



# FormClimate Aircokas (FCA)

Verslag van een ontwikkelingstraject van een apparaat voor buitenluchttoevoer en kasluchtcirculatie bij Het Nieuwe Telen

P.A. van Weel, Wageningen UR Glastuinbouw, Bleiswijk  
A. Kouwenhoven en R. Troost, Formflex, Wateringen  
J.O. Voogt, Hoogendoorn Growth Management/ LetsGrow.com, Vlaardingen



### **Referaat**

Het Nieuwe Telen vraagt om een goedkope, energiezuinige en betrouwbare warmtewisselaar waarmee buitenlucht aan de gevel kan worden opgewarmd tot kasluchttemperatuur. Een dergelijk systeem is in samenwerking met Formflex en Hoogendoorn Growth Management ontwikkeld en getest. De prestaties van een volledig uit kunststof bestaand systeem, de Formclimate Aircokas (FCA), bleek ruimschoots aan de vooraf opgestelde eisen te voldoen. Ook voor koeling van gesloten kassen of voor toepassing van lage temperatuur warmtebronnen, zoals aardwarmte of warmtepompen, is dit systeem zeer geschikt.

### **Abstract**

Plant production in semi-closed greenhouses requires a low-cost, energy-efficient and reliable heat exchanger that will warm up outside air to greenhouse temperature as a method to reduce ventilation via insulation screens and ventilation windows. A new concept of a full plastic heat exchanger was developed by Formflex and Hoogendoorn Growth Management and tested. The Formclimate Aircokas heat exchanger (FCA) performed very well and can be used for other purposes as well, such as cooling of closed greenhouses and the use of low-temperature heat sources like geothermal or heatpumps.

© 2012 Wageningen, Wageningen UR Glastuinbouw

## **Wageningen UR Glastuinbouw**

Adres : Violierenweg 1  
: Postbus 20, 2665 ZG Bleiswijk  
Tel. : 0317 - 48 56 81  
Fax : 010 - 52 25 193  
E-mail : [glastuinbouw@wur.nl](mailto:glastuinbouw@wur.nl)  
Internet : [www.glastuinbouw.wur.nl](http://www.glastuinbouw.wur.nl)

# Inhoudsopgave

|   |  |    |
|---|--|----|
|   | Samenvatting                                       | 5  |
| 1 | Inleiding  | 7  |
| 2 | Uitgangspunten voor de FCA                         | 9  |
| 3 | Prototype 1  | 13 |
|   | 3.0.1    Beoordeling als vervanger van LBK's       | 14 |
|   | 3.0.2    Beoordeling als opwarmer van buitenlucht  | 14 |
|   | 3.0.3    Algemene bevindingen                      | 14 |
| 4 | Prototype 2  | 15 |
|   | 4.0.1    Beoordeling als vervanger LBK             | 15 |
|   | 4.0.2    Beoordeling als opwarmer van buitenlucht. | 16 |
| 5 | Prototype 3  | 17 |
|   | 5.0.1    Beoordeling                               | 18 |
| 6 | Praktijkobjecten                                   | 19 |
|   | 6.1    Tomatenbedrijf                              | 19 |
|   | 6.1.1    Resultaten metingen testopstelling        | 19 |
|   | 6.1.2    Metingen op het tomatenbedrijf            | 20 |
|   | 6.1.3    Conclusies                                | 21 |
|   | 6.2    Gevelunit voor een gerberabedrijf           | 22 |
| 7 | Evaluatie  | 23 |
| 8 | Conclusies   | 27 |



# Samenvatting

In een gesloten kas wordt de kaslucht geconditioneerd door middel van koeling of verwarming met warmtewisselaars. Die staan decentraal opgesteld met een vrije uitblaas of langs de gevel en dan voorzien van slurven. Omdat de investering in de metalen warmtewisselaars hoog is en er de nodige problemen zijn geweest met corrosie is gezocht naar een alternatieve wisselaar van kunststof. Voor dat doel hebben de bedrijven Formflex , Hoogendoorn Growth Management en Wageningen UR Glastuinbouw de FormClimate Aircokas (FCA) warmtewisselaar ontwikkeld. Dat bestaat uit een kast die decentraal onder een teeltgoot wordt geplaatst en lucht kan verwarmen of koelen. De uitgeblazen lucht wordt verdeeld over een gebied van 250 m<sup>2</sup> met een verticale ventilator, de Aircobreeze. Omdat er veel ruimte is onder een teeltgoot kan een warmtewisselaar met een heel groot oppervlak worden geplaatst die aan water tussen 6 °C (koeling) en 50 °C (verwarming) genoeg heeft. Voor de gesloten kas zijn 2 prototypen gebouwd en beoordeeld.

De eigenschappen van de warmtewisselaar maken deze bij uitstek geschikt voor het “Nieuwe Telen”. In dat teeltconcept worden in de nacht de schermen zoveel mogelijk gesloten en spelen de gecontroleerde toevoer van buitenlucht en menging van kaslucht onder dat scherm een belangrijke rol. De apparatuur die daarvoor wordt ingezet moet goedkoop zijn, betrouwbaar en goed regelbaar. Daar waar mogelijk moeten duurzame energiebronnen zoals zon, wind en bodemwarmte inzetbaar zijn. Er is besloten om de ontwikkeling van de FCA meer op deze toepassingen te richten.

Op basis van de aangepaste eisen zijn de 2 prototypen voor de warmtewisselaar opnieuw beoordeeld en is een derde prototype gebouwd, geschikt voor een plastic slurf van 120 m lengte zodat ook een versie ontstond die in of bij de gevel geplaatst kan worden.

In het kort bestaat de FCA uit een 4 tot 12m lange, 60cm brede en 60 cm hoge kast die onder een teeltgoot wordt geplaatst of wordt geïntegreerd in de buitengevel. In die kast bevinden zich een aantal vlakke platen waar het warme water doorheen stroomt en de op te warmen lucht in tegenstroom erlangs. Door de grote lengte van de platen ontstaat voldoende tijd om de buitenlucht in iedere situatie op te warmen tot kasttemperatuur en dat proces via een simpele regeling te beheersen. De aanzuigzijde van de kast is aangesloten op de buitenlucht. De uitblaaszijde kent verschillende mogelijkheden zoals vrij uitblazen in de aanzuigopening van een ventilator die de droge lucht boven de planten verdeelt of verdelen via een plastic slurf met gaatjes die de droge lucht onder een teeltgoot, in een pad of boven de planten regelmatig verdeelt over de hele lengte van een kap. Bij het uitblazen via een slurf hangen boven het gewas, vlak onder het schermdoek, om de 15 meter ventilatoren die de lucht verticaal mengen om zodoende de droge lucht zo gelijkmatig mogelijk te verdelen over het hele gewas. Dankzij de grote doorsnede van de kast en van de slurf is de luchtweerstand minimaal, waardoor het stroomverbruik voor het inbrengen van kaslucht op 0,6 Watt/m<sup>2</sup> uitkomt. Bij de verwachte 3000 draaiuren komt dat neer op 2 kWh per m<sup>2</sup> per jaar. De verticale ventilatoren verbruiken ongeveer dezelfde hoeveelheid stroom. Op die manier wordt per uur 5 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> buitenlucht toegevoerd terwijl er gelijktijdig 18 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/uur kaslucht in beweging wordt gehouden tegen een stroomverbruik van 4 kWh/m<sup>2</sup>/jaar. Maar ook andere systemen om de uitgeblazen lucht vanuit de FCA in de kas te verspreiden zijn met succes toegepast.

