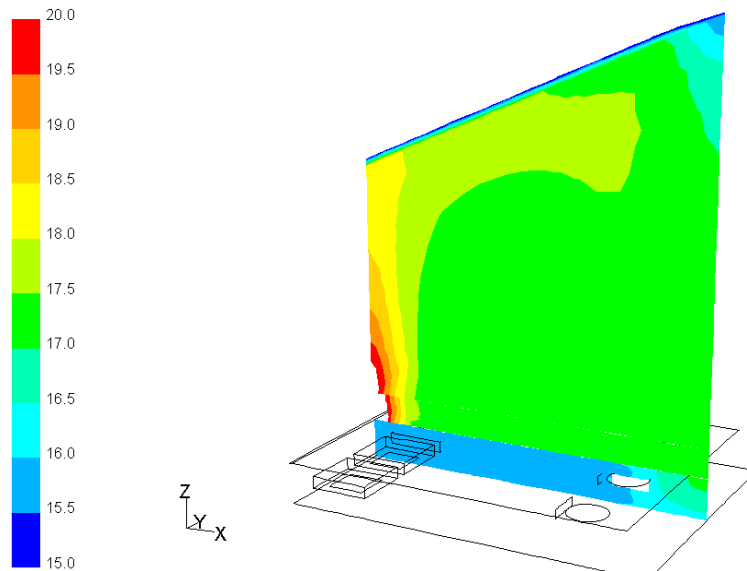


# Klimatisering van de Energieproducerende tuinbouwkas met FiWiHex warmtewisselaars

Vooronderzoek Energie produceerde kas



ir. J.B. Campen  
dr. ir. H.F. de Zwart

Report 407

Onderzoek in het kader van de Kas Als Energiebron

In opdracht van:



Title Klimatisering van de Energieproducerende tuinbouwkas met FiWiHex warmtewisselaars  
Vooronderzoek Energie produceerde kas  
Author(s) J.B. Campen, H.F. de Zwart  
A&F number 407  
ISBN-number ISBN 90-6754-912-6  
Date of publication April 2005  
Confidentiality nee  
Project code. 630 54014 01

Agrotechnology & Food Innovations B.V.  
P.O. Box 17  
NL-6700 AA Wageningen  
Tel: +31 (0)317 475 024  
E-mail: info.agrotechnologyandfood@wur.nl  
Internet: www.agrotechnologyandfood.wur.nl

© Agrotechnology & Food Innovations B.V.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand of openbaar gemaakt in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, hetzij mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever. De uitgever aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele fouten of onvolkomenheden.

*All right reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system of any nature, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying recording or otherwise, without the prior permission of the publisher. The publisher does not accept any liability for the inaccuracies in this report.*

This report is authorised by: J.C Bakker



The quality management system of Agrotechnology & Food Innovations B.V. is certified by SGS International Certification Services EESV according to ISO 9001:2000.

# Inhoud

<b>Inhoud</b>	<b>3</b>
<b>1 Inleiding</b>	<b>4</b>
<b>2 Ruwe capaciteitsberekeningen voor het gebruik van de FiWiHEX-warmtewisselaars voor de klimatisering van een potplantenkas</b>	<b>5</b>
2.1 Uitgangspunten	5
2.2 Verwarming	5
2.3 Koeling	6
2.4 Verwarmen en ontvochtigen	7
<b>3 CFD berekeningen aan horizontale en verticale tempertuurverdelingen</b>	<b>10</b>
3.1 Uitgangspunten	10
3.2 Resultaten	10
3.2.1 Verwarmen	10
3.2.2 Koelen	16
3.2.3 Verwarmen en ontvochtigen	18
3.3 Conclusie CFD berekeningen	18
<b>Bijlage I – Capaciteitsverlies door serie-karakter</b>	<b>20</b>

# 1 Inleiding

De stuurgroep “Kas als Energiebron” beoogt de realisatie van een pilot-project van een energieproducerende kas.

In de nieuw te bouwen potplantenkas van Hydro Huisman doet zich de gelegenheid voor om één van de opties die in dit kader perspectieven biedt te beproeven. Dit is een uitvoeringsvorm waarbij gebruik wordt gemaakt van de hoog-rendement FiWiHEX warmtewisselaars.

Verkennde onderzoeken en initiërend design hebben geleid tot een eerste configuratie waarbij  $7\frac{1}{2}$  FiWiHEX warmtewisselaars per repeterende oppervlakte-eenheid van  $32 \text{ m}^2$  worden gebruikt.

In dit rapport worden de perspectieven en begrenzings van dit design aangegeven. Dit wordt gedaan op grond van de meetresultaten die in oktober 2002 aan een prototype FiWiHEX zijn uitgevoerd. De eigenschappen die toen zijn gemeten worden doorvertaald naar de omstandigheden waaronder de apparaten in de praktijkkas zullen gaan werken.

Veel aandacht wordt besteed aan de te verwachten horizontale en verticale temperatuurprofielen die bij gebruik zullen ontstaan.

Tevens worden verwachtingen uitgesproken over de jaarrond-performance.

In hoofdstuk 2 wordt een grove aftasting gedaan om te beoordelen in hoeverre de gekozen configuratie een invulling kan geven aan de verwarmings- en de koelbehoefte.

In hoofdstuk 3 worden de resultaten van de berekeningen aan de temperatuurverdelingen in de kas gepresenteerd

In hoofdstuk 4 wordt ingegaan op de verwachte jaarrond resultaten

## **2 Ruwe capaciteitsberekeningen voor het gebruik van de FiWiHEX-warmtewisselaars voor de klimatisering van een potplantenkas**

### **2.1 Uitgangspunten**

De FiWiHEX warmtewisselaar wordt ingezet voor de klimatisering van een kas waarin tropische potplanten worden geteeld. De minimumtemperatuur die hierin wordt aangehouden is 17 °C. Dit wil zeggen dat er pas verwarmd wordt als de kasluchttemperatuur onder de 17 °C zakt.

Er wordt pas geventileerd als de kasluchttemperatuur meer dan 25 °C bedraagt.

Er wordt ook ontvochtigd, namelijk wanneer de RV in de kas boven de 90% uitkomt.

In alle berekeningen wordt uitgegaan van een repeterende engineering unit van 32 m<sup>2</sup> (6.4 x 5 m). In deze engineering unit worden 7½ FWX'en geplaatst, waarvan er 3 onder de tafels zijn geplaatst en een horizontale uitblaasmond hebben en 4½ onder de goot zijn geplaatst. Deze tweede serie heeft een uitblaas-opening naar boven.

De eerste 3 staan luchtzijdig als het ware in serie met de andere 4½ .

Indien er zowel moet worden verwarmd als ontvochtigd, dan worden de eerste 3 met koud water gevoed en wordt de compensatie van het voelbare warmteverlies en de verwarmingsbehoefte ingevuld met de tweede serie van 4½ units.

