

DE INVLOED VAN HOLISTISCHE PLATDAK

Vanuit de Universiteit Twente is een onderzoek opgezet waarbij een methode is ontwikkeld om de invloed van platdaksystemen op het binnenklimaat te bepalen via simulatie. Tebodin wilde namelijk inzicht krijgen in de thermische effecten van deze systemen op het binnenklimaat van niet-gekoelde gebouwen. De ontwikkelde methode is vervolgens toegepast op een bestaand gebouw, waarbij gebruik is gemaakt van twee scenario's wat betreft het huidige platdakstelsel.

Tekst: ir. A.P. van Lith, dr.ir. A.G. Entrop, prof.dr.ir. J.I.M. Halman, TU Twente.
Fotografie: Industrie

Een groot gedeelte van de bestaande gebouwen heeft een plat dak. De binnentemperatuur in niet-gekoelde gebouwen kan in de zomer door straling oplopen tot oncomfortabele hoogte. Voor thermische berekeningen aan gebouwen ligt echter de nadruk vooral op conductie, waarbij beleidsmakers een steeds hogere minimale thermische weerstand voor de schil voorschrijven.

Onze simulaties voor holistische platdaksystemen laten zien dat het verhogen van de thermische weerstand van een dak slechts in beperkte mate effectief is en zelfs een negatief effect kan hebben. In voorgestelde alternatieve methode wordt niet alleen rekening gehouden met conductie, maar ook met convectie en straling.

Warmteoverdracht

Conductie, convectie en radiatie zijn de drie manieren waarop warmte kan worden overgedragen. Conductie is de geleiding van warmte door een stilstaand materiaal. In een gebouw vindt conductie plaats door het dak als er een temperatuurverschil is tussen binnen en buiten. Convectie is de warmte-uitwisseling tussen een vast materiaal en een stromend medium. Straling is de warmteoverdracht door stralingsgolven tussen twee objecten. De belangrijkste vorm van straling is de zonnestraling die de aarde ontvangt, maar er vindt ook stralingsuitwisseling plaats tussen objecten. De huidige regelgeving voor gebouwen richt zich vooral op conductie. De mate van conductie is omgekeerd evenredig met de thermische weerstand van de constructieonderdelen. Vanuit dit perspectief is het logisch dat er steeds

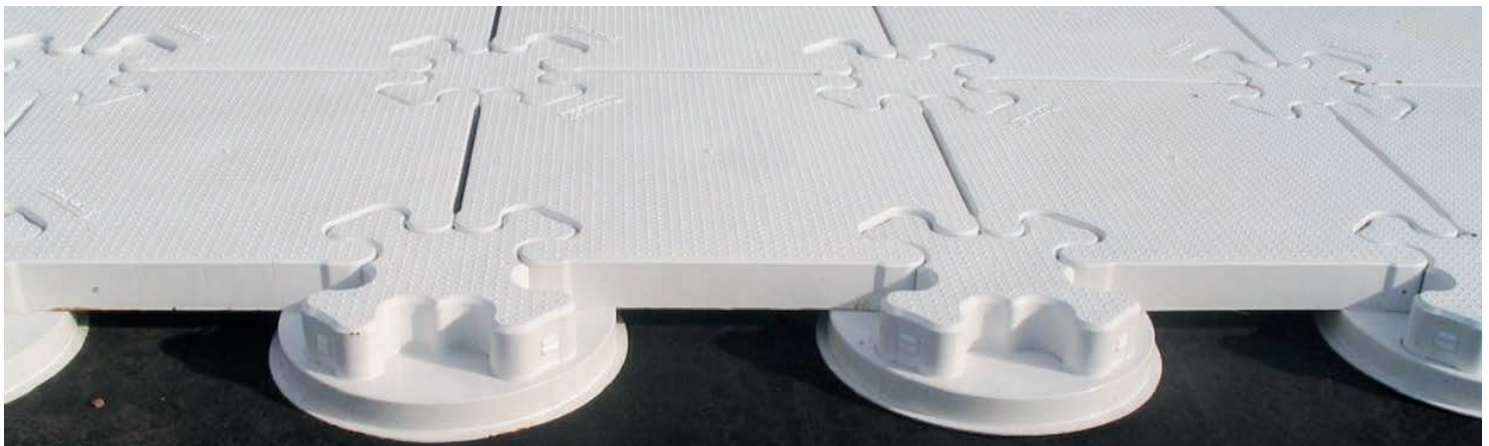
hogere eisen worden gesteld aan de thermische weerstand van constructieonderdelen. Systemen die ook rekening houden met de effecten van convectie en straling worden hierdoor echter niet op waarde geschat.