Aan de eis van een lage investering kon ook worden voldaan dankzij de goedkope en toch duurzame materialen, lage aansluitkosten en lage kosten voor bewaking en regeling. De inzet van duurzame energiebronnen zoals zon en aardwarmte is zeer nabij gekomen omdat de wateraanvoer temperatuur bij opwarming van buitenlucht tot kasttemperatuur niet boven de 40 °C hoeft te komen en uitkoeling tot bijna kasttemperatuur haalbaar is. Dat maakt de FCA ook inzetbaar als een efficiënt verwarmings of koelsysteem als vervanging en aanvulling op een verwarmingsnet in combinatie met warmtepomp of aardwarmte.



# 1 Inleiding

Het isoleren van kassen met een goed gesloten scherm bespaart veel energie, maar kan problemen opleveren met te hoog oplopend vochtgehalte van de lucht tussen het gewas. Dat kan twee oorzaken hebben: te weinig vochtafvoer door stilstaande lucht tussen het gewas of door een te klein vochtdeficit van de kaslucht. Dat zogenaamde “dode” klimaat wordt nog versterkt wanneer er belichting wordt toegepast waardoor er bovenin de kas een warme luchtlag ontstaat die niet meer mengt met de koudere lucht tussen het gewas. Het extra opwarmen van die koude lucht tussen het gewas met warme buizen om luchtbeweging te stimuleren of het vochtdeficit te vergroten is geen goed idee omdat de planten dan extra stralingswarmte ontvangen en de gewasverdamping onnodig wordt gestimuleerd. De kunst is dus om vocht tussen het gewas af te voeren zonder de verdamping en de bladtemperatuur meer op te voeren dan strikt noodzakelijk. Een oplossing voor dit probleem is gevonden. Buitenlucht wordt opgewarmd tot kastemperatuur en via een slurf met gaatjes verticaal door het gewas geblazen. Daardoor stroomt er droge lucht door het gewas die vocht opneemt en afvoert. Boven het gewas zorgt een verticaal werkende ventilator voor het mengen van de luchtlagen net boven het gewas en onder het scherm. Daardoor wordt warmte naar het gewas gevoerd en vocht in de kasruimte verdeeld. Door kleine openingen in de gevel of het scherm wordt de vochtige lucht vervolgens naar buiten gedrukt. Op het eerste gezicht lijkt dit extra energie te kosten. Maar in de praktijk blijkt dat dankzij deze hulpmiddelen een energiescherm of verduisteringsdoek volledig gesloten kan blijven en de laaggelegen buizen niet meer voor vochtafvoer gebruikt hoeven te worden met als resultaat 10 tot 30 °C lagere buistemperaturen. Samen levert dit netto 20 tot 30% energiebesparing op. En dankzij de goede ontvochtiging in combinatie met het niet meer kunnen afkoelen van bloemen en knoppen door uitstraling naar een koude hemel of een koud schermdoek, kunnen schimmelziekten beter worden beheerst. Overduidelijke voordelen dus, maar er zit vaak een behoorlijk kostenplaatje aan en inpassing in een bestaande kas is ook niet altijd eenvoudig. Dat waren de belangrijkste redenen voor Formflex en Hoogendoorn Growth Management om samen met Wageningen UR Glastuinbouw in opdracht van het Productschap Tuinbouw en het Ministerie van Economie, Landbouw en Innovatie in het kader van het onderzoeksprogramma “Kas als Energiebron” te werken aan de ontwikkeling van een betaalbaar systeem voor het inblazen van buitenlucht en het circuleren van kaslucht. Dat systeem heeft de naam *FormClimate Aircokas* (FCA) gekregen.





## 2 Uitgangspunten voor de FCA

Tijdens de ontwikkeling van het FCA systeem zijn de redenen voor aanschaf van een luchtverdeelsysteem gewijzigd. In 2007 was de doelstelling om een warmtewisselaar te maken die in (semi) gesloten kassen kon worden ingezet voor koeling in de avond en nacht of warmteoogst bij hoge instralingen en voor ontvochtiging. Dat ter vervanging van de gebruikelijke metalen warmtewisselaars. De kern van het systeem is dat er steeds een FCA wordt gecombineerd met een verticale ventilator, de Aircobreeze.



Figuur 2.1. De Aircobreeze verdeelt kaslucht verticaal over een oppervlakte van 200-250 m<sup>2</sup>

Een dergelijke eenheid moet dan gezien het bereik van de Aircobreeze op elke 200-250 m<sup>2</sup> geplaatst worden. De FCA blaast vrij uit in de richting van de Aircobreeze en deze verdeelt en mengt deze uitstromende lucht met kaslucht.



Figuur 2.2. Principe FCA systeem voor gesloten kas.

Daarbij werden de volgende uitgangspunten gebruikt:

### Eisen voor gebruik in een gesloten kas

1. Lage investering van maximaal €20/m<sup>2</sup> kas.
2. Lage stroomkosten door maximaal 200W piekvermogen van de ventilator.
3. Een FCA unit per Aircobreeze (200-250 m<sup>2</sup> kas).
4. Integreerbaar met een teeltgoot.
5. Warmteafgifte 50 W/kasm<sup>2</sup>, ofwel 12,5 kW per FCA, bij een delta T<sub>lucht</sub> van 10 °C.
6. Koudeafgifte van 50 W/kasm<sup>2</sup> (12,5kW) bij een delta T<sub>lucht</sub> van 5 °C en van 100 W/kasm<sup>2</sup> (25kW) bij een delta T<sub>lucht</sub> van 10 °C.
7. Luchtcirculatie debiet van 5-10 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/uur, ofwel 1250-2500 m<sup>3</sup>/uur.
8. De luchttemperatuur bij de uitstroom openingen is max. 40 graden Celsius bij verwarmen.
9. De luchttemperatuur bij de uitstroomopening is max. 5 graden Celsius onder de kastemperatuur bij ontvochtigen.
10. De luchttemperatuur bij de uitstroomopening is max. 10 graden Celsius onder de kastemperatuur bij warmte oogsten.
11. Maximale wateraanvoer temperatuur van 50 °C.
12. Minimale water aanvoer temperatuur van 6 °C.

Op basis van deze uitgangspunten zijn 2 prototypen gebouwd en getest. Eerst een versie van 6m lengte (prototype 1). Na optimalisatie kon de lengte worden gereduceerd tot 4m (prototype 2).

