

# Onderzoek naar elektrische vloer- en plafondverwarmingssystemen

*Vloerverwarmingssystemen worden steeds populairder door het feit dat ze in een comfortabeler binnenklimaat kunnen voorzien dan convectieve verwarmingssystemen. Ze worden vaak gebruikt in nieuw gebouwde kantoorgebouwen, ziekenhuizen, wachtkamers, woongebouwen en in andere gebouwen, omdat ze goed kunnen worden gecombineerd met de constructies van deze gebouwen. Voor enkele hoge en oude gebouwen en voor werkplaatsen zijn plafondverwarmingssystemen echter beter. Ze voorkomen dat alle installaties in werkplaatsen moeten worden verplaatst en ze voorkomen vernietiging van de vloerplaten. Daar komt bij dat wanneer de warmtebehoefte van een gebouw erg groot is, de oppervlaktetemperaturen van de stralingspanelen vaak de richtlijnen van ASHRAE overschrijden om in de warmtevraag te kunnen voorzien. Dit resulteert in een hogere temperatuur van de voeten en in een reductie van het thermische comfort van de verwarmde ruimte. In deze situatie worden plafondverwarmingssystemen beschouwd als goede verwarmingssystemen [1; 2; 3].*

*- door Yanhua Liu\*, Tingxian Li\*, Shuping Dong\*  
en Shuixiang Zhang\**

**A**ls gevolg van de verschillende posities van het stralingspaneel is er tussen de twee systemen onder dezelfde condities veel verschil in de verdeling van de binnentemperaturen en in het thermische comfort. Tot op heden hebben de onderzoekers zich voornamelijk gericht op vloerver-

warming [4; 5], slechts een aantal onderzoekers besteedde aandacht aan plafondverwarming [6]. In dit artikel wordt het resultaat beschreven van het onderzoek naar het energiegebruik en het thermische comfort van vloerverwarming en plafondverwarming. De richtlijnen uit het ontwerphandboek

van ASHRAE zijn gebruikt om het thermische comfort van de verwarmde ruimte te beoordelen.

De aanbevolen temperaturen zijn als volgt:

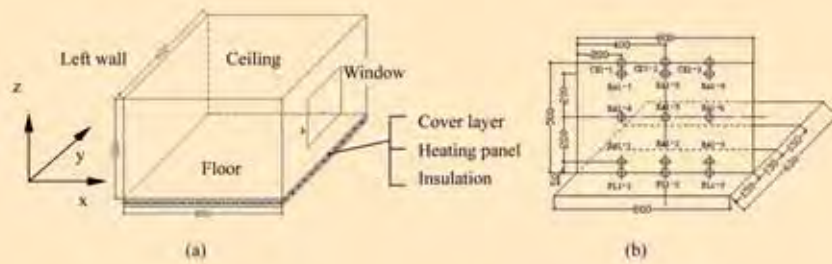
- binnenluchttemperatuur: 18 °C - 22 °C;
- oppervlaktetemperatuur van het stralingspaneel: 24 °C - 30 °C.

## EXPERIMENTEEL

Figuur 1(a) geeft een testruimte weer met een glazen raam in de rechter wand van 280 mm breed en 240 mm hoog. Het is een model van een cleanroom van de 'School of Energy and Power Engineering' op de Jiaotong universiteit in Xi'an (China), verkleind tot een schaal 5:1. De ruimte is 800 mm breed, 600 mm diep en 500 mm hoog. De Z-coördinaat is gebruikt om de hoogterichting van de ruimte aan te geven, X verwijst naar de breedte van de ruimte en Y geeft de diepte van de ruimte aan. Alle wanden, behalve de rechter wand met de daglichtopening, zijn goed geïsoleerd. Negen thermokoppels zijn gelijkmatig over de oppervlakken van iedere wand aangebracht. Zeventientig thermokoppels zijn op gelijke afstand van elkaar over de binnenruimte verdeeld. Deze verdeling is weergegeven in figuur 1(b). Alle kabels van de thermokoppels zijn verbonden aan een data acquisitiesysteem, die iedere

Vertaling van "Investigation on electric floor and ceiling heating systems", door P.M. Briggen BSc, afstudeerster bij de unit Building Physics & Systems van de TU Eindhoven.