De hoeveelheid straling die een gebouw ontvangt is sterk afhankelijk van de mate waarin deze zonnestraling wordt weerkaatst (albedo-waarde). Een conventioneel zwart dak absorbeert tot wel 90 procent van de zonnestraling. De temperatuur op zwarte daken kan daardoor tot 50 °C hoger zijn dan de buitentemperatuur [1].

Het aanpassen van de albedo van de toplaag van het dak is een manier om invloed uit te oefenen op de energie die een gebouw ontvangt via straling. Een andere manier is het creëren van een beschermende laag boven het dak. Als deze laag door een luchtlaag is gescheiden van het dak, kan de invloed van straling worden beperkt. Een derde manier om de hoeveelheid straling te beïnvloeden is door gebruik te maken van latente koeling. Voor de evaporatie van water is een behoorlijke hoeveelheid energie nodig. Deze energie wordt onttrokken aan de straling die het dak bereikt. Als water kan worden vastgehouden op het dak, kan dit bijdragen aan een geringere warmtestroom naar de onderliggende binnenruimte.

Onderzoeksmethode

In het onderzoek is de thermische invloed van vijf holistische platdaksystemen vergeleken met het bestaande dak van een opslaghal in Nederland (figuur 1). Met holistisch wordt hier bedoeld dat het ontwerp van het platdak-



SYSTEMEN OP HET BINNENKLIMAAT

systeem is gebaseerd op meerdere warmteoverdrachtsmethoden. De opslaghal wordt verwarmd, maar niet gekoeld, waardoor vooral in de zomer het binnenklimaat tot problemen kan leiden.

Er is met Nederlandse weergegevens gewerkt. Voor de simulaties is een 'typical meteorological year (TMY) uit de database van EnergyPlus gebruikt. Hiervoor is uit maandelijkse weergegevens over meerdere jaren, bepaald in welk jaar het weer het meest karakteristiek is voor elke maand. De vijf bestudeerde holistische platdaksystemen (tabel 1) beïnvloeden het binnenklimaat door het veranderen van de albedo van de toplaag, het toevoegen van een spouw, het verhogen van de thermische weerstand of het gebruiken van latente koeling en een combinatie hiervan.

De gebruikte integrale methode bestaat uit zes stappen die zijn uitgevoerd voor elk holistisch platdakstelsel. Als eerste zijn de relevante warmteoverdrachtsmethoden geïmplementeerd. Ten tweede is een energiebalans opgesteld. Ten derde is de maatregel geïmplementeerd in het thermische model van de opslaghal. Ten vierde zijn de gehanteerde aannames gecontroleerd. Ten vijfde is het model gerund. Ten slotte is de invloed op het binnenklimaat bepaald. Om de invloed van de thermische weerstand van het bestaande dak te onderzoeken, is voor de thermische weerstand van het bestaande dak gebruikgemaakt van zowel

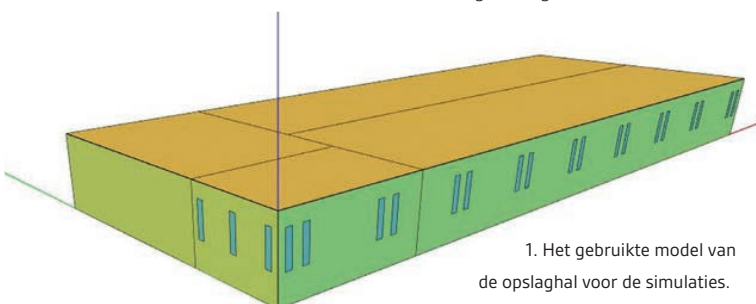
een hoog ($R = 3,5 \text{ m}^2\text{K/W}$) als een laag scenario ($R = 1,1 \text{ m}^2\text{K/W}$).