Gedurende het project werd duidelijk dat dankzij Het Nieuwe Telen er meer behoefte zou komen aan een apparaat dat aan de gevel buitenlucht zou kunnen opwarmen tot kastemperatuur om met een zo dicht mogelijk isolatiescherm te kunnen werken en met buitenlucht te ontvochtigen. Dat leverde het volgende eisenpakket op:

### Algemene eisen

- De warmtewisselaar moet van goedkoop en toch degelijk materiaal zijn gemaakt: kunststof.
- Dankzij een groot oppervlak van de warmtewisselaar kunnen alle mogelijke warmtebronnen worden gebruikt die een lage aanvoer en retourwater temperatuur vereisen (bijv. warmtepomp, rookgascondensator of aardwarmte). De maximum water aanvoer temperatuur is daarvoor in de loop van het project verlaagd van 50 °C naar 40 °C. Uitkoeling moet tot dichtbij de uitblaastemperatuur komen. Bij buitenlucht opwarming is dat meestal de kastemperatuur.
- De hoeveelheid toegevoerde buitenlucht is afhankelijk van de verdamping en staat in principe vast om een optimale afstemming te krijgen voor ventilator, slurf en warmtewisselaar. Wel is er een winterstand waarbij de luchthoeveelheid wordt gehalveerd.
- De luchtzijdige weerstand moet zo klein mogelijk zijn om te hoge stroomkosten voor de ventilator te vermijden. Dat kan worden bereikt door een grote doorsnede van alle kanalen.
- Buitenlucht moet altijd op de juiste kaslucht temperatuur worden gebracht ook als het buiten vriest. Dat kan verzekerd worden door een lange weg langs de warmtewisselaar.
- De regeling moet uitermate simpel zijn: De beslissing om te ontvochtigen wordt genomen op basis van een meting van RV of vochtdeficit tussen of boven het gewas. Vervolgens wordt gekeken of het op basis van het verschil in absoluut vocht binnen/buiten zinvol is te ontvochtigen, waarna de installatie op een vast toerental een zekere tijd te gaan draaien om pendelen van de installatie en de aanschaf van een dure frequentieregelaar voor het toerental van de motor te voorkomen. Op basis van die vaste luchtstroom en een meting van de temperatuur in en buiten de kas kan de temperatuur in de warmtewisselaar zodanig vooraf worden afgestemd dat de lucht er met kastemperatuur uitkomt.
- Ook de kosten van aansluiting moeten zo laag mogelijk worden gemaakt, door gebruik te maken van een kunststof leidingnet en slechts één regelgroep voor het water in de warmtewisselaars en voor het aan of uitzetten van de ventilatoren.
- De verdeling van de droge buitenlucht in de kasruimte moet plaatsvinden door kaslucht verticaal te mengen zodat de lucht in de vrije ruimte kan stromen, wat goed is voor een grote luchtverplaatsing tegen lage stroomkosten. Deze ventilatoren moeten ook onafhankelijk van de FCA kunnen draaien.

- De installatie moet passen in iedere bestaande kas. Bij teelten op goten komt hij onder de goot en bij volveldsteelten in de gevel, met minimale aanpassingen aan de gevel en geen problemen voor een dakwatter en hemelwaterafvoer.
- Daar waar gewenst moet de FCA ook als ontvochtiger kunnen dienen met een laagste watertemperatuur van 6 °C.

### **Samengevatte eisen voor Het Nieuwe Telen**

1. Lage investering van maximaal **€ 8,00/m<sup>2</sup>** kas.
2. Lage stroomkosten door maximaal 200W piekvermogen van de ventilator.
3. Eén FCA -unit per teeltbed/teeltgoot aan de gevel (uitgangspunt gootlengte 120m)
4. Eén Aircobreeze per 2 tralies, de eerste rij vanaf 7 meter van de kopgevel.
5. Integreerbaar met een teeltgoot.
6. Ventilatie-debiet van 5 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/uur voor onbelichte teelten en 10 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/uur voor belichte teelten. Ofwel 960-1920 m<sup>3</sup>/uur per teeltgoot.
7. Warmteafgifte voldoende om deze buitenlucht tot een buitentemperatuur van 0 °C op te warmen tot 18 °C. En bij de halve hoeveelheid lucht tot een buitentemperatuur van -10 °C.
8. Achter de FCA een ruime slurf met de lengte van de teeltgoot die de droge lucht onder de teeltgoot uitblaast, waarna de Aircobreeze deze lucht over de kasruimte verdeelt.
9. Eventueel werken met 1 FCA per kap en de lucht dan over meerdere slurven verdelen met een verdeelkast.
10. De luchttemperatuur bij de uitstroom openingen is gelijk aan de kastemperatuur.

Op basis van de tweede set eisen zijn de twee prototypen nogmaals beoordeeld. Daarnaast is een Prototype 3 gebouwd, een 12m lange versie met daaraan een slurf over de lengte van de teeltgoot om na te gaan of het ook mogelijk was om centraal aan de gevel te kunnen werken met 1 FCA per kap om zodoende aansluitkosten te verlagen.

Vier FCA units, volgens Prototype 2, zijn in een praktijkproef bij een tomatenteler aan de gevel onder de teeltgoten geplaatst voor de opwarming en distributie van buitenlucht. Daarnaast is een Prototype 4 gebouwd voor een praktijktest op een gerbera bedrijf. Deze FCA is geschikt is om in de gevel te worden gebouwd. Dat is nodig voor gewassen die niet op hoge goten worden geteeld zoals gerbera of chrysant.



### 3 Prototype 1

De eerste versie was nodig om te testen hoeveel warmteafgifte er mogelijk was bij het gebruik van goedkope kunststof panelen die normaal dienst doen als zonnepanelen. Een tweede doel was om te kijken of dit tegen een lage kostprijs gebouwd kon worden voor gebruik onder een teeltgoot.

Deze versie is gebouwd eind 2007.



Figuur 3.1. FCA prototype 1 met verticale uitblaasmond en 6m lengte.

In de metalen behuizing zaten 9 panelen van 6,0\*0,6m die volgens het “meestroom” principe werden gevoed met warm of koud water. Dat betekent dat het water aan dezelfde zijde werd gevoed als de lucht. De ontluftung van de panelen was provisorisch door op punten waar de doorstroming meetbaar te laag was een gaatje te boren en met een schroef weer af te dichten.

Aan dit prototype zijn inblaas en uitblaas temperaturen gemeten, zowel bij verwarmen als bij koelen.