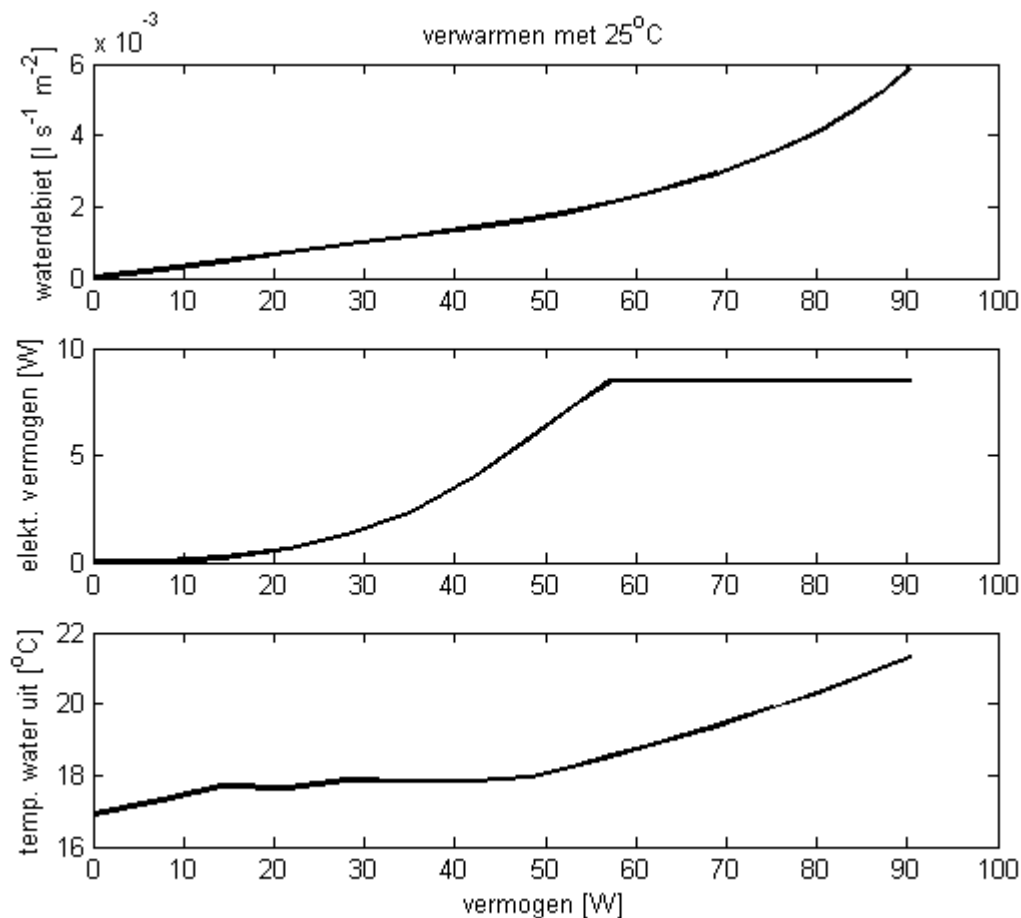
Tijdens het koelen zijn er dus 7½ FWX'en beschikbaar.

### **2.2 Verwarming**

Voor de CFD berekening is er vanuit gegaan dat de kas wordt uitgevoerd met een goed isolerend dek, bijvoorbeeld Lexan zig-zag. Bij een buitentemperatuur van -10 °C en een kasluchttemperatuur van 17 °C heeft de kas een verwarmingsbehoefte van 2.4 kW. Het warmteverlies van de kas is daarmee 2.8 W/(m<sup>2</sup> K)

Bij gebruik van 4½ FWX-en onder de goot betekent dit een vermogen van 530 W/FWX . oftewel 75 W/m<sup>2</sup>. Er worden 4½ FWX-en gebruikt voor de verwarming omdat de andere 3 FWH-en eventueel nodig zijn voor de ontvochtiging.

Volgens de prestatie-grafieken die in oktober 2002 gemaakt zijn (zie figuur 1) kunnen de FWX-en dit vermogen realiseren wanneer ze worden gevoed met water van 25 °C. Ze moeten dan worden doorstroomd met 1.6 liter per FWX per minuut en het uitstromende water is dan 20 °C. Bij de winters van de afgelopen jaren, waarbij er nauwelijks vorstdagen gemeten werden, zal voeding van de FWX-en met water van 25 °C voldoende zijn. De maximale verwarmingscapaciteit is dan zo'n 640 W/FWX, wat neerkomt op ruim 90 W/m<sup>2</sup>. Hiermee kan de kas ruim 20 °C warmer dan de buitenlucht worden gehouden. Een warmtepomp zal mogelijk nodig zijn om het water van 25°C te kunnen leveren.

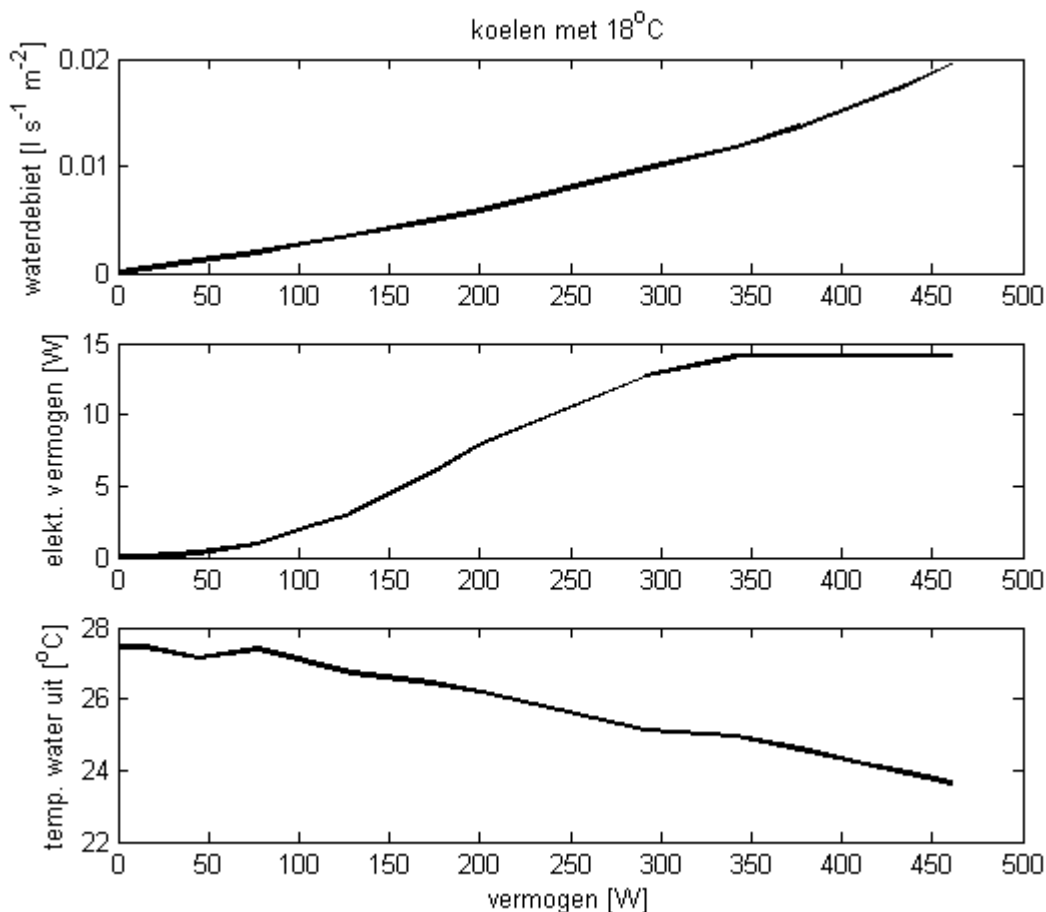


Figuur 1 Het benodigde waterdebiet door de FiWiHexen per m<sup>2</sup>, het elektriciteitsverbruik van de FiWiHexen per m<sup>2</sup>, en de temperatuur van het uitgaande water als functie van het vermogen voor de opwarming van de kas per m<sup>2</sup> kas oppervlak. De kas luchttemperatuur is gesteld op 17 °C, er worden 4½ FiWiHex gebruikt voor de verwarming van 32 m<sup>2</sup>.

### 2.3 Koeling

In de systeembeschrijving wordt uitgegaan van het gebruik van een schaduw scherm, waarmee de warmtelast in de kas beperkt wordt tot 400 W/m<sup>2</sup>, dus tot 12.8 kW in de engineering-unit. Concreet betekent dit dat de koelinstallatie onder Nederlandse omstandigheden 500 uur op maximale capaciteit zal draaien afgeleid uit de stralingssom in een representatief jaar. Wanneer deze koeling met 7½ FWX-en zou moeten worden gecoeld betekent dit 1700 W/FWX. Omdat koeling aan een koud oppervlak altijd gepaard gaat met ontvochtiging speelt bij de berekeningen van de koelcapaciteit ook de luchtvochtigheid een rol. Hoe hoger die is, hoe makkelijk een bepaald koelvermogen kan worden gerealiseerd. Daarom wordt in de kas een fogging installatie aangebracht. Op warme zomerse dagen, kan deze dan extra verdampingskoeling leveren door water te vernevelen wanneer de kaslucht RV door de beperkte verdampingscapaciteit van het gewas onder de 85 % RV zou zakken.