Met het simulatieprogramma EnergyPlus is de interne luchttemperatuur in de opslaghal gesimuleerd voor een compleet jaar. Hierbij is de binnentemperatuur vergeleken met de maximaal acceptabele binnentemperatuur in de opslaghal, in dit geval $23 \text{ }^\circ\text{C}$. Hiervoor is de 'predicted mean vote'-methode (PMV) gebruikt met een metabolisme van 1,7, een warmte weerstand van de kleding van 0,7 clo en als seizoen de zomer [2]. Op basis van deze variabelen wordt een voorspelling gedaan over welk percentage van de aanwezigen tevreden is met de binnentemperatuur. Algemeen acceptabel is een PMV tussen -0,5 en 0,5 [3]. Met de simulatie is bepaald hoeveel uren per jaar de binnentemperatuur deze waarde overschrijdt. Naast het aantal keer dat de waarde wordt overschreden is ook de omvang van de overschrijding van belang, daarom is ook de maximumbinnentemperatuur bepaald.

Uitvoering

De eerste stap is gericht op het in kaart brengen van alle relevante warmteoverdrachtsmethoden van een holistisch platdakstelsel (figuur 2). Dit gebeurt door het maken van een schets van de situatie en systematisch alle warmteoverdrachtsmethoden langs te gaan. Belangrijk hierbij is dat dit voor elke laag moet gebeuren. Zo kan in een geventileerde spouw convectie plaatsvinden met de boven- en onderliggende daklaag.

In de tweede stap wordt deze schets omgezet in een energiebalans. Het valt buiten de scope van dit artikel hier verder op in te gaan. De energiebalansen die zijn gevonden in het onderzoek worden toegelicht in het eindrapport van het onderzoek [4]. Belangrijk hierbij is dat er sprake kan zijn van meerdere energiebalansen voor een holistisch plat-



1. Het gebruikte model van de opslaghal voor de simulaties.

»» MET ENERGYPLUS IS DE INTERNE LUCHTTEMPERATUUR IN DE OPSLAGHAL GESIMULEERD

daksysteem. Een voorbeeld hiervan is het groendak, waar zowel een energiebalans is opgesteld voor de vegetatielaag als voor de substraatlaag. Over de energiebalansen voor een groendak bestaan uitgebreide toelichtingen die een goed beeld geven van de werking [5, 6]. In de derde stap wordt het holistische platdaksysteem geïn-

tegreerd in het model voor het bestaande platte dak. Er is dus als het ware sprake van een renovatiescenario, waarbij het bestaande dak wordt gebruikt en aangepast om tot een holistisch platdaksysteem te komen. Per systeem moest een aantal aannames worden gedaan. Hierbij bieden de eerste twee stappen uitkomst. Voor het koel

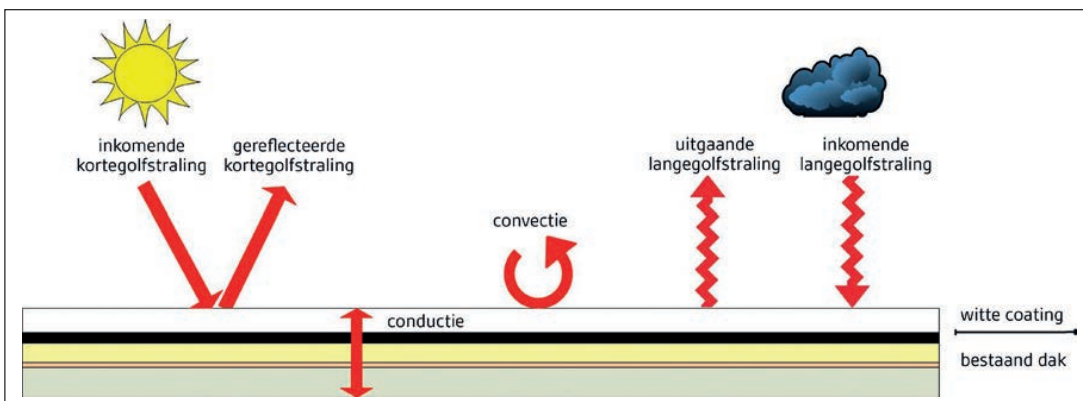
holistisch platdaksysteem	omschrijving
koel dak	het verhogen van de albedo van het dak door het aanbrengen van een coating met een hoge albedo-waarde.
groendak	het plaatsen van vegetatie, meestal sedum, op het dak. Het groendak houdt water vast, wat bijdraagt aan de latente koeling.
zonnepanelen	het plaatsen van zonnepanelen horizontaal boven het dak. Hierdoor wordt zonnestraling geblokkeerd en wordt er een open spouw gecreëerd waar convectie kan plaatsvinden.
dubbel dak	het plaatsen van een tweede dakconstructie boven het dak. Hierdoor wordt een gesloten spouw gecreëerd die bijdraagt aan de thermische weerstand van het dak.
Roofclix	het plaatsen van met PUR gevulde kunststof panelen met een hoge albedo-waarde op voetstukken op het dak. De hoge albedo-waarde zorgt voor een verminderde invloed van zonnestraling en door de voetstukken wordt een beperkt geventileerde spouw gecreëerd.