|                           | koelen 1    | koelen 2   | verwarmen 1 | verwarmen 2 | geen ventilator 1 | geen ventilator 2 |
|---------------------------|-------------|------------|-------------|-------------|-------------------|-------------------|
| watervolume               | 199 g/sec   | 199 g/sec  | 333 g/sec   | 333 g/sec   | 333 g/sec         | 333 g/sec         |
| luchtsnelheid uitgang     | 5 m/sec     | 1 m/sec    | 5 m/sec     | 1 m/sec     | 0 m/sec           | 0 m/sec           |
| luchtvolume               | 1728 m3/uur | 346 m3/uur | 1728 m3/uur | 346 m3/uur  |                   |                   |
| WATER <sub>in</sub>       | 7,3 °C      | 6,9 °C     | 32,5 °C     | 36,1 °C     | 44,8              | 35,4              |
| WATER <sub>uit</sub>      | 15,1 °C     | 11,1 °C    | 28 °C       | 34,9 °C     | 43,6              | 34,6              |
| LUCHT <sub>in</sub>       | 21,5 °C     | 21,2 °C    | 18,3 °C     | 20,9 °C     |                   |                   |
| LUCHT <sub>uit</sub>      | 15,7 °C     | 11 °C      | 25,1 °C     | 33,4 °C     |                   |                   |
| WATER afkoeling           | 7,8 °C      | 4,2 °C     | 4,5 °C      | 1,2 °C      | 1,2 °C            | 0,8 °C            |
| LUCHT afkoeling           | 5,8 °C      | 10,2 °C    | 6,8 °C      | 12,5 °C     |                   |                   |
| Warmteafgifte waterzijdig | 6495 W      | 3497 W     | 6270 W      | 1672 W      | 1670 W            | 1114 W            |
| Truimte                   | 21,8 °C     | 21,2 °C    | 18,9 °C     | 21,7 °C     | 18,3 °C           | 18,8 °C           |
| Gemiddelde watertemp      | 11,2 °C     | 9,0 °C     | 30,3 °C     | 35,5 °C     | 44,2 °C           | 35,0 °C           |
| Gemiddelde luchttemp      | 18,6 °C     | 16,1 °C    | 21,7 °C     | 27,2 °C     | °C                | °C                |
| Tverschil lucht/water     | 7,4 °C      | 7,1 °C     | 8,6 °C      | 8,4 °C      | 25,9 °C           | 16,2 °C           |
| Q <sub>delta T</sub>      | 878 W/°C    | 493 W/°C   | 733 W/°C    | 200 W/°C    | 64 W/°C           | 69 W/°C           |

Figuur 3.2. Meetresultaten prototype 1.

### 3.0.1 Beoordeling als vervanger van LBK's

Er was 32,4 m<sup>2</sup> paneel, dus werd  $733/32,4 = 22,5$  W/m<sup>2</sup> per graad temperatuurverschil tussen de gemiddelde watertemperatuur en de gemiddelde luchttemperatuur aan warmte afgegeven.

Per eenheid van 250 m<sup>2</sup> levert de FCA 6270 W warmte, ofwel 25 W/m<sup>2</sup>kas. Om de gewenste 50 W/m<sup>2</sup>kas te halen zou een hogere watertemperatuur nodig zijn. Het waterdebiet zou zodanig verhoogd moeten worden dat de water retourtemperatuur zo hoog mogelijk blijft. Bij 50 graden aanvoer temperatuur en 40 graden retour zal het gemiddelde delta-T water /lucht ongeveer  $45-22= 23$  °C bedragen. De totale afgifte wordt dan  $733*23= 16859$  W ofwel 67 W/m<sup>2</sup>. Daarmee voldoet dit ontwerp aan de specificaties.

Wat betreft koeling ligt het moeilijker. De afgifte was per kasm<sup>2</sup>:  $6495/250= 26$  W/m<sup>2</sup>. De oorzaak van de lage koelcapaciteit ligt in de kleine delta-T tussen water en lucht. De gemiddelde luchttemperatuur kan omhoog door het luchtdebiet verder te verhogen. Dat was nu  $1728/250= 6,9$  m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/uur en deze zou nog omhoog kunnen naar 10 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/uur binnen de specificaties, maar waarschijnlijk is meer verhoging nodig. Daarnaast was het waterdebiet de helft van het debiet bij verwarmen. Daardoor was de gemiddelde watertemperatuur hoger dan noodzakelijk. Een gemiddelde watertemperatuur van 8,0 °C moet wel haalbaar zijn zeker gezien het feit dat de aanvoertemperatuur nog verder verlaagd zal kunnen worden tot ongeveer 6 °C. Stel dat de gemiddelde luchttemperatuur kan stijgen tot 25 °C. De koudelevering stijgt dan naar  $(25-8)*878= 14926$  W, ofwel 59 W/m<sup>2</sup>. Een "tegenstroom" aansluiting kan de afgifte mogelijk nog verder verbeteren.

### 3.0.2 Beoordeling als opwarmer van buitenlucht

Er zal dan één FCA worden ingezet per goot van 120 m lengte ofwel een kasoppervlak van 192 m<sup>2</sup>. Dan wordt bij verwarming  $6270/192= 33$  W/m<sup>2</sup> afgegeven. Het luchtdebiet was hier  $1728/192= 9$  m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/uur. Om buitenlucht van 0 °C bij dat debiet op te warmen tot 18 °C is  $(9/3600)*(18-0)*1*1,3* 1000= 58$  W/m<sup>2</sup> aan warmte nodig, ofwel 11232 W totaal per FCA. Bij een gemiddelde afgifte van 733 W/oC betekent dat de delta-T  $11232/733= 15,3$  °C moet zijn. De gemiddelde luchttemperatuur is 9 °C, dus de gemiddelde watertemperatuur zal dan  $9+15,3=24,3$  °C moeten zijn. Dat is dus ruimschoots haalbaar.

Koeling is niet aan de orde bij buitenlucht toevoer, maar de FCA zou buitenlucht van 30 °C bij water van 7 °C kunnen afkoelen naar ongeveer 24 graden bij een debiet van 9 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/uur.

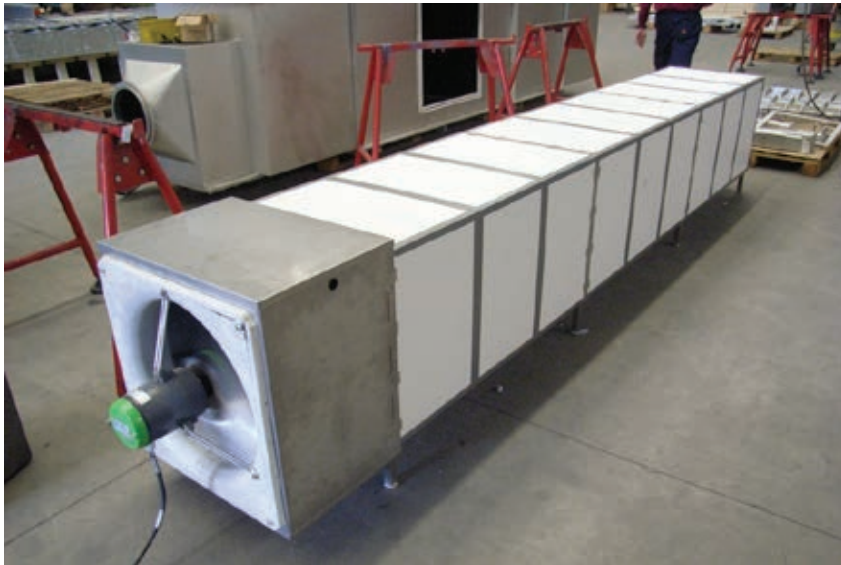
### 3.0.3 Algemene bevindingen

Door de aansluitmethode van de panelen kan er relatief gemakkelijk lucht in verzamelen. Door de lage waterzijdige weerstand in het systeem kan dat betekenen dat één of meerdere panelen niet meelopen. In het ontwerp moet ervoor gezorgd worden dat de lucht op één plek verzameld en daar automatisch wordt afgevoerd.

De warmteafgifte bij stilstaande ventilator is relatief groot. Omdat de kast in de kasruimte staat kan dat een lokale verstoring van de omgeving betekenen. Een betere isolatie van de omkasting is dan gewenst.