Vanwege de aanwezigheid van deze fogging-installatie kan in de grafiek de lijn die geldt voor 85% RV worden gevolgd. Het blijkt dan dat bij een ingaande koelwatertemperatuur van 18 °C het benodigde maximale koelvermogen gemakkelijk kan worden gerealiseerd. De waterdoorstroming is in die omstandigheden 3.8 liter per FWX per minuut en de uittredende watertemperatuur is 24.2 °C.



**Figuur 2** Het benodigde waterdebiet door de FiWiHexen per m<sup>2</sup>, het elektriciteitsverbruik van de FiWiHexen per m<sup>2</sup>, en de temperatuur van het uitgaande water als functie van het vermogen voor de opwarming van de kas per m<sup>2</sup> kas oppervlak. De kas luchttemperatuur is gesteld op 25 °C, er worden 7½ FiWihex gebruikt voor de koeling van 32 m<sup>2</sup>.

Voor bovenstaande berekening is rekening gehouden met het serie-karakter van het gebruik van de FWX-en bij koeling. De koelcapaciteit is 10% lager dan bij een parallelle schakeling.

## 2.4 Verwarmen en ontvochtigen

Indien een kas volledig gesloten moet blijven dan zal er vaak ontvochtigd moeten worden op momenten dat er tevens een warmtebehoefte is. Dit betekent dat er op die momenten een

kasluchttemperatuur van ongeveer 17 °C heerst en de luchtvochtigheid iets boven de 90% is. De dauwpunttemperatuur in die conditie is 15.3 °C.

De ingaande watertemperatuur moet dus onder de 15.3 graden liggen om tenminste enige ontvochtiging te realiseren. Vanwege het feit dat er in de warmtewisselaar een gradiënt zal ontstaan waarin de temperatuur van het warmtewisselend oppervlak zal verlopen van de ingaande watertemperatuur naar een temperatuur in de buurt van de luchttemperatuur, zal het duidelijk zijn dat slechts een deel van het oppervlak ontvochtigt. Het andere deel is op een temperatuur die boven de dauwpunttemperatuur ligt. Dit tweede deel zal alleen koelen en niet ontvochtigen. Naarmate het water dat voor de ontvochtiging wordt gebruikt kouder is zal het deel van de warmtewisselaar dat alleen voelbare warmte opneemt, en niet bijdraagt aan de ontvochtiging, relatief kleiner worden. Dit is duidelijk te zien in onderstaande tabel, waar de fractie latent die bij de ontvochtiging optreedt toeneemt (en dus gunstiger wordt) bij een afnemende temperatuur van het water waarmee ontvochtigd wordt.

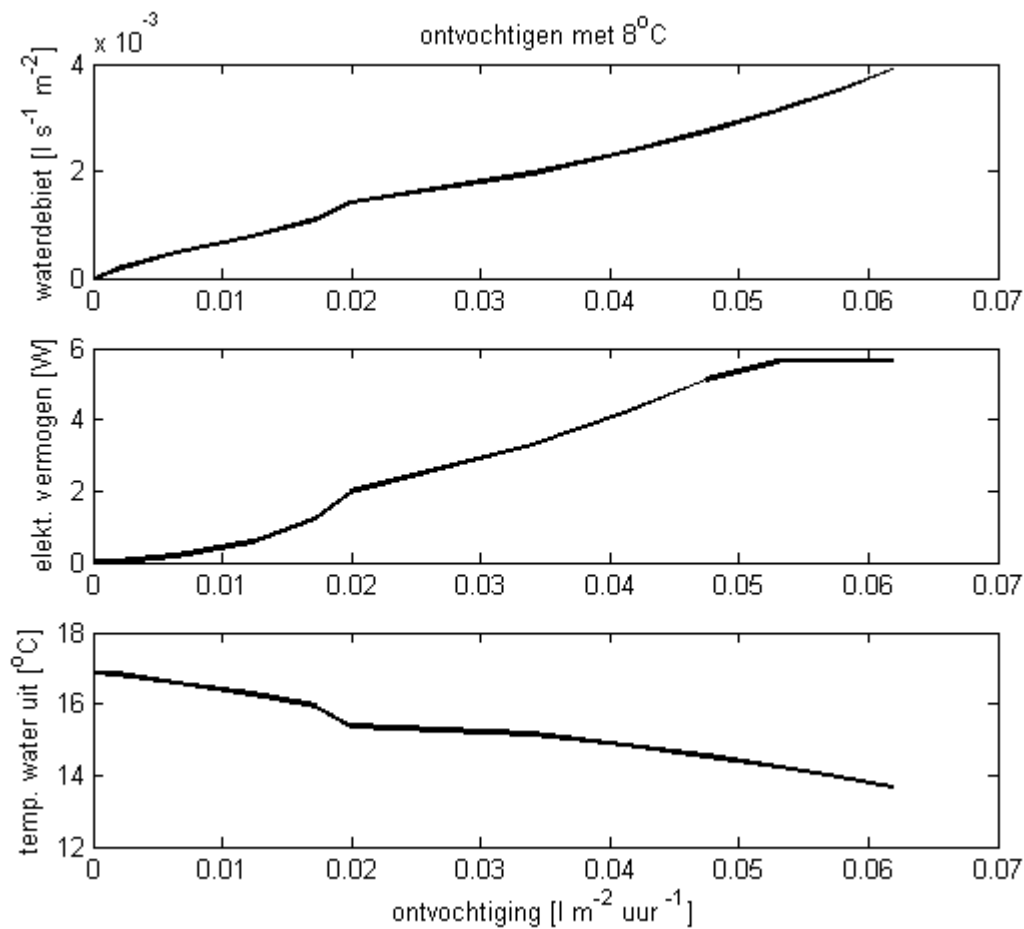
Tabel 1 Effect van de temperatuur van het water ( $T_o$ ) dat voor de ontvochtiging wordt gebruikt op een aantal performancekenmerken (ontvochtiging in  $l\ m^{-2}$ ; hoeveelheid water door de FiWiHex per jaar  $\phi_{FiWiHex}$ ; temperatuur van het uitgaande water uit  $T_{uit}$ ; ventilatorvermogen per jaar  $P_{vent}$ ; vermogen aan de lucht onttrokken  $P_{koeling}$  in een jaar; jaarlijkse voelbare warmte onttrokken aan de lucht  $P_{voelbaar}$ ; latente deel van het totaal onttrokken vermogen). Er is gerekend met 3 FiWiHEX-en per 30  $m^2$  kasoppervlak die voor expliciet ontvochtigen worden gebruikt.

$T_o$ [°C]	$\phi_{vocht}$ [l]	$\phi_{FiWiHex}$ [ $m^3$ /jaar]	$T_{uit}$ [°C]	$P_{vent}$ [kWh]	$P_{koeling}$ [MJ]	$P_{voelbaar}$ [MJ]	%latent
12	49	33	15.1	14.5	428	305	29
11	58	25	15.1	10.7	449	305	32
10	61	21	15.1	8.1	454	302	34
9	62	17	15.3	6.2	443	289	35
8	62	14	15.4	4.5	440	285	35
7	62	12	15.5	3.4	416	261	37

De conclusie uit de tabel is dat het ontvochtigingsproces gunstiger verloopt naarmate het water dat daarvoor gebruikt wordt kouder is.

Vanwege het gunstige effect van koud water op de beperking van de hoeveelheid water die rondgepompt moet worden lijkt het verstandig om voor de ontvochtiging water met een temperatuur in de orde van 8 °C te gebruiken. Waarschijnlijk zal een warmtepomp hiervoor ingezet moeten worden.





**Figuur 3** Het benodigde waterdebiet door de FiWiHexen per m<sup>2</sup>, het elektriciteitsverbruik van de FiWiHexen per m<sup>2</sup>, en de temperatuur van het uitgaande water als functie van de ontvochtiging van de kas per m<sup>2</sup> kas oppervlak per uur. De kas luchttemperatuur is gesteld op 17 °C, er worden 3 FiWiHex gebruikt voor de ontvochtiging van 32 m<sup>2</sup>.

### **3 CFD berekeningen aan horizontale en verticale tempertuurverdelingen**

#### **3.1 Uitgangspunten**

De CFD berekeningen laten de temperatuurverdeling in de kas zien voor drie condities:

- (1) verwarmen van de kas;
- (2) verwarmen en ontvochtigen van de kas;
- (3) koelen van de kas.