Tabel 1. Onderzochte holistische platdaksystemen.

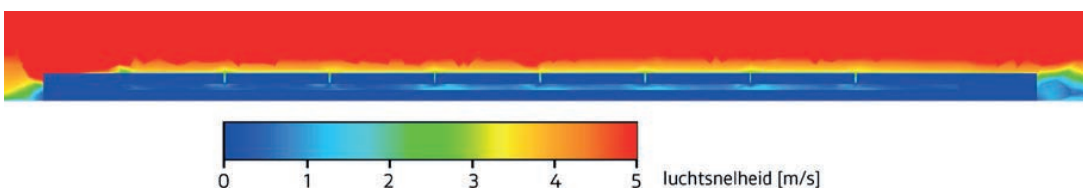
situatie t.o.v. Rc 1,1 m ² K/W met 2.155 overschrijdingsuren	koel dak	groendak	pv	dubbel dak	Roofclix
afname aantal overschrijdingsuren [%]	81	64	84	33	85
maximum interne luchttemperatuur [°C]	25,7	24,9	24,4	26,2	23,9
maximale overschrijding [°C]	2,7	1,9	1,4	3,2	0,9

situatie t.o.v. Rc 3,5 m ² K/W met 862 overschrijdingsuren	koel dak	groendak	pv	dubbel dak	Roofclix
afname aantal overschrijdingsuren [%]	85	66	95	37	95
maximum interne luchttemperatuur [°C]	24,2	24,2	23,8	24,7	23,8
maximale overschrijding [°C]	1,2	1,2	0,8	1,7	0,8

Tabel 2. Binnenklimaat voor de holistische platdaksystemen bij een thermische weerstand van het oorspronkelijke dak van 3,5 m²K/W.



2. Warmteoverdrachtsmechanismes voor het koeldaksysteem.



3. Simulatie voor de windsnelheid onder de Roofclix-panelen.

dak is het belangrijkste verschil dat de albedo van de toplaag van het dak is veranderd (figuur 2). Deze waarde kan manueel worden aangepast in EnergyPlus. Een ander verschil is dat de thermische weerstand van het dak wordt verhoogd door het toevoegen van een coating. Deze verhoging is niet meegenomen, omdat wordt aangenomen dat de coating niet significant bijdraagt aan de thermische weerstand van het dak. De vierde stap bestaat uit het controleren van de aannames die gedaan zijn bij stap 3. Er zijn metingen verricht om het model te valideren en er zijn expert-opinies, aanvullende literatuurstudies en 'computational fluid dynamics' (CFD) simulaties gebruikt om de aannames te controleren. De aanname dat de coating niet significant bijdraagt aan de thermische weerstand wordt bijvoorbeeld bevestigd in de literatuur [7]. De aannames zijn voorgelegd aan experts op het gebied van gebouwsimulatie. Deze experts gaven unaniem aan dat de thermische weerstand van het bestaand dak een grote invloed heeft op de effectiviteit van een holistisch platdakstelsel. Daarom is besloten twee scenario's te maken voor de thermische weerstand van het bestaande dak. Voor het Roofclix-systeem is de aanname gedaan dat de wind onder de panelen significant lager is dan boven de panelen. Dit is gecontroleerd met een CFD-simulatie (figuur 3). In de vijfde stap is een simulatie uitgevoerd met het holistische platdakstelsel. Hiervoor is gebruikgemaakt van weergegevens van een typologisch meteorologisch jaar die voor meerdere locaties in Nederland beschikbaar zijn. Voor de simulatie wordt uitgevoerd kan de gewenste output worden aangegeven. Deze wordt vervolgens geëxporteerd naar een csv-file. In het onderzoek is gewerkt met de interne luchttemperatuur per uur. In de zesde stap is de invloed van een holistisch platdakstelsel bepaald. In Excel is het aantal uren dat de temperatuur boven de 23 °C komt bepaald, evenals de maximale interne luchttemperatuur. Op basis van deze resultaten kan de thermische impact van de verschillende holistische platdaksystemen worden vergeleken (tabel 2). De interne luchttemperatuur was tijdens de zomer meerdere keren boven de maximaal acceptabele temperatuur (23 °C) voor de activiteiten die plaatsvinden in de opslaghal. Voor het dak met $R = 3,5 \text{ m}^2\text{K/W}$ ging het om 862 overschrijdingsuren en een maximale interne luchttemperatuur van 25,3 °C. Voor het dak met $R = 1,1 \text{ m}^2\text{K/W}$ ging het om 2.155 overschrijdingsuren en een maximale interne luchttemperatuur van 29,3 °C.