Bij het verlagen van het luchtdebiet zakt ook de warmteafgifte, maar de uitgeblazen lucht blijft ruimschoots op temperatuur, dus de capaciteit van de installatie kan zonder problemen worden geregeld door het sturen van het toerental van de ventilator.

## 4 Prototype 2



Figuur 4.1. FCA prototype 2 met kunststof omkasting en 4m lengte.

Hierin zijn een aantal verbeteringen aangebracht die in het bijzonder het benodigde plaatoppervlak en de warmteafgifte aan de omkasting verlaagden. De wateraansluiting werd nu in “tegenstroom” uitgevoerd, dus de aanvoer van het water zat aan de uitblaaskant van de lucht. Daarmee werd bereikt dat het gemiddelde temperatuurverschil tussen plaat en lucht groter werd. De omkasting werd van kunststof plaat gemaakt. En de ontluchting van de panelen werd verbeterd door meer ontluchtingspunten aan te brengen. Er waren nu 9 panelen van 4\*0,6 m in de kast.

|   | verwarmen 1 | verwarmen 2 | verwarmen 3 | verwarmen 4 | geen ventilator 1 |
|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------------|
| watervolume   | 333 g/sec   | 333 g/sec   | 333 g/sec   | 333 g/sec   | 333 g/sec         |
| luchtsnelheid uitgang   | 5 m/sec     | 1 m/sec     | 5 m/sec     | 1 m/sec     | 0 m/sec           |
| luchtvolume   | 5445 m3/uur | 1089 m3/uur | 5445 m3/uur | 1089 m3/uur |                   |
| WATER <sub>in</sub>   | 47,9 °C     | 47,5 °C     | 42,8 °C     | 47,7 °C     | 47,4 °C           |
| WATER <sub>uit</sub>  | 38,8 °C     | 40,1 °C     | 25,1 °C     | 36,7 °C     | 45,5 °C           |
| LUCHT <sub>in</sub>   | 29,8 °C     | 28,3 °C     | 19,3 °C     | 19,1 °C     | 34,4 °C           |
| LUCHT <sub>uit</sub>  | 35,2 °C     | 35,6 °C     | 29,9 °C     | 39,9 °C     | 37,6 °C           |
| WATER afkoeling   | 9,1 °C      | 7,4 °C      | 17,7 °C     | 11 °C       | 1,9 °C            |
| LUCHT opwarming   | 5,4 °C      | 7,3 °C      | 10,6 °C     | 20,8 °C     |                   |
| Warmteafgifte waterzijdig   | 12667 W     | 10300 W     | 24637 W     | 15311 W     | 2645 W            |
| T <sub>ruimte</sub>   | 29,8 °C     | 28,3 °C     | 19,0 °C     | 19,1 °C     | 32,5 °C           |
| Gemiddelde watertemp  | 43,4 °C     | 43,8 °C     | 34,0 °C     | 42,2 °C     | 46,5 °C           |
| Gemiddelde luchttemperatuur in ALS                                  | 32,5 °C     | 32,0 °C     | 24,6 °C     | 29,5 °C     | 36,0 °C           |
| T verschil water <sub>gemiddeld</sub> -lucht <sub>gemiddeld</sub>   | 10,9 °C     | 11,9 °C     | 9,4 °C      | 12,7 °C     | 10,5 °C           |
| Q delta T (water <sub>gemiddeld</sub> -lucht <sub>gemiddeld</sub> ) | 1167 W/°C   | 869 W/°C    | 2635 W/°C   | 1206 W/°C   | 253 W/°C          |

Figuur 4.2. Meetresultaten prototype 2.

### 4.0.1 Beoordeling als vervanger LBK

De warmteafgifte is gestegen naar gemiddeld 1186 W/°C. Er was 21,6 m<sup>2</sup> paneel dus de warmteafgifte bedroeg nu 1186/21,6= 55 W/m<sup>2</sup>.°C. Beduidend beter dus dankzij het “tegenstroom” principe. Bij de watertemperatuur van 42,8 °C werd door de hele FCA 24637/192= 128 W/m<sup>2</sup> kas aan de lucht afgegeven. Dat is veel hoger dan de gewenste warmteafgifte van 50 W/m<sup>2</sup>kas. De watertemperatuur zou dus omlaag kunnen en wel naar ongeveer 30 °C gemiddeld in situatie 3.

Ook de koelprestaties zullen toenemen, hoewel hier niet gemeten. Bij een gemiddelde luchttemperatuur van 16 °C en een gemiddelde watertemperatuur van 9 °C zal ongeveer  $7 \cdot 1167 = 8169$  W koude geleverd worden, dus 33 W/m<sup>2</sup>. Nog steeds niet voldoende, maar door zowel het luchtdebiet als het waterdebiet sterk te vergroten kan die capaciteit nog wel omhoog. Met de uitgangspunten uit het voorbeeld in 4.1.1 stijgt de koudelevering dan naar  $(25-8) \cdot 1167 = 19893$  W, ofwel 79 W/m<sup>2</sup>.

## 4.0.2 Beoordeling als opwarmer van buitenlucht.

Opvallend is het grote verschil tussen meting 1 en 3. Als we meting 4 bekijken valt op dat de FCA bij stilstaande ventilator bij de hoge watertemperatuur van gemiddeld 34 °C en een omgevingstemperatuur van 19 °C veel warmte aan de buitenkant, dus via de omkasting afgeeft. Eigenlijk moet die afgifte worden afgetrokken. Meting 1 is wat dat betreft representatiever voor de opwarming van buitenlucht.

Aan de andere kant zal als buitenlucht wordt toegevoerd de aangevoerde lucht beduidend kouder zijn dan de 19,3 °C die hier werd gebruikt. In het voorbeeld van 4.1.2 was 11.232 W nodig om buitenlucht van 0 °C op te warmen bij een debiet van 9 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/uur. Bij een gemiddelde afgifte van 1167 W/°C betekent dit dat de delta-T  $11232/1167 = 9,6$  °C moet zijn. De gemiddelde luchttemperatuur is 9 °C, dus de gemiddelde watertemperatuur zal dan  $9+9,6=18,6$  °C moeten zijn. Dat is dus ruimschoots haalbaar. De afgifte per m<sup>2</sup> plaat bedraagt:  $1167/21,6 = 54$  W/m<sup>2</sup>.°C.

Ook qua koeling zal deze uitvoering het beter doen, zoals als aangegeven in 5.1.1.



## 5 Prototype 3

Bij de ontwikkeling van dit prototype speelden een aantal nieuwe ideeën een rol:

1. Wanneer de FCA alleen gebruikt wordt voor het opwarmen van buitenlucht is er een kleinere capaciteit nodig, dus minder plaatoppervlak.
2. Door met één FCA per kap te werken wordt de investering zo laag mogelijk gehouden. Dat bespaart op het aantal ventilatoren, op de aansluitkosten en op de omkasting.
3. Door middel van extra lange panelen kan de uitkoeling van het water zodanig groot gemaakt worden dat het mogelijk wordt om warmtebronnen zoals aardwarmte, rookgascondensors en warmtepompen optimaal in te zetten.
4. Het weglaten van de omkasting en het direct in de plastic slurf plaatsen van de panelen brengt de kosten omlaag tot een absoluut minimum.