\* Department of Building Service, Xi'an Jiaotong University, Xi'an, 710049, China



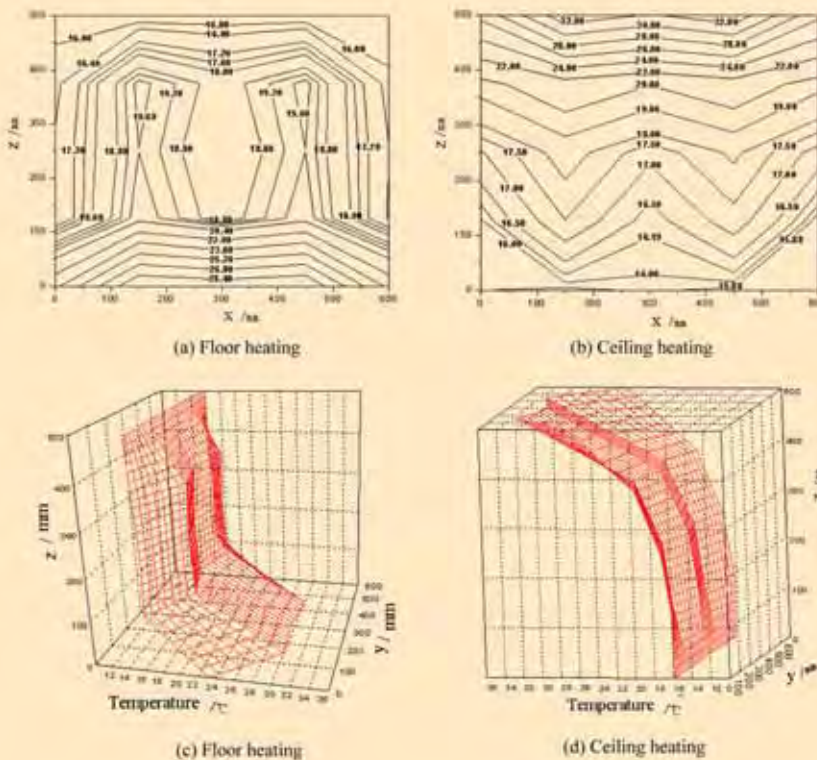
Schetsmatig plan van de testruimte voor het verwarmingssysteem met stralingspanelen en de verdeling van de thermokoppels.

- FIGUUR 1 -

Average temperature (°C)	Floor heating system	Ceiling heating system
Outdoor air	10.39	13.19
Indoor air	19.02	18.45
Floor surface	29.04	16.35
Front wall surface	16.34	17.45
Back wall surface	16.11	17.23
Left wall surface	17.52	17.62
Right wall surface	12.14	14.52
Ceiling surface	16.24	31.76

Gemiddelde temperaturen voor het vloer- en het plafondverwarmingssysteem.

- TABEL 1 -



Temperatuurverdeling in de Z-richting (hoogte).

- FIGUUR 2 -

minuut automatisch de output van ieder thermokoppel samplet en opslaat op een computer.

## RESULTATEN EN DISCUSSIE

### Gemiddelde temperatuur

Het experiment met de vloerverwarming is uitgevoerd in de testruimte die is weergegeven in figuur 1(a). Om een valide vergelijking te maken tussen de verschillende resultaten is het experiment met de plafondverwarming in dezelfde testruimte uitgevoerd. De plafondverwarming is vooraf ondersteboven aangebracht. Aan het stralingspaneel van de plafondverwarming wordt evenveel energie toegevoerd als aan het paneel van de vloerverwarming. De energietoevoer voor beide systemen bedraagt in de experimenten 162,5 W/m<sup>2</sup>. De resultaten zijn weergegeven in tabel 1.

Bij toepassing van het vloerverwarmingssysteem voldoen de binnenluchttemperatuur en de oppervlaktetemperatuur van de vloer aan de specificaties van ASHRAE. Bij toepassing van het plafondverwarmingssysteem voldoet de binnenluchttemperatuur ook aan de richtlijn. Uit de tabel blijkt dat het temperatuurverschil tussen de vloer en het plafond voor het plafondverwarmingssysteem groter is dan voor het vloerverwarmingssysteem. Voor het plafondverwarmingssysteem is dit verschil 15,41 °C, voor het vloerverwarmingssysteem is dit 12,8 °C. Daarnaast zal de vloer de voeten verwarmen bij toepassing van het vloerverwarmingssysteem, de oppervlaktetemperatuur bedraagt dan namelijk 29,04 °C. Mensen zullen geen koude voeten ervaren, waardoor een hoger comfortniveau wordt bereikt. De bovenstaande resultaten geven aan dat vloerverwarming op basis van straling in een meer gelijkmatige en in een meer comfortabele warmte kan voorzien dan plafondverwarming op basis van straling.