Hierbij berekent het CFD model de ingaande luchttemperaturen van de FiwiHexen. De prestaties van de FWX-en en de daarbij behorende uitgaande luchttemperatuur en -vochtigheid zijn berekend met het model dat in het vorige hoofdstuk is gebruikt.

De warmtegeleiding van het geïsoleerde dak wordt  $6 \text{ W/m}^2\text{K}$  verondersteld.

Te bekijken situaties:

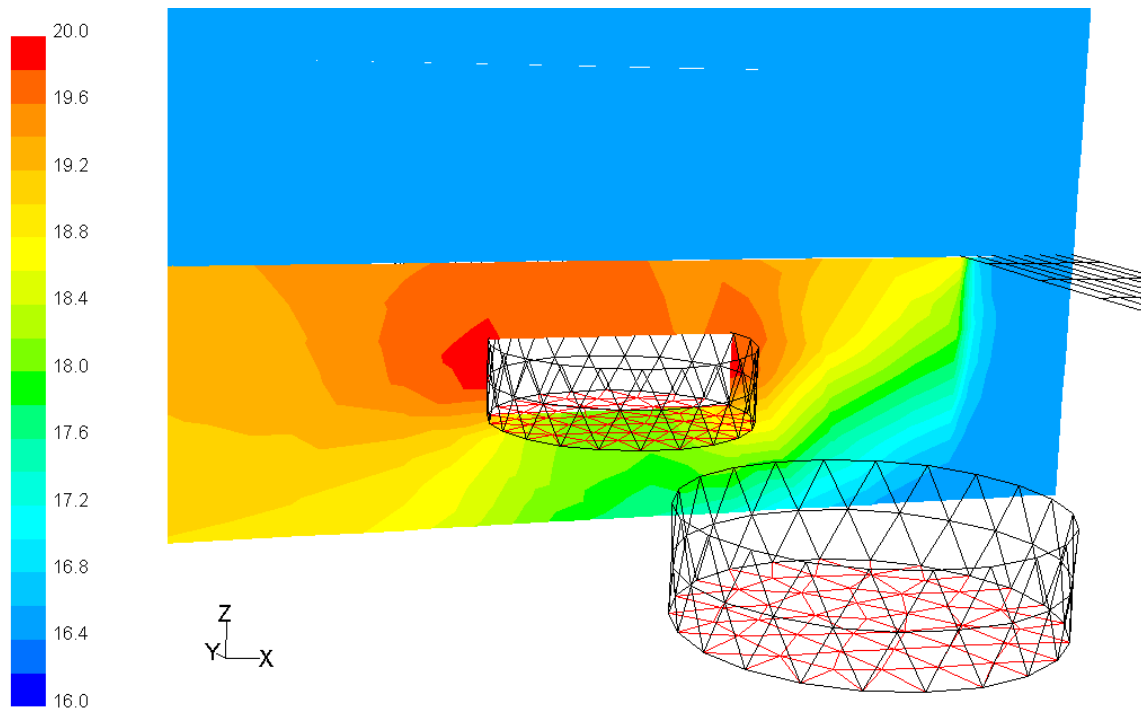
1. Verwarmen van de kas. Kastemperatuur is  $17^\circ\text{C}$ . Temperatuur van de lucht uit de FiwiHex is  $24^\circ\text{C}$ . De hoeveelheid lucht per fiwiHex wordt gelijk verondersteld, omdat dit energetisch het voordeligste is. Het benodigde hoeveelheid waterdebiet wordt bepaald door de warmteverliezen van de kas en het temperatuurverschil van het water ( $25-18^\circ\text{C}$ ). De buitentemperatuur wordt  $-15^\circ\text{C}$  en de hemeltemperatuur  $-25^\circ\text{C}$ . De warmteoverdracht aan de buitenzijde van de kas is  $10 \text{ W/m}^2\text{K}$  verondersteld. De hoeveelheid lucht door de FiwiHexen wordt zo ingesteld dat de temperatuur in de kas  $17^\circ\text{C}$  wordt.
2. Koeling van de kas. De kasluchttemperatuur is gemiddeld  $25^\circ\text{C}$ . De temperatuur van de lucht die naar de FiwiHexen stroomt ligt boven de  $27^\circ\text{C}$ . Lucht die uit de FiwiHex komt is ongeveer  $13^\circ\text{C}$ .
3. Verwarmen en ontvochtigen. De buitentemperatuur is  $10^\circ\text{C}$  en de hemeltemperatuur  $-5^\circ\text{C}$ .

Voor de CFD berekeningen is naar een repeterende sectie in de kas gekeken van 6.40 bij 5 meter. De goothoogte is 5.66 m. Het gewas met een hoogte van 50 cm beïnvloedt de stroming. De verdamping en warmteoverdracht van het gewas naar de lucht t.g.v. de zonneinstraling wordt ook meegenomen.

#### **3.2 Resultaten**

##### *3.2.1 Verwarmen*

De warmteoverdracht naar de omgeving is ongeveer  $75 \text{ W/m}^2$  voor deze situatie.