Conclusie

Alle holistische platdaksystemen kunnen de hoeveelheid oververhittingsuren van de maximale interne luchttemperatuur verlagen. De meest efficiënte systemen zijn het koeldak, de zonnepanelen en het Roofclix-systeem. Deze systemen verminderden het aantal oververhittingsuren met 81 – 95 procent. Het onderzoek bevestigt dat de thermische weerstand van het bestaande dak een grote invloed heeft op de effectiviteit van een holistisch platdakstelsel. Doorgaans leidt een

toename van de thermische weerstand tot minder oververhittingsuren. Het verhogen van de thermische weerstand is een effectievere methode als het bestaande dak een lage thermische weerstand heeft. Voor daken met een thermische weerstand van meer dan $3,5 \text{ m}^2\text{K/W}$ (niveau Bouwbesluit 2012) is het verhogen van de thermische weerstand nauwelijks meer effectief. Hier kan het zelfs tot een tegengesteld effect leiden, aangezien isolatiemateriaal als barrière kan functioneren voor de warmte die de ruimte verlaat. Ten slotte toont het onderzoek aan dat voor de beoordeling van holistische platdaksystemen een integrale methode nodig is. Het bestuderen van slechts een enkele warmteoverdrachtsmethode leidt tot onderschatting van de thermische invloed van holistische platdaksystemen. Als de invloed op warmteoverdrachtsmethoden individueel wordt onderzocht, in plaats van het gebruik van een integrale methode, kan dit leiden tot onjuiste resultaten, aangezien er interactie plaatsvindt tussen de warmteoverdrachtsmethoden. <<

Auteurs

- Ir. A.P. (Robert) van Lith (1992) was master-student Civil Engineering & Management aan de Universiteit Twente. Hij heeft zijn master-onderzoek naar platdaksystemen uitgevoerd bij Tebodin te Hengelo onder de interne begeleiding van ing. H. Scharpfenecker en ing. J van de Wetering. Hij heeft op 1 maart 2016 zijn colloquium gehouden.
- Dr.ir. A.G. (Bram) Entrop (1980) is universitair docent Duurzaam Bouwen bij de vakgroep Bouw/Infra van de Universiteit Twente. Hij was betrokken als begeleider bij dit onderzoek.
- Prof.dr.ir. J.J.M. (Joop) Halman (1952) is hoogleraar Innovatie- en Risicomanagement in de Bouwindustrie bij de vakgroep Bouw/Infra van de Universiteit Twente. Hij was eveneens betrokken als begeleider bij dit onderzoek.

Bronnen en verwijzingen

1. Akbari H., Pomerantz M., Taha H., 'Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas', Solar Energy no. 70, Elsevier Science Ltd, Verenigd Koninkrijk, 2001.
2. Saffari M., De Gracia A., Ushak S., Cabeza L.F., 'Economic impact of integrating PCM as passive system in buildings using Fanger comfort model', Energy and Buildings no. 112, Elsevier Science Ltd, Verenigd Koninkrijk, 2016.
3. Knoll W.H., Wagenaar E.J., Weele A.M. van, 'Handboek installatietechniek', Stichting Isso, Rotterdam, 2002.
4. Lith A.P. van, 'Thermal modelling of holistic flat roof systems: a comparative analysis on indoor climate comfort', Universiteit Twente, Hengelo, 2016.
5. Frankenstein S., Koenig G., 'FASST Vegetation Models', U.S. Army Corps of Engineers, Washington D.C., 2004.
6. Sailor D.J., 'A green roof model for building energy simulation programs', Energy and Buildings no. 40, Elsevier Science Ltd, Verenigd Koninkrijk, 2008.
7. Suehrcke H., Peterson E.L., Selby N., 'Effect of roof solar reflectance on the building heat gain in a hot climate', Energy and Buildings no. 40, Elsevier Science Ltd, Verenigd Koninkrijk, 2008.