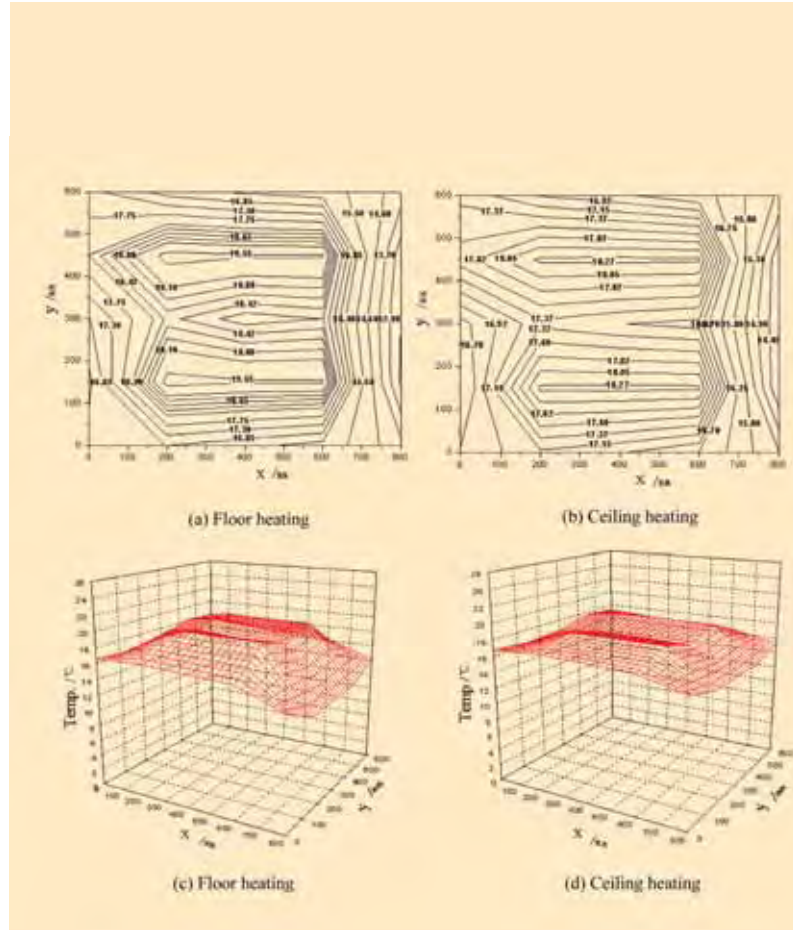
Omdat de buitentemperatuur nauwelijks beheerst is in de periode waarin de experimenten zijn uitgevoerd, zijn de experimentele condities van beide systemen niet gelijk aan elkaar. In het onderzoek dienen de meest vergelijkbare omstandigheden te worden geselecteerd. In tabel 1 is te zien dat, ondanks dat de gemiddelde buiten-

temperatuur bij het experiment met de plafondverwarming 3 °C hoger is geweest dan bij het experiment met de vloerverwarming, de gemiddelde binnenluchttemperatuur (18,45 °C) die wordt geleverd door het verwarmingssysteem nog steeds lager is. Bij toepassing van het vloerverwarmingssysteem is de gemiddelde binnenluchttemperatuur namelijk 19,02 °C. Hieruit blijkt dat de energietoever die wordt geleverd voor het vloerverwarmingssysteem kan worden verminderd om dezelfde binnenluchttemperatuur te behouden. Ook kan er worden gesteld dat het vloerverwarmingssysteem economischer is in het beheer. Gedurende de experimenten waren de gemeten waarden voor de temperaturen op de verticale wanden in principe gelijk aan elkaar. Dit geldt niet voor de rechter wand, op deze wand is de oppervlaktetemperatuur een stuk lager dan op de andere wanden. Deze resultaten geven aan dat de isolatie van de wanden erg belangrijk is voor een gelijke verdeling van oppervlaktetemperaturen. Daarnaast blijkt hieruit dat het raam de oppervlaktetemperatuur op de rechter wand verlaagt.