*Figuur 5.1. FCA prototype 3 met folie-omhulling en 12m lengte.*

Op basis van de ervaring met prototype 2 kan worden uitgerekend wat voor een 8m brede kap bij een aanvoer temperatuur van het water van 40 °C ongeveer de plaatoppervlakte moet zijn. De afgifte is 54 W/m<sup>2</sup>.°C en delta-T is 20 °C. Gevraagd werd 11232 W \* 5 bedden, dus er is nodig:  $(5 * 11232) / (54 * 20) = 52 \text{ m}^2$ . Bij platen van 12\*0,6m zijn dan 7 platen nodig. De vragen die beantwoord moesten worden met een prototype waren of de waterzijdige weerstand niet teveel opliep bij dergelijke lange panelen en of de warmteafgifte een nadelige invloed ondervond van de langere weg die de lucht moest afleggen.

De test is uitgevoerd met 2 panelen en 1080 m<sup>3</sup>/uur lucht. Dat is voldoende voor een teeltgoot van 120m. Bij gebruik van een Aircobreeze zou in een 8m kap ook gekozen kunnen worden voor een pakket van 7 platen geplaatst onder de middelste goot en een luchtdebiet van 4800 m<sup>3</sup>/uur. De Aircobreeze ventilatoren zullen de droge lucht goed verdelen over de hele kap zolang de uitblaastemperatuur maar gelijk is of hoger dan de kasluchttemperatuur.

## 5.0.1 Beoordeling

|   | Meting 1                |                          | Meting 2                |                          | Meting 3                |                         |
|---|-------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|
| water aanvoer                             | 39,0                    | graden                   | 33,0                    | graden                   | 34,0                    | graden                  |
| water retour                              | 25,2                    | graden                   | 23,1                    | graden                   | 23,1                    | graden                  |
| lucht aanzuig                             | 13,9                    | graden                   | 15,6                    | graden                   | 15,6                    | graden                  |
| lucht uitblaas                            | 31,5                    | graden                   | 27,2                    | graden                   | 27,8                    | graden                  |
| luchtdebiet                               | 0,3 m <sup>3</sup> /sec | 1080 m <sup>3</sup> /h   | 0,3 m <sup>3</sup> /sec | 1080 m <sup>3</sup> /h   | 0,3 m <sup>3</sup> /sec | 1080 m <sup>3</sup> /h  |
| waterdebiet                               | 138,0 g/sec             | 0,4968 m <sup>3</sup> /h | 138,0 g/sec             | 0,4968 m <sup>3</sup> /h | 123,0 g/sec             | 0,443 m <sup>3</sup> /h |
| delta t lucht                             | 17,6                    | graden                   | 11,6                    | graden                   | 12,2                    | graden                  |
| delta t water                             | 13,8                    | graden                   | 9,9                     | graden                   | 10,9                    | graden                  |
| vermogen totaal lucht                     |                         |                          |                         |                          |                         |                         |
| vermogen totaal water                     | 7960,4                  | Watt                     | 5710,7                  | Watt                     | 5604,1                  | Watt                    |
| vermogen per graad (gem water -gem lucht) | 846,8                   | W/°C                     | 858,8                   | W/°C                     | 818,1                   | W/°C                    |

Figuur 5.2. Meetresultaten prototype 3.

Er kon inderdaad een hoge uitkoeling worden bereikt zonder dat dit ten koste ging van de warmteoverdracht. Een retourtemperatuur van niet meer dan 25 graden is ideaal voor het optimaal uitkoelen van aardwarmte en rookgassen en het verkrijgen van een hoge COP bij warmtepompen. Er was  $2 * 12 * 0,6 = 14,4$  m<sup>2</sup> plaat aanwezig. Per m<sup>2</sup> plaat werd gemiddeld  $840/14,4 = 58$  W aan warmte per °C temperatuurverschil tussen water en lucht overgedragen, vergelijkbaar met prototype 2. In de praktijk zullen deze prestaties nog beter zijn omdat hier met een veel hogere temperatuur werd ingeblazen dan kasttemperatuur. Aannemelijk is dat de aanvoertemperatuur niet boven de 30 °C hoeft te komen en uitkoeling tot 20 °C realistisch is. De waterzijdige weerstand van 12m lange panelen bleek geen probleem te zijn. Een omkasting van folie is bij 30/20 °C water temperatuur geen probleem omdat de warmtewisselaar maar een beetje warmer is dan de omgeving en dus weinig warmte verliest door uitstraling. Of de vervanging van een slurf door aan een goot geklikte folie een goed idee is moet in de praktijk blijken. Er bestaat een grotere kans op beschadiging en lekkage.

## 6 Praktijkobjecten

### 6.1 Tomatenbedrijf

Op een tomatenbedrijf zonder belichting is een 8m kap uitgerust met 2 FCA eenheden van 4m lengte waarmee aan de gevel buitenlucht kon worden ingenomen en opgewarmd tot kasttemperatuur. Onder de 100m lange teeltgoot was een slurf van 0,44m opgehangen. Aircobreeze ventilatoren zorgden voor een distributie van de uitgeblazen lucht door de hele kap. De behuizing was van dubbelzijdig kunststof plaatmateriaal.

Aan dit systeem zijn voorafgaand aan de proef wat metingen verricht met een 100 m lange slurf van 40 cm diameter eraan gekoppeld. Omdat de ventilator van dit model in toeren geregeld kan worden is onder meer gekeken naar de invloed van de ventilatorstand.



Figuur 6.1. FCA voor toepassing op een tomaten bedrijf met 100m lange slurf en plaatsing onder een teeltgoot.

#### 6.1.1 Resultaten metingen testopstelling

Getest is een, door ITB in Boxmeer gebouwd, prototype met 4 panelen van 0,6x4m met dubbelwandige omkasting. Ventilator: buisventilator ST-Fans type RVK 315E2-L1. Capaciteit 1560 m<sup>3</sup>/h bij 130 Pa opvoerhoogte. Dat is 1560/(4\*100m)= 3,9 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/h. Door een traploze toerenregeling is deze capaciteit instelbaar.

Daaraan een slurf van 0,44 m diameter. Lengte 100m. Gaatjes: 8mm h.o.h. 167 mm op kwart voor drie.

Meting: temperatuur aanvoer en retour, lucht in en lucht uit.

3 standen van de ventilator: maximaal, minimaal (slurf nog net bol) en middenstand.