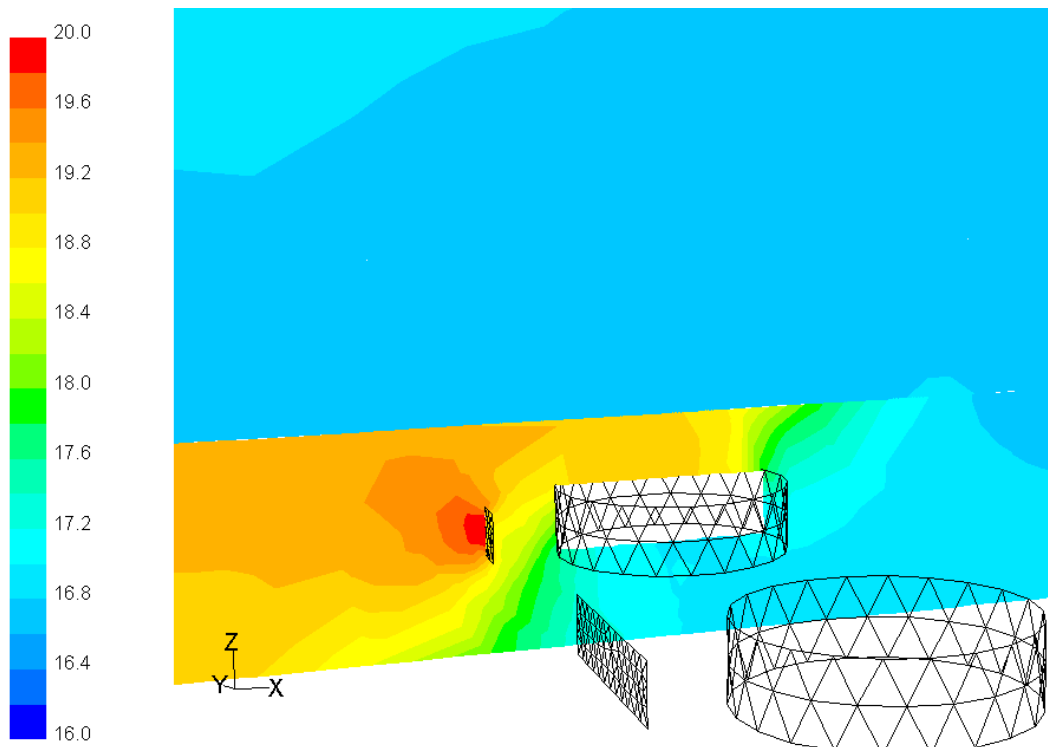


**Figuur 4** Temperatuurprofiel rond de ronde fiwihex

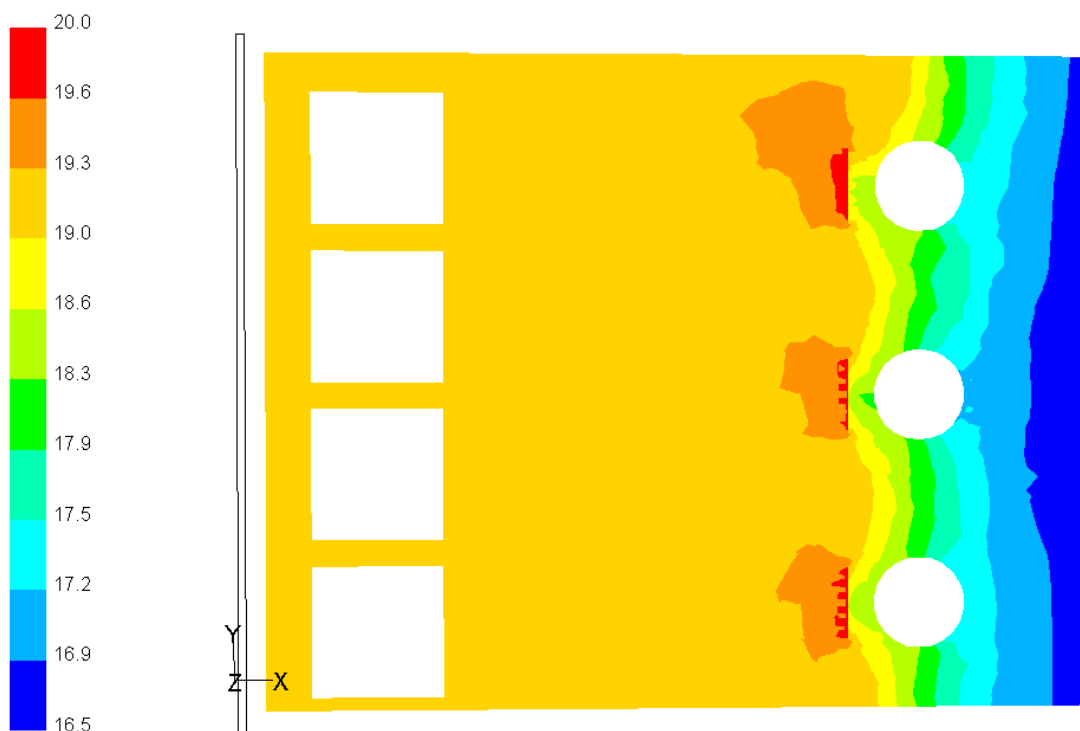
Zoals in Figuur 4 is te zien wordt een deel van de uitgeblazen lucht weer aangezogen. De temperatuur van de lucht die uit de kas komt is 16.6°C terwijl de ingaande lucht van de Fiwihex 18.4°C is. Deze kortsluiting kost energie en kan daarom beter worden voorkomen.



**Figuur 5** Aanzicht van onder de tafel: blauw is de inlaat van de fiwihex en rood is de uitblaas  
Om deze situatie te voorkomen moet de lucht uit de 3 Fiwihexen richting de 4 Fiwihexen worden geblazen. Deze situatie is in Figuur 5 weergegeven. In de praktijk zal een omhulling rond de Fiwihexen gemaakt moeten worden met een opening richting de andere Fiwihexen in de figuur aangegeven met 3 rode vlakken.

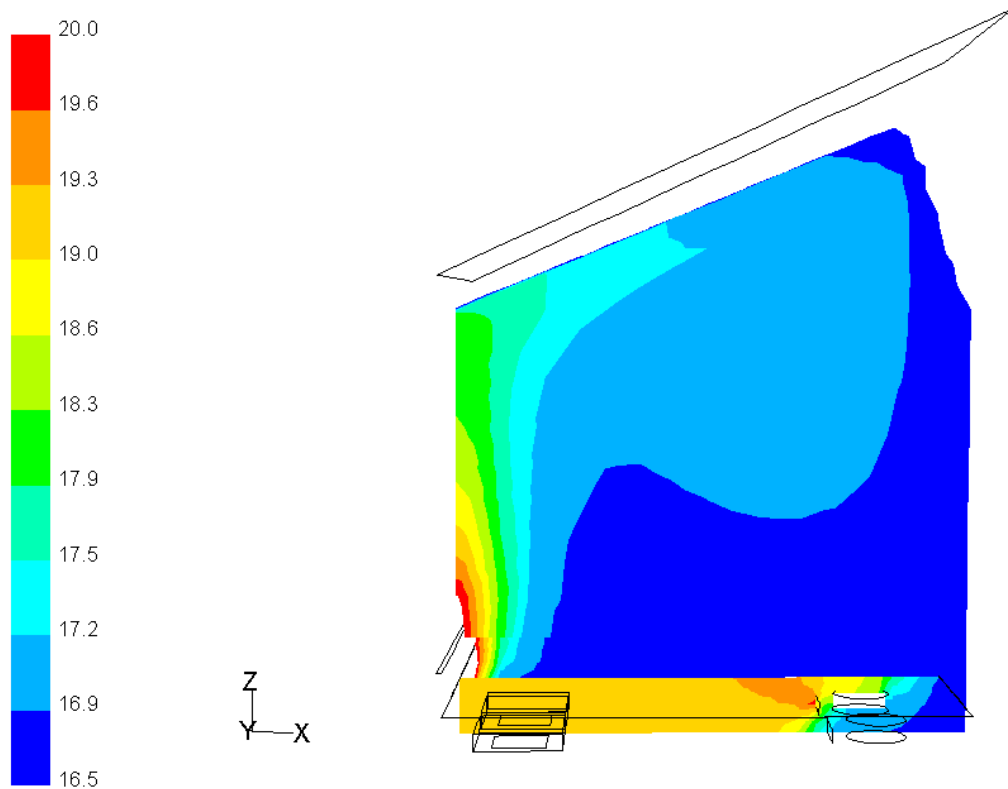


**Figuur 6**      Temperatuurverdeling indien een aparte uitblaasopening wordt gemaakt



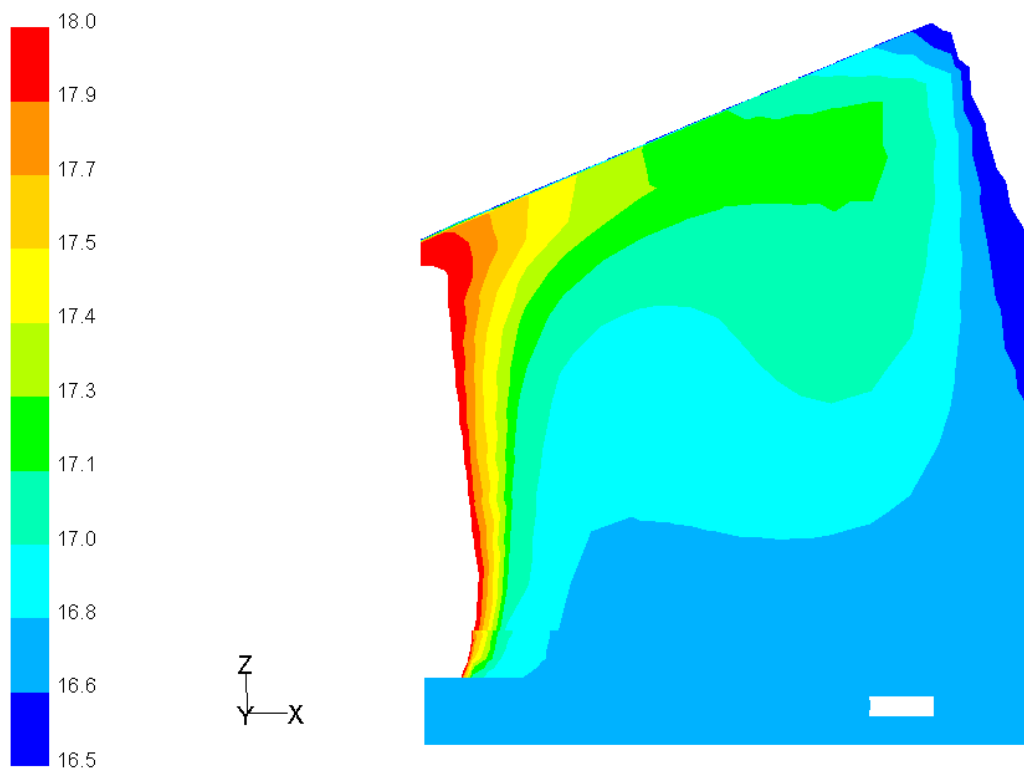
**Figuur 7**      Temperatuurverdeling in het vlak op een hoogte van 40 cm

De lucht die onder de tafels komt heeft een temperatuur van 16.7°C. De temperatuur van de lucht die uiteindelijk in de Fiwihex met omhulling stroomt is 17.2°C. Er is dus toch nog sprake van een recirculatie van lucht zij het minder. Per Fiwihex wordt 238 m<sup>3</sup>/h lucht verplaatst. Dit is voldoende om de temperatuur in de kas op ongeveer 17°C te houden.