#### Temperatuurverdeling in de ruimte

De temperatuurverdeling van de binnenlucht is een belangrijke factor die invloed heeft op het thermisch comfort in een ruimte. In het belang van een geschikte vergelijking is de temperatuurverdeling in de testruimte uitgezet op de Z-as en op de dwarsdoorsnede daarvan.

Figuur 2 geeft de temperatuurverdeling weer langs de Z-as voor het vloeren en het plafondverwarmingssysteem. In figuur 2(a) en in figuur 2(c) is te zien dat bij het vloerverwarmingssysteem de gradiënt over de binnenluchttemperatuur in de omgeving van het oppervlak van het stralingspaneel het grootst is. Daarna is de gradiënt het grootst nabij het plafond. Tussen een hoogte van 50 mm en 450 mm is de gradiënt over de binnenlucht het laagst en kan deze als gelijkmatig worden beschouwd. Volgens de medische theorie voldoet de bovenstaande temperatuurverdeling aan de menselijke fysiologische behoeften in de praktijk. Er is een gelijkmatige verdeling van de warmte in de leefruimte. Dit betekent dat er in deze situatie geen koude voeten zullen worden ervaren en dat daar-



Temperatuur in de dwarsrichting.

- FIGUUR 3 -

door een hoger comfortniveau zal worden bereikt.

In figuur 2(b) en in figuur 2(d) is de temperatuurverdeling van het plafondverwarmingssysteem uitgezet langs de Z-as. Zoals in deze figuren kan worden gezien is bij het gebruik van plafondverwarmingssystemen de gradiënt over de luchttemperatuur in de omgeving van het plafondoppervlak groter dan op andere hoogten. Ook tussen een hoogte van 50 mm en 450 mm is deze gradiënt groot. Om deze reden is het plafondverwarmingssysteem niet zo goed als het vloerverwarmingssysteem kan voorzien in een comfortabelere verdeling van de luchttemperatuur voor gebruikers van de ruimte.

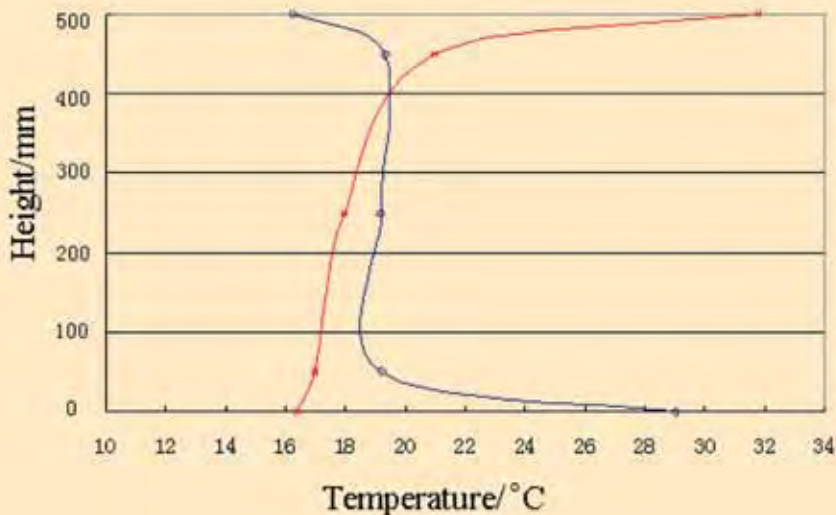
Figuur 3 geeft de temperatuurverdeling in de dwarsrichting op de Z-as weer voor het vloer- en het plafondverwarmingssysteem. In deze figuur is te zien dat er duidelijk twee verschillende gebieden ontstaan voor beide verwarmingssystemen, het bezette of centrale gebied en het gebied nabij de wanden. De temperatuur in de centrale ruimte is gelijkmatig verdeeld voor beide systemen, terwijl de temperatuur nabij de verticale wanden erg

varieert. Als gevolg van de invloed van de koude wanden is het temperatuurniveau nabij de wanden lager dan in de gebruikersruimte. In figuur 3(a) en in figuur 3(b) is te zien dat het temperatuurniveau van de lucht in het gebied nabij de linker wand duidelijk hoger en gelijkmatiger is dan in het gebied nabij de rechter wand. Aangezien de linker wand beter is geïsoleerd dan de rechter wand, zijn de isolatie van de wanden en het glazen raam belangrijke oorzaken voor de lage temperatuur die nabij de rechter wand wordt gevonden.