De metingen bij de Demokwekerij zijn in de tabel op de volgende pagina weergegeven.

| Meting demokwekerij                       | Meting 1    | Meting 2    | Meting 3    | Meting 4    | Meting 5    | Meting 6    |
|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| water aanvoer                             | 46 graden   | 45.7 graden | 44.5 graden | 44.6 graden | 43.8 graden | 40.7 graden |
| water retour                              | 38.4 graden | 38.2 graden | 36.2 graden | 36.4 graden | 35.9 graden | 33.6 graden |
| lucht aanzuig                             | 23 graden   | 23.2 graden | 22.9 graden | 22.9 graden | 23.4 graden | 23.3 graden |
| lucht uitblaas                            | 36.4 graden | 36.5 graden | 35.3 graden | 35.1 graden | 35.1 graden | 34 graden   |
| luchtdebiet                               | 0.3 m3/sec  | 0.3 m3/sec  | 0.36 m3/sec | 0.36 m3/sec | 0.43 m3/sec | 0.43 m3/sec |
| waterdebiet                               | 175 g/sec   | 175 g/sec   | 170 g/sec   | 170 g/sec   | 175 g/sec   | 175 g/sec   |
| gemiddelde water temp                     | 42.2 graden | 42.0 graden | 40.4 graden | 40.5 graden | 39.9 graden | 37.2 graden |
| gemiddelde lucht temp                     | 29.7 graden | 29.9 graden | 29.1 graden | 29.0 graden | 29.3 graden | 28.7 graden |
| delta t lucht                             | 13.4 graden | 13.3 graden | 8.3 graden  | 8.2 graden  | 11.7 graden | 10.7 graden |
| delta t water                             | 7.6 graden  | 7.5 graden  | 12.4 graden | 12.2 graden | 7.9 graden  | 7.1 graden  |
| (gem water -gem lucht)                    | 12.5 graden | 12.1 graden | 11.3 graden | 11.5 graden | 10.6 graden | 8.5 graden  |
| vermogen lucht                            | 5226 Watt   | 5187 Watt   | 5803 Watt   | 5710 Watt   | 5982 Watt   | 5453 Watt   |
| vermogen totaal water                     | 5559 Watt   | 5486 Watt   | 5898 Watt   | 5827 Watt   | 5779 Watt   | 5194 Watt   |
| vermogen per graad (gem water -gem lucht) | 445 W/OC    | 453 W/OC    | 524 W/OC    | 507 W/OC    | 549 W/OC    | 612 W/OC    |

Figuur 6.2. Resultaten metingen FCA voor tomatenbedrijf.

De warmteafgifte is het laagste bij het kleinste luchtdebiet van 2,3 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/h en het hoogst bij het hoogste luchtdebiet van 3,2 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/h, maar het verschil in afgifte tussen beide ventilatorstanden is relatief klein. Globaal mag gerekend worden op 500W per °C gemiddeld temperatuurverschil tussen het water en de lucht in de FCA.

Geconcludeerd werd dat de plaatoppervlakte voor 400 m<sup>2</sup> wat aan de krappe kant was, maar omdat er bij vorst meestal een klein gewas staat waardoor er met halve capaciteit ontvochtigd kan worden, is besloten om toch voor deze FCA uitvoering te kiezen. Het terugregelen naar een lager debiet kon zonder problemen met inzakkende slurven, verdere afname leek zelfs denkbaar. Daarentegen was het debiet van 1560 m<sup>3</sup>/uur eigenlijk te klein om 400 m<sup>2</sup> kasoppervlak te bedienen wanneer het verschil in absoluut vocht binnen/buiten kleiner dan 1 g/m<sup>3</sup> zou worden. Dan wordt immers maar 1560\*1/400= 3,9 g/m<sup>2</sup>/uur ontvochtigd.

## 6.1.2 Metingen op het tomatenbedrijf

Op het tomatenbedrijf zijn 4 FCA eenheden geplaatst met 100m lange slurven eraan en doorgemeten op hun effect. De volgende tabel geeft de resultaten weer bij een lage buitentemperatuur en een ventilatorstand van 60%. Er is gemeten aan 4 slurven en op 7 posities (pootafstand 5m). De RV en de temperatuur zijn bepaald net voorbij de uitblaasopening (T<sub>gat</sub> en RV<sub>gat</sub>) en op 50cm afstand daarvan (T<sub>plant</sub> en RV<sub>plant</sub>). Ter vergelijking is een kas zonder FCA systeem opgenomen. Het gaat hier om een jong gewas, dus de RV in de kas is nog laag.

|           | slurf 1       |               | slurf 2 |        |           |          | slurf 3       |               | slurf 4 |        |           |          | kas zonder slurven |             |               |              |
|-----------|---------------|---------------|---------|--------|-----------|----------|---------------|---------------|---------|--------|-----------|----------|--------------------|-------------|---------------|--------------|
|           | P slurf1 [Pa] | P slurf2 [Pa] | RV gat2 | T gat2 | RV plant2 | T plant2 | P slurf3 [Pa] | P slurf4 [Pa] | RV gat4 | T gat4 | RV plant4 | T plant4 | RV plant ref       | T plant ref | RV onder goot | T onder goot |
| tralie 2  | 12,8          | 16,5          | 30      | 22,7   |           |          | 15,5          | 12,1          | 28      | 22,3   | 39        | 22,3     | 49                 | 20,5        | 49            | 20,6         |
| tralie 5  | 13,0          | 16,1          | 31      | 22,5   | 38        | 22,7     | 15,4          | 12,4          | 29      | 21,7   | 39        | 21,6     | 50                 | 20,4        | 49            | 20,4         |
| tralie 8  | 13,1          | 15,8          | 30      | 22,4   |           |          | 15,1          | 12,0          | 30      | 21,2   |           |          | 48                 | 20,6        | 48            | 20,5         |
| tralie 11 | 13,2          | 15,3          | 32      | 21,8   | 39        | 22,2     | 15,0          | 11,7          | 30      | 21     | 40        | 21,1     | 46                 | 21,2        | 46            | 21           |
| tralie 14 | 13,0          | 15,4          | 30      | 21,5   |           |          | 15,3          | 11,9          | 30      | 21,4   |           |          | 47                 | 21,3        | 45            | 21,4         |
| tralie 17 | 13,4          | 15,4          | 30      | 21,6   | 40        | 21,5     | 15,3          | 12,0          | 30      | 21,3   | 39        | 21,4     | 47                 | 20,9        | 47            | 21,4         |
| tralie 19 | 13,2          | 15,2          | 30      | 21,6   |           |          | 15,1          | 12,2          | 31      | 21,3   | 40        | 21,4     | 47                 | 20,9        |               |              |

|                   |       |                     |     |                |      |                                     |
|-------------------|-------|---------------------|-----|----------------|------|-------------------------------------|
| water aanvoer     | 33    | °C                  |     |                |      |                                     |
| water retour      | 22    | °C                  |     |                |      |                                     |
| lucht buiten      | 0     | °C                  | 75  | % RV           | 3,6  | g/m <sup>3</sup>                    |
| lucht uitblaas    | 22    | °C                  | 30  | % RV           | 7,6  | g/m <sup>3</sup>                    |
| luchtdebiet       | 543   | m <sup>3</sup> /uur |     | vochtafvoer    | 5,4  | g/m <sup>2</sup> /uur               |
| snelheid in slurf | 1,2   | m/sec               |     | luchtdebiet    | 1,36 | m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /uur |
| warmteafgifte     | 10546 | Watt                | 400 | m <sup>2</sup> | 26,4 | W/m <sup>2</sup>                    |

Figuur 6.3. Meetresultaten FCA systeem voor plaatsing onder een teeltgoot.

Bij deze lage ventilatorstand van 60% bleef de slurf over de hele lengte bol. Daarmee kan deze stand gebruikt worden als winterstand omdat op die momenten de buitenlucht zo droog is dat er maar relatief weinig buitenlucht gedoseerd hoeft te worden. Bij een buitentemperatuur van 0 °C werd de buitenlucht voldoende opgewarmd naar 22 °C.