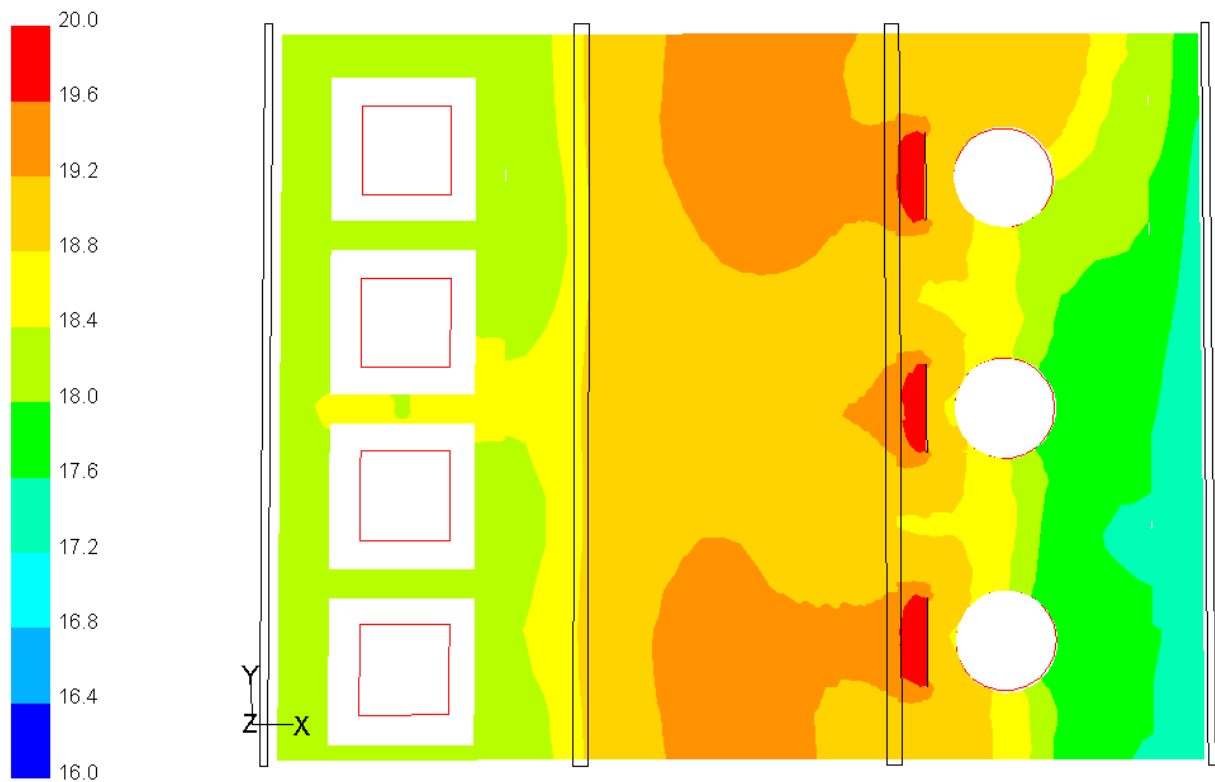
**Figuur 8**      Temperatuurverdeling in de kas tijdens verwarmen

Er is alleen een grote temperatuurgradiënt nabij de spleet waar de lucht uit de FWH-en stroomt. Over een groot deel van de tafel is de gradiënt kleiner dan 0.5K.

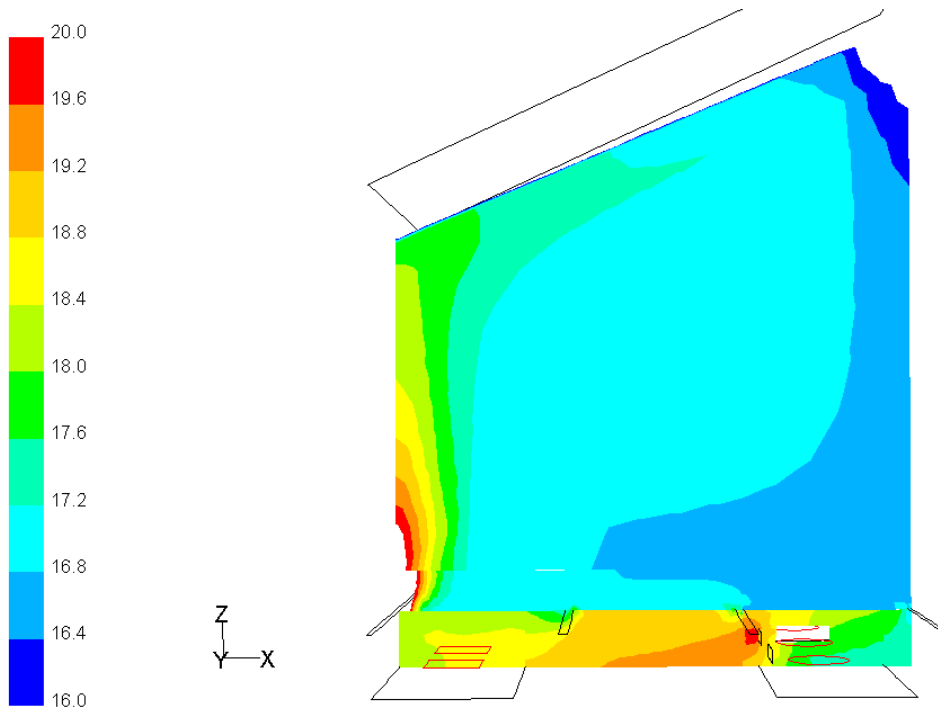


**Figuur 9**      Temperatuurverdeling indien alleen de vier Fiwihexen voor de verwarming worden gebruikt

Indien de tafels niet tegen elkaar worden geplaatst maar er een ruimte tussen de tafels blijft van 10 cm, wordt de temperatuurverdeling zoals in onderstaande figuur weergegeven.

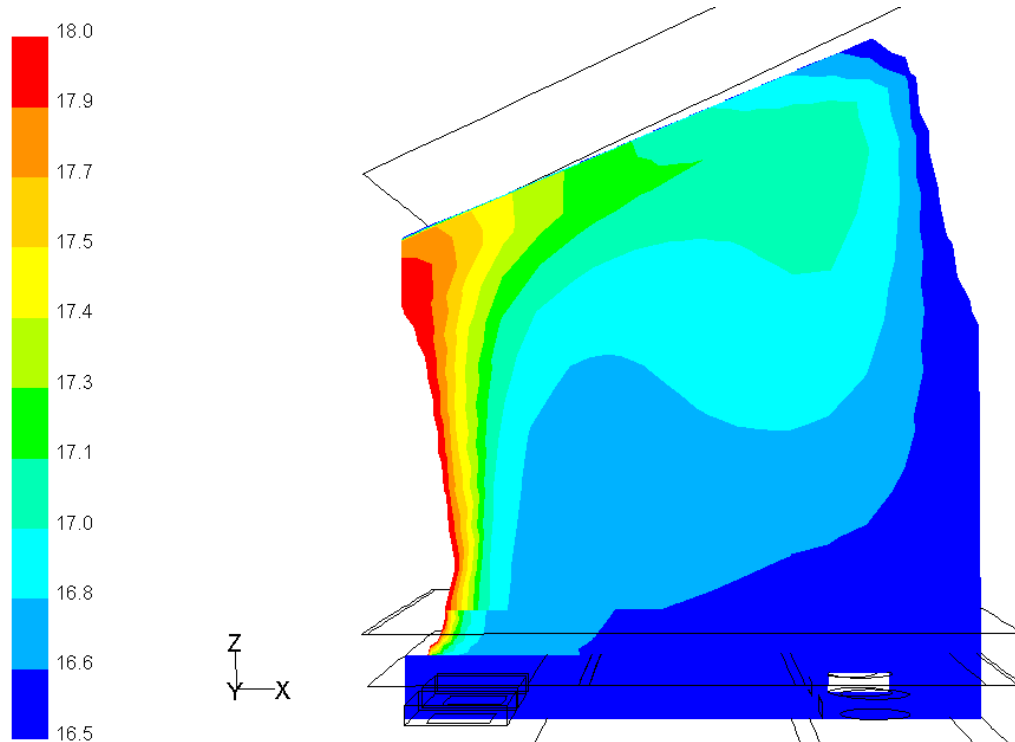


**Figuur 10** Temperatuurverdeling in het horizontale vlak onder de tafels als er 10 cm brede spleten tussen de tafels zitten