#### Gemiddelde temperatuur uitgezet in het coördinatenstelsel

De temperatuurverdeling van de binnenlucht, die uitgezet is op de Z-as, is een belangrijke factor die invloed heeft op het thermisch comfort van mensen. Figuur 4 laat de ontwikkeling zien van de gemiddelde temperatuur voor het vloer- en voor het plafondverwarmingssysteem. De waarden van de gemiddelde temperaturen in figuur 4 zijn berekend op basis van de data die zijn verkregen in elk X-Y vlak. Uit figuur 4 volgt dat er veel verschil is tussen de verdeling van de gemiddelde temperaturen van de twee verwarmingss-





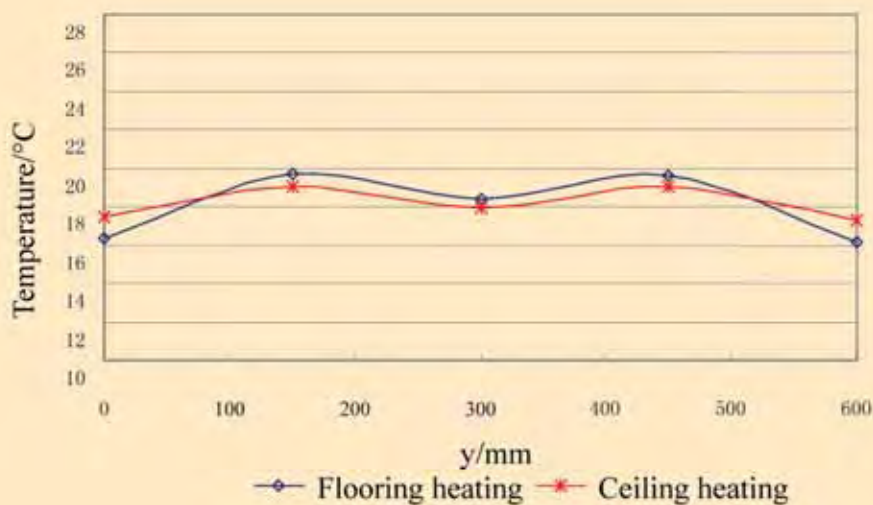
Temperatuurverdeling over de hoogte: ° voor de vloerverwarming; \* voor het plafondsysteem.

- FIGUUR 4 -

systemen. Bij toepassing van het vloerverwarmingssysteem is de temperatuur van het vloeroppervlak 29,04 °C. Dit is de hoogste waarde die in de Z-richting kan worden gevonden. De oppervlaktetemperatuur van het plafond is de laagste waarde (16,24 °C). Het maximale temperatuurverschil in de testruimte voor het vloerverwarmingssysteem bedraagt 12,8 °C. De temperatuurgradiënt is groot nabij de vloer en nabij het plafond en de gradiënt is 50 mm boven het vloeroppervlak groter dan 50 mm onder het plafondoppervlak. Er is erg weinig variatie in de temperatuur tussen een hoogte van 50 mm en een hoogte van 450 mm. Met andere woorden, de gemiddelde tem-

peratuur in het gebied van 50 mm tot 450 mm is uniform. Dit is voordelig voor de gebruikers van de ruimte.