Bij verhoging van de ventilatorstand naar 100% bleek dat de berekende capaciteit van 1560 m<sup>3</sup>/uur niet gehaald werd. Na onderzoek bleek de beperking te zitten in het aanzuigrooster. Daarin was insectengaas aangebracht met eenzelfde oppervlakte als het aanzuigkanaal van 400mm. Dat bleek na vervuiling een te grote weerstand te vormen. Na verdubbeling van de oppervlakte steeg de druk in de slurf van 42 Pascal naar 67 Pascal en werd het debiet 1170 m<sup>3</sup>/uur. Nog steeds te weinig, voor het najaar is eigenlijk minimaal 5m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/uur ofwel 2000 m<sup>3</sup>/uur gewenst. De gaatjes in de slurf hadden 10mm moeten zijn en de slurf liefst 500mm doorsnede om dat debiet te halen bij een druk in de slurf van 40 Pascal om het stroomverbruik zo laag mogelijk te houden. De ventilator verbruikte nu 0,67 W/m<sup>2</sup>. Bij 3000 draaiuren komt dat neer op 2 kWh/m<sup>2</sup>. In principe kan het debiet naar 2000 m<sup>3</sup>/uur toenemen zonder extra stroomverbruik wanneer een andere ventilator met een groter debiet en een lagere opvoerhoogte wordt gebruikt.

Eind februari is de meting nogmaals uitgevoerd. Toen was de buitentemperatuur 3,6 °C bij een RV van 96%. De ventilatorstand was 60%. Onder en tussen het gewas werden toen de volgende vochtigheden en temperaturen gemeten, waarbij om 20:30 uur de Aircobreeze ventilatoren tijdelijk zijn uit gezet. In het proefvak was de onderverwarming uit gezet en het XLS10 scherm volledig gesloten. In de referentiekap was de onderverwarming 45 °C en had het scherm een kier van 3%.

|                                       | RV     |        |         |           | temperatuur |        |         |           |
|---------------------------------------|--------|--------|---------|-----------|-------------|--------|---------|-----------|
|                                       | poot 2 | poot 9 | poot 18 | gemiddeld | poot 2      | poot 9 | poot 18 | gemiddeld |
| <b>met Aircobreeze (19.30 uur)</b>    |        |        |         |           |             |        |         |           |
| kop                                   | 91     | 88     | 83      | 87        | 15          | 14,4   | 15,4    | 14,9      |
| tros                                  | 87     | 86     | 80      | 84        | 15          | 14,6   | 15,8    | 15,1      |
| onder goot                            | 83     | 83     | 76      | 81        | 15,2        | 14,9   | 16,2    | 15,4      |
| <b>referentie (20.00 uur)</b>         |        |        |         |           |             |        |         |           |
| kop                                   | 88     | 89     | 89      | 89        | 15,6        | 15,5   | 15,4    | 15,5      |
| tros                                  | 87     | 89     | 88      | 88        | 15,7        | 15,5   | 15,4    | 15,5      |
| onder goot                            | 86     | 88     | 87      | 87        | 15,8        | 15,4   | 15,4    | 15,5      |
| <b>zonder Aircobreeze (20.30 uur)</b> |        |        |         |           |             |        |         |           |
| kop                                   | 83     | 84     | 85      | 84        | 15,5        | 15,1   | 15,1    | 15,2      |
| tros                                  | 81     | 84     | 83      | 83        | 15,5        | 15     | 15,3    | 15,3      |
| onder goot                            | 80     | 82     | 81      | 81        | 15,6        | 14,8   | 15,7    | 15,4      |

Figuur 6.4. Resultaten metingen bij vol gewas.

Opvallend is dat de RV bij de kop van de plant en op troshoogte niet veel afwijkt ten opzichte van de referentie. Zonder Aircobreeze zijn de RV's bij de kop lager. Dat komt omdat de temperatuur bij de kop hoger is, behalve bij poot 18 die dicht bij het middenpad ligt. Het ontvochtigen werkt dus met of zonder Aircobreeze goed en maakt het mogelijk om het scherm volledig te sluiten en de buistemperatuur te verlagen. Het effect van de Aircobreeze blijkt niet uit een lagere RV, omdat door de luchtbeweging langs de plant juist de verdamping wordt gestimuleerd. De meerwaarde zit dus vooral daar in, dat de plant actief blijft ondanks een hogere RV in de kas, wat gunstig is voor energiezuinige vochtafvoer. Immers, hoe groter het verschil in absoluut vochtgehalte binnen/buiten, met hoe minder m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.uur de ontvochtiging kan werken. In belichte teelten zal het temperatuur egaliserende effect van de Aircobreeze bovendien belangrijk bijdragen aan een goed groeiklimaat.

### 6.1.3 Conclusies

Ondanks het feit dat het plaatoppervlak en het ventilatordebiet wat aan de krappe kant waren om een oppervlak van 400 m<sup>2</sup> te bedienen, heeft het systeem in de wintermaanden goed gefunctioneerd. Het plaatsen van 2 FCA units in een tralie van 8m is in principe voldoende. De ventilatorcapaciteit is voor de vochtige seizoenen te laag. Deze zou ongeveer 5 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.uur moeten zijn. Om het luchtdebiet te maximaliseren moet een voldoende groot aanzuigrooster worden geplaatst en moeten de gaatjes in de slurf minimaal 10 mm zijn of wat dichter op elkaar geplaatst. Indien enigszins mogelijk kan de slurfdiameter dan ook nog iets worden vergroot, bijvoorbeeld naar 50cm. De ventilator kan bij de gebruikte slurf tot 1/3 van zijn capaciteit worden terug geregeld zonder dat de slurf plat gaat liggen.

## 6.2 Gevelunit voor een gerberabedrijf

Voor een gewas als gerbera is inpassing van een FCA in de kas moeilijk omdat er maar weinig ruimte onder de goot is. Daarom is een aangepaste versie ontworpen en gemaakt die in de gevel geplaatst kan worden. De opgave daarbij was om binnen de rails van de dekwasser en de hemelwaterafvoer te blijven en de hoogte toch te beperken vanwege lichtverlies. De oplossing is gevonden in een FCA die de hele breedte van de kap beslaat, op de kasvoet is geplaatst, zodanig onder de laagste gording dat deze een rij ruiten kan vervangen. Omdat de omkasting geïsoleerd is kan het rolscherm vervallen. Er is teruggegrepen op de ervaring met het 12m lange prototype waaruit bleek dat dit de meest efficiënte en daarmee de meest compacte uitvoering is. De kast bestaat in feite uit een bovenkamer waarin lange panelen zitten en de ventilator die buitenlucht aanzuigt en over de panelen blaast. Daaronder zit een verdeelkast waarin aan de kaszijde 5 gaten zitten waaraan slurven bevestigd kunnen worden. Daaraan zitten bij dit project slurven van 0,25m doorsnede en 70m lengte, met gaatjes van 8mm op kwart voor drie met een onderlinge afstand van 0,4m. Het geheel kan zonder aanpassingen aan de teeltruimte van buiten af geïnstalleerd worden, ook in bestaande bedrijven.



*Figuur 6.5. FCA geplaatst in de gevel van een gerberabedrijf.*