**Figuur 11** Temperatuurverdeling in de kas waarbij er zich spleten tussen de tafels zitten.

De luchttemperatuur van de 3 Fiwihexen is gemiddeld 18.1°C, in de vier Fiwihexen is 18.4°C. Er is in dit geval dus sprake van meer recirculatie. Spleten tussen de tafels verdient daarom geen aanbeveling.



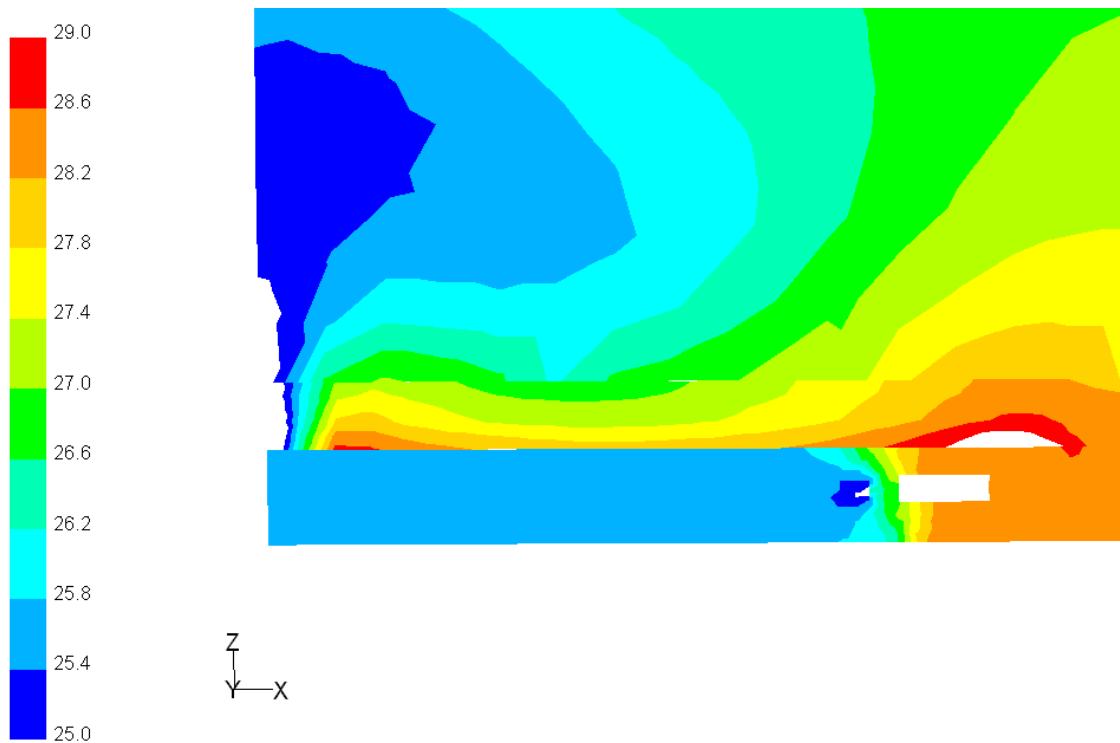
**Figuur 12** Temperatuurverdeling indien alleen de vier Fiwihexen worden gebruikt en er spleten tussen de tafels zitten

Als alleen de 4 Fiwihexen worden ingezet met spleten tussen de tafels wordt het temperatuurprofiel zoals in Figuur 12. De ingaande temperatuur van de Fiwihex is in dit geval 16.6°C. Deze toepassing geeft eenzelfde gradiënt over de tafel als in de situatie waar er geen spleten zijn. Indien maar 4 Fiwihexen worden gebruikt voor de verwarming is het mogelijk spleten tussen de tafels te houden echter één opening onder de nok geeft een betere verdeling aangezien kortsluiting wordt voorkomen.

### 3.2.2 Koelen

In het gewas wordt  $200 \text{ W m}^{-2}$  aan voelbare warmte aan de lucht afgegeven en  $200 \text{ W m}^{-2}$  aan latente warmte in de vorm van waterdamp.





**Figuur 13** Temperatuurverdeling op basis van onderstaande gegevens

Tlu: 22.9 (296.1 K)  
 RVu: 87.7  
 Xu: 15.3

Twu: 21.4      Debiet: 3.0 l/min  
 Twi: 15.0

Tli: 25.7  
 RVi: 79.7  
 Vermogen: 1341 W (47% latent)  
 Alpha: 220 W/K

Tlu: 24.6 (297.7 K)  
 RVu: 84.1  
 Xu: 16.2

Twu: 22.6      Debiet: 3.0 l/min  
 Twi: 15.0

Tli: 28.0  
 RVi: 74.1  
 Vermogen: 1588 W (45% latent)  
 Alpha: 212 W/K

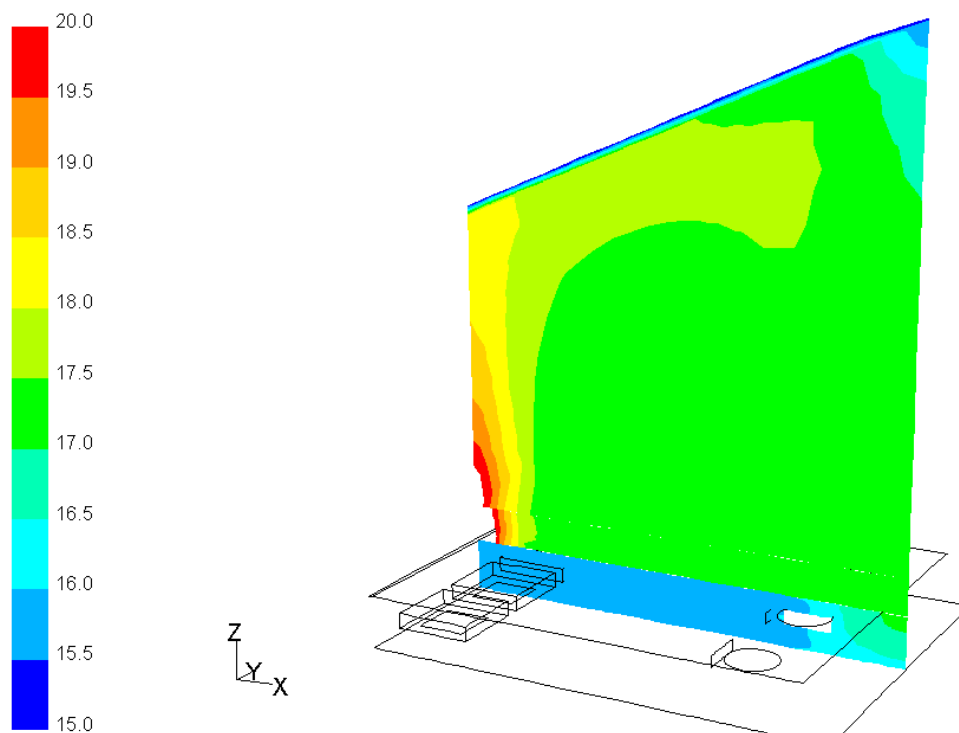
Totaal vermogen: 10.13 kW  
 Totaal waterdebiet: 1.26 m<sup>3</sup>/uur van 15.0 oC naar 21.9 oC  
 Totale ontvochtiging: 7.88 liter/uur (dat is 246 (gram/m<sup>2</sup>/uur))

De recirculatie is in dit geval gering. De lucht die onder de tafel stroomt heeft een temperatuur van 28.5°C terwijl de lucht die de FiwiHex instroomt 28.1°C is. In het gewas ontstaat voor deze situatie een temperatuur gradiënt van ongeveer 3 graden.