Voor het plafondverwarmingssysteem doen de grotere gradiënten zich voor in het gebied tot 50 mm onder het plafondoppervlak. De waarden voor de gradiënten op andere hoogten liggen dicht bij elkaar. De temperatuur van het plafondoppervlak is het hoogst, met een waarde van 31,76 °C. De temperatuur van het vloeroppervlak is met een waarde van 16,35 °C het laagst. Het maximale temperatuurverschil in de testruimte bij toepassing van het plafondverwarmingssysteem bedraagt 15,41 °C, dit verschil is gro-



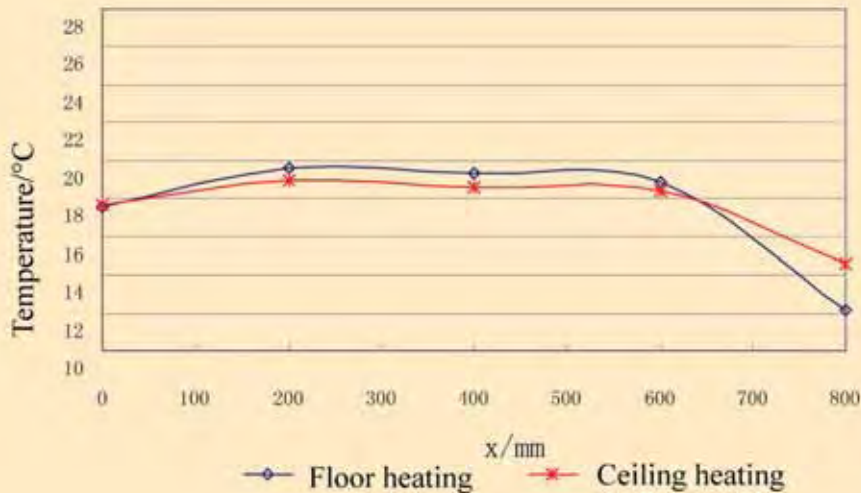
Temperatuurverdeling uitgezet langs de Y-as.

- FIGUUR 5 -

ter dan dat van het vloerverwarmingssysteem, waarbij voor dit verschil een waarde van 12,8 °C is gevonden. Hoewel de gradiënt in het gebied met een hoogte van 50 mm tot 450 mm voor het plafondverwarmingssysteem lager is dan boven een hoogte van 450 mm, kan er uit de bovenstaande analyse worden geconcludeerd dat de binnenlucht in dit gebied nog steeds een grote temperatuurgradiënt heeft. De resultaten van het experiment laten zien dat het verschil tussen de temperatuur van het hoofd en van de voeten van een persoon in deze ruimte de waarde van 3 °C overschrijdt [7]. Om deze reden is het thermisch comfort van een plafondverwarmingssysteem lager dan het thermisch comfort van een vloerverwarmingssysteem.

Bovendien neemt de temperatuur van het plafond tot de vloer af bij toepassing van een plafondverwarmingssysteem. Vergelijkbaar met de situatie waarin een gebruikelijke convectieve radiatorenverwarming wordt toegepast, is de temperatuurverdeling niet gelijkmatig van het plafond tot de vloer. De warme lucht die hierbij wordt verzameld aan de bovenkant van de ruimte leidt tot een toename van het warmteverlies in het gebied nabij het plafond en tot koude voeten, ofwel tot een afname van het comfort.

In figuur 5 zijn de waarden van de gemiddelde temperaturen uitgezet langs de Y-as. Alle temperaturen zijn berekend op basis van de data die zijn verkregen in elk X-Z vlak. In deze figuur is te zien dat het vlak van Y=300 mm een symmetrieas vormt in de verdeling van de binnenluchttemperatuur voor de twee verwarmingssystemen. Dit wordt veroorzaakt door de gelijke isolatie van de linker- en van de rechter wand. De oppervlaktetemperatuur van de verticale wanden is beduidend lager dan de luchttemperatuur. Ook volgt uit figuur 5 dat de oppervlaktetemperatuur van de wanden bij toepassing van het vloerverwarmingssysteem lager is dan bij toepassing van het plafondverwarmingssysteem. De reden hiervoor is dat de buitenluchttemperatuur (13,19 °C) hoger was bij uitvoering van het experiment met het plafondverwarmingssysteem. Bij het experiment met het vloerverwarmingssysteem bedroeg de buitenluchttemperatuur 10,39 °C. Dit



Temperatuurverdeling uitgezet langs de X-as.

- FIGUUR 6 -

geeft aan dat de buitenluchttemperatuur een grote invloed heeft op de ruimteluchttemperatuur. Veroorzaakt door het koude raam in de rechter wand, is de temperatuur beduidend lager wanneer  $Y=300$  mm dan wanneer  $Y=150$  mm of  $Y=450$  mm. Het temperatuurniveau is, wanneer de ruimte in gebruik is door mensen, hoger bij toepassing van vloerverwarming dan bij toepassing van plafondverwarming. Dit geeft aan dat het vloerverwarmingssysteem minder energie gebruikt om dezelfde luchttemperatuur te behouden.

