deze overgang reeds zeer vroeg maken.



-Figuur 1- Evolutie van de stromingsregimes

RESULTERENDE CONVECTIE

Figuur 3 toont de oppervlaktegemiddelde convectieve overgangscoefficiënt aan vloer en plafond voor case 11h3K02. De waarden aan de vloer komen overeen met bestaande correlaties voor natuurlijke convectie over een horizontaal oppervlak met opwaartse warmtestroom, zowel voor als na regime 3.

Aan het plafond echter is een heel ander profiel te zien. Voor regime 3 is de overgangscoefficiënt zeer laag en komt deze overeen met bestaande correlaties voor natuurlijke convectie voor gestratificeerde stroming over een horizontaal oppervlak. Tijdens de overgangperiode van regime 3 stijgt de oppervlaktegemiddelde overgangscoefficiënt sterk om daarna weer te stabiliseren op de verhoogde waarde.

IMPACT OP GEBOUWSIMULATIE

Er werd vastgesteld dat de overgangscoefficiënt aan het plafond sterk kan variëren in de tijd ten gevolge van een veranderlijk stromingspatroon binnen de periode met constant hoog ventilatie-debiet. Dit gedrag kan uiteraard niet gevat worden wanneer enkel correlaties voor natuurlijke convectie gebruikt worden. Maar ook het algoritme van Beausoleil-Morrison (2000) gaat hieraan voorbij. Dit algoritme veronderstelt immers dat tijdens de activatie van een gegeven HVAC-component (ventilator, verwarmingselement), de geselecteerde correlatie per oppervlak niet wijzigt. Figuur 3 illustreert echter dat dit in geval van nachtventilatie een ongepaste aanname is volgens de uitgevoerde simulaties. Om een correcte evaluatie te maken van de energieprestatie van nachtventilatie is het dus belangrijk om de evolutie van het stromingspatroon te voorspellen.

IMPACT OP TOEPASSING

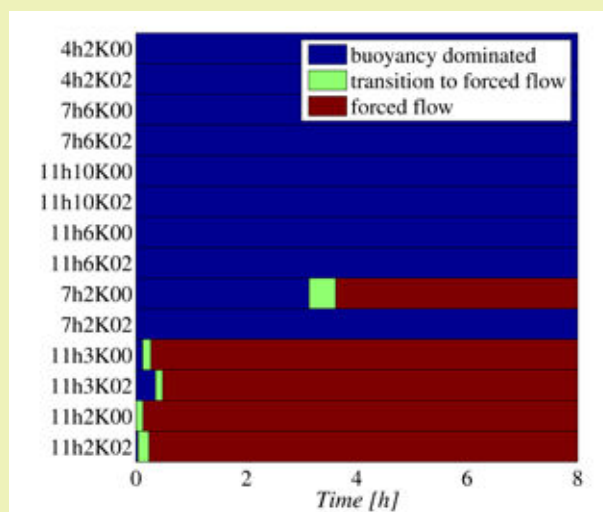
Het correct modelleren van oppervlakteconvectie is erg belangrijk voor het bepalen van de energieprestatie van een gebouw. Convectie beïnvloedt de zonetemperatuur, op basis waarvan verwarming en koeling geregeld en zelfs gedimensioneerd worden.

Een tweede punt heeft specifiek betrekking op het ontwerp van nachtventilatie. Hierbij wordt vaak impliciet aangenomen dat de warmteoverdracht aan het plafond hoger zal zijn dan aan de vloer. Dit onderzoek suggereert echter dat deze aanname genuanceerd moet worden. Gedurende een groot deel van de tijd is de stroming aan het plafond sterk gestratificeerd, met een zeer lage warmtestroomdichtheid als gevolg. De vloer daarentegen ondervindt een koude stroming over het oppervlak, wat resulteert in hogere warmtestroomdichtheden dan aan het plafond. Bovendien is het inscha-

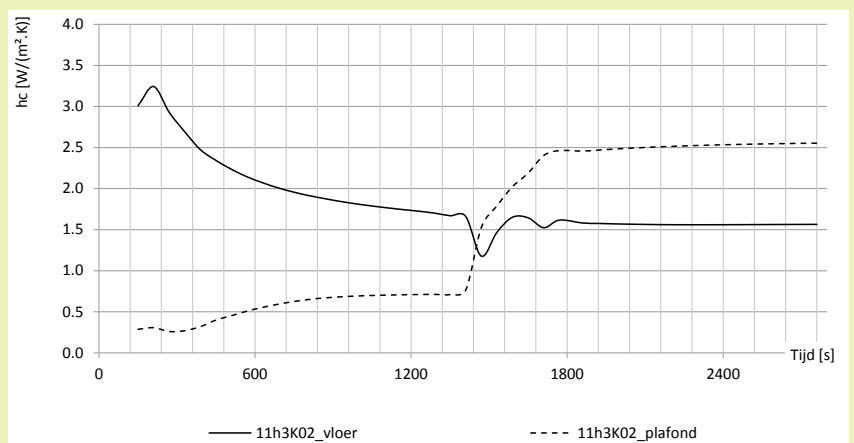
case		begincondities			dimensieloze getallen		
h^{-1}	ΔT	v_{in}	T_{in}	T_a	Gr	Re	Ri
4	2	0.14	20	22	$4.3 \cdot 10^9$	$2.3 \cdot 10^4$	8.1
7	6	0.25	16	22	$1.3 \cdot 10^{10}$	$4.0 \cdot 10^4$	8.0
11	10	0.39	16	26	$2.2 \cdot 10^{10}$	$6.4 \cdot 10^4$	5.4
11	6	0.39	16	22	$1.3 \cdot 10^{10}$	$6.4 \cdot 10^4$	3.2
7	2	0.25	20	22	$4.3 \cdot 10^9$	$4.0 \cdot 10^4$	2.7
11	3	0.39	19	22	$6.5 \cdot 10^9$	$6.4 \cdot 10^4$	1.6
11	2	0.39	20	22	$4.3 \cdot 10^9$	$6.4 \cdot 10^4$	1.1

-Tabel 1- Gebruikte randvoorwaarden

ΔT [K] het initiële temperatuurverschil tussen kamer- en toevoerlucht, v_{in} [m/s] de inlaatsnelheid, T_{in} en T_a [°C] de initiële temperatuur van toevoerlucht en kamer



-Figuur 2- Timing van de stromingsevolutie



-Figuur 3- Oppervlaktegemiddelde overgangscoefficiënt aan vloer en plafond voor 11 h⁻¹, $\Delta T = 3$ K en toevoer/afvoer op 20 cm van het plafond

kelen van de vloer als opslagmedium overdag interessant, aangezien deze een groot deel van de bezonning ontvangt.

REFERENTIES

1. Beausoleil-Morrison, I., (2000) PhD. The adaptive coupling of heat and air flow modeling within dynamic whole-building

simulation, University of Strathclyde, Glasgow, UK

2. Leenknecht et al (2011) Improving the modelling of surface convection during natural night ventilation in Building simulation models, Proceedings of Building Simulation 2011, Sydney, Australia