### 3.2.3 Verwarmen en ontvochtigen

Gelijktijdig ontvochtigen en verwarmen komt gebeurd voornamelijk in de nacht. Op basis van KASPRO berekeningen is bepaald dat de warmteafvoer tijdens ontvochtiging ongeveer 30 W/m<sup>2</sup> is. Deze warmteafvoer wordt gerealiseerd met 3 FiwiHexen die de lucht terugkoelen van 17°C naar 15.5°C. In totaal wordt er daardoor 0.53 m<sup>3</sup>/s lucht door de FiwiHexen verplaatst. De vier FiwiHexen verwarmen de lucht vervolgens naar 24°C.

Het warmteverlies van de kas is 51 W m<sup>-2</sup> ( $T_{\text{buiten}}=0^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{\text{hemel}}=-15^{\circ}\text{C}$ ).



Figuur 14 Temperatuurverdeling bij ontvochtigen en verwarmen.

De temperatuur bij het gewas is overal in de range van 17.0 tot 17.5°C alleen bij de uitstroom van de FiwiHex is de temperatuur hoger. De temperatuur van de lucht die door de FiwiHexen onder de tafel wordt gezogen is 17.5°C, terwijl de temperatuur van de lucht die in de 3 FiwiHexen wordt gezogen 16.0°C is. Hier is dus sprake van recirculatie wat ook al in de temperatuurverdeling te zien is. De recirculatie ontstaat omdat de drie FiwiHexen voor de ontvochtiging meer lucht verplaatsen dan de 4 FiwiHexen voor de verwarming.

### 3.3 Conclusie CFD berekeningen

De hoofdconclusie van de CFD-berekeningen is dat de horizontale variabiliteit van de temperaturen op gewasniveau erg beperkt is indien de FWH-en worden gebruikt voor de

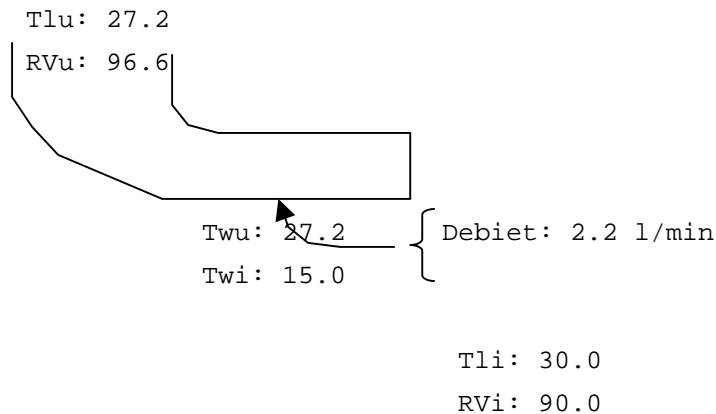
verwarming van de lucht. Voor het geval dat de kas gekoeld wordt middels de FWH-en ontstaat over de tafel een gradiënt van ongeveer 3 K door de opwarming van de lucht.

Recirculatie moet worden voorkomen omdat het rendement van de FiwiHexen hierdoor afneemt. Het temperatuurverschil tussen de in- en uitgaande lucht wordt kleiner waardoor ook het temperatuurverschil van het in- en uitgaande water kleiner wordt. Daarnaast is er meer ventilator energie nodig voor de verplaatsing van de lucht. Recirculatie kan alleen ontstaan bij de 3 FWH-en onder de tafel. Maatregelen om dit te voorkomen zijn:

- De drie FWX-en die onder de tafel staan (bedoeld voor ontvochtiging en als ondersteuning bij de koeling) moeten worden voorzien van een uitblaas-opening. De uitblaas-opening wordt zo geplaatst dat de dat de lucht uit de eerste 3 FWX-en in de richting van de FiwiHexen onder de goot wordt gestuurd. Deze laatste zullen vervolgens de lucht weer in de kas brengen.
- De FWH-en onder de goot moeten altijd een gelijke hoeveelheid of meer lucht verplaatsen dan de FWH-en onder de tafel. In het geval van verwarmen en ontvochtigen zal middels variatie van de aanvoertemperatuur van het koude of het warme water het benodigde luchtdebiet worden bereikt. Indien bijvoorbeeld de minimale aanvoer temperatuur van het water t.b.v. de ontvochtiging 13°C is dan zal bij een grote ontvochtigingsbehoefte het luchtdebiet door de 3FWH-en groot zijn. Dit hoge debiet zal ook door de FWH-en onder de goot moeten worden verplaatst. Om een hoge temperatuur in de kas te voorkomen zal de aanvoertemperatuur van de 4FWH-en omlaag moeten. Indien de aanvoertemperatuur van de verwarming de beperkende factor is zal de aanvoertemperatuur van het koude water worden geregeld.
- Indien de 3 FWH-en onder de tafel worden gebruikt moeten de tafels zeker tegen elkaar staan. Maar in alle gevallen is het beter de tafels tegen elkaar te houden om kortsluiting van lucht over de FiWiHexen te voorkomen.

## Bijlage I – Capaciteitsverlies door serie-karakter

Bij een kasluchttemperatuur van 30 °C, een watertemperatuur van 15 °C, een maximale luchtdoorstroming (0.250 kg/s) en een RV van 90% kan er met het steeds gebruikte FiWiHex-modelletje (getest met de eerste serie metingen in de klimaatcel, oktober 2002) de onderstaande situatie worden uitgerekend.



Vermogen: 1871 W

Totaal vermogen van 7 FWX: 13.1 kW

Opvallend aan het plaatje is dat het water behoorlijk opwarmt (tot 3 °C onder de ingaande luchttemperatuur, maar dat de uitgeblazen lucht niet zoveel is afgekoeld. De RV van de uitgeblazen lucht is wel behoorlijk opgelopen. Totaal wordt er dan 13.9 l/uur ontvochtigd, dit komt neer op 0.43 l/m<sup>2</sup> uur wat meer is dan de plant kan verdampen dus moet er worden bevochtigd.

Wanneer echter gezegd wordt dat 7 maal 1800 voldoende koelvermogen oplevert wordt echter voorbij gegaan aan het feit dat de geschetste opstelling een serie karakter heeft.

De ingaande luchttemperatuur voor de 4 FWX-en is namelijk geen 30 °C, maar 28.0 °C. Bij perfecte menging onder de tafel is namelijk  $\frac{3}{4}$  van de lucht al door een FWX heen geweest. Onderstaande figuur geeft een indruk van het effect van de serie-schakeling

Tlu: 25.7 (298.9 K)  
RVu: 99.4  
Xu: 20.7

Twu: 26.0      Debiet: 2.2 l/min  
Twi: 15.0

Tli: 28.0  
RVi: 94.9

Vermogen: 1694 W (66% latent)  
Alpha: 267 W/K

Tlu: 27.3 (300.4 K)  
RVu: 96.5  
Xu: 22.1

Twu: 27.3      Debiet: 2.2 l/min  
Twi: 15.0

Tli: 30.0  
RVi: 90.0

Vermogen: 1895 W (64% latent)  
Alpha: 253 W/K

Totaal vermogen: 12.46 kW  
Totaal waterdebiet: 0.92 m<sup>3</sup>/uur van 15.0 oC naar 26.6 oC  
Totale ontvochtiging: 11.93 liter/uur (dat is 373 (gram/m<sup>2</sup>/uur))

De figuur laat zien dat het vermogen in deze situatie iets te weinig is ( $4 \cdot 1694 + 3 \cdot 1895$  is 12.46 kW) terwijl in de parallel situatie met hetzelfde waterdebiet 13.10 kW koelvermogen opleverde ( $7 \cdot 1871$ ).

Het serie-karakter maakt dat voor het verkrijgen van een zekere koelcapaciteit ongeveer 10% meer water door de FWX-en moet worden geleid dan voor de parallel-situatie. De opwarming van het water is navenant 10% kleiner.