In figuur 6 zijn de waarden van de gemiddelde temperaturen uitgezet langs de X-as. De temperaturen zijn berekend op basis van de data die zijn verkregen in elk Y-Z vlak. Zoals kan worden gezien, is bij beide systemen de oppervlaktetemperatuur van de verticale wanden nog steeds lager dan de binnenluchttemperatuur. De temperatuurverdeling is asymmetrisch als

gevolg van de invloed van het koude glazen raam in de rechter wand. Hoe kleiner de afstand tot het raam is, des te sterker is de invloed van het koude raam.

Bovendien is de oppervlaktetemperatuur van de linker wand voor beide systemen bijna identiek, terwijl de buitentemperatuur bij de twee experimenten niet gelijk was. Voor het vloerverwarmingssysteem is deze oppervlaktetemperatuur  $17,52$  °C, voor het plafondverwarmingssysteem is deze  $17,62$  °C.

In figuur 6 is te zien dat de invloed van een koud raam groter is op het vloerverwarmingssysteem dan op het plafondverwarmingssysteem. De oppervlaktetemperatuur is  $12,12$  °C bij toepassing van een vloerverwarmingssysteem en  $14,52$  °C wanneer een plafondverwarmingssysteem wordt toegepast. Het grote temperatuurverschil tussen de linker- en de rechter wand, met een maximum van meer dan  $5$  °C, dat bij beide systemen

wordt waargenomen, zal leiden tot luchtcirculatie in de ruimte. Deze luchtcirculatie zorgt voor de identieke temperaturen van de linker wand en vergroot de temperatuurverschillen op de rechter wand voor beide systemen.

De verdeling van de gebruikte energie In tabel 2 is de verdeling van het energiegebruik van het vloer- en van het plafondverwarmingssysteem weergegeven. Het is duidelijk dat de effectieve warmte die door het vloerverwarmingssysteem wordt overgebracht  $117,8$  W/m<sup>2</sup> bedraagt, dit neemt  $72,49$  % van de toegevoerde energie voor zijn rekening. De effectieve warmte wordt voornamelijk door convection en straling aan het vloeroppervlak overgebracht, beiden nemen een even groot deel hiervan in. Voor het plafondverwarmingssysteem bedraagt de effectieve warmte die wordt overgebracht door het stralingspaneel  $79,86$  W/m<sup>2</sup>. Dit neemt  $49,14$  % van de toegevoerde energie voor zijn rekening. Hieruit kan worden geconcludeerd dat de efficiency van het vloerverwarmingssysteem hoger is dan dat van het plafondverwarmingssysteem. Samenvattend, een vloerverwarmingssysteem kan een hogere binnenluchttemperatuur leveren. Daardoor is, als dezelfde binnenluchttemperatuur wordt behouden, het energiegebruik van een vloerverwarmingssysteem bij een gelijke buitentemperatuur lager dan dat van een plafondverwarmingssysteem. Voor het besparen van energie is het vloerverwarmingssysteem voordeliger.

## CONCLUSIES

1. Het temperatuurverschil tussen de vloer en het plafond is groter bij toepassing van plafondverwarmingssystemen dan bij toepassing van vloerverwarmingssystemen. De oppervlaktetemperatuur van de vloer bedraagt  $29,04$  °C wanneer een vloerverwarmingssysteem is toegepast. Dit betekent dat er geen sprake zal zijn van koude voeten en dat daardoor hogere comfortniveaus kunnen worden bereikt. Met dezelfde energietoever zal de luchttemperatuur bij het vloerverwarmingssysteem hoger zijn dan bij het plafondverwarmingssysteem. Dit betekent dat om dezelfde binnenluchttempe-

	Floor heating system	Ceiling heating system
Energy supply (W/m <sup>2</sup> )	162,5	162,5
Effective heat of the radiant panel (W/m <sup>2</sup> )	117,8	79,86
Total heat loss of the radiant panel (W/m <sup>2</sup> )	44,7	82,64
Percentage of effective heat	72,49%	49,14%
Percentage of the heat loss	27,51%	50,86%


Energiegebruik van het vloer- en het plafondverwarmingssysteem.

- TABEL 2 -

ratuur te behouden, de energietoevoer van het vloerverwarmingssysteem kan worden gereduceerd. Met andere woorden, het vloerverwarmingssysteem is economischer in het beheer.

2. Er is een gelijke verdeling van warmte in de leefruimte bij toepassing van een vloerverwarmingssysteem. Dit betekent een hoger comfortniveau, daar waar de temperatuurgradiënt voor het plafondverwarmingssysteem groot is. Er zijn duidelijk twee verschillende gebieden in de dwarsdoorsnede van de z-as bij toepassing van beide systemen. De temperatuurverdeling in het centrale gebied van de ruimte is bij de twee systemen gelijkmatig, terwijl de temperaturen nabij de verticale wanden sterk variëren door de invloed van de koude wanden.
3. Ramen in wanden hebben een grote invloed op zowel de verdeling van de binnenlucht, als op de oppervlaktetemperaturen van de verticale wanden. De invloed van een raam

op het vloerverwarmingssysteem is groter dan op het plafondverwarmingssysteem.

4. Het gedeelte van de energie dat effectief wordt gebruikt voor het vloerverwarmingssysteem is groter dan dat deel dat wordt gebruikt voor het plafondverwarmingssysteem. De efficiency van het vloerverwarmingssysteem is groter dan de efficiency van het plafondverwarmingssysteem. 

#### REFERENTIES

1. Roulet C.A., Rossy J.P., Roulet Y., *Using large radiant panels for indoor climate conditioning*, *Energy and Buildings*, 1999,30: 121-126.
2. Olesen B.W., *Possibilities and limitation of radiant floor cooling*, *ASHRAE Transactions*, 2004, 103 (103): 42-48.
3. Stanley A.M., *Ceiling panel cooling systems*, *ASHRAE Journal*, 2001, (11): 28-32.

4. Athienitis A.K., *Investigation of thermal performance of passive solar building with floor radiant heating*, *Solar Energy*, 1997, 61(5): 337-345.
5. Golbiowski J., Kowski S.K., *Dynamics of three-dimensional temperature field in electrical system of floor heating*, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2002,45: 2611-2622.
6. Miriel J., Serres L., Trombe A., *Radiant ceiling panel heating-cooling systems: experimental and simulated study of the performances, thermal comfort and energy consumptions* [J]. *Applied Thermal Engineering*, 2002, (22), 1861-1873.
7. Olesen B.W., Parsons K.C. *Introduction to thermal comfort standards and to the proposed new version of EN ISO 7730*[J]. *Energy and buildings*, 2002, (34):537-548.

## Rotronic HygroLogNT

**doorbraak in dataloggers voor vocht en temperatuur**



**maatwerk in meten**

**rotronic**

Rotronic HygroLog NT is dé combinatie van de beste vocht- en temperatuursensoren en het meest flexibele en krachtige datalogstelsel op de markt.

Met het beproefde HygroClip concept van Rotronic worden vocht en temperatuur zeer nauwkeurig gemeten ( $\pm 1\%$  RV en  $\pm 0.2\text{K}$ ).

De nieuwste generatie dataloggers van Rotronic voor het gehele HygroClip assortiment is de HygroLog NT, stand alone of in een netwerk.

- toepasbaar in o.a. OPC, ethernet en RS485 netwerken
- meerdere Hygroclips op 1 logger aan te sluiten
- met FDA CFR 21.11 en GAMP compliant software
- uit te breiden met Pt-100 ingangen, analoge ingangen of contactingangen

### HygroLog NT

**Dataloggen kan iedereen, vocht meten is een vak!**

Kijk op onze vernieuwde website [www.acin.nl](http://www.acin.nl) voor meer informatie of bel ons voor een offerte: 070 3070703

**acin instrumenten bv**



tel 070 3070703 | fax 070 3070938 | info@acin.nl | www.acin.nl

# Voor een professionele aanpak

Air Conditioning

Cooling



**HVAC**  
Nederland

Heating

Ventilation

**HVAC Nederland**

[www.hvac.nl](http://www.hvac.nl)      0255 52 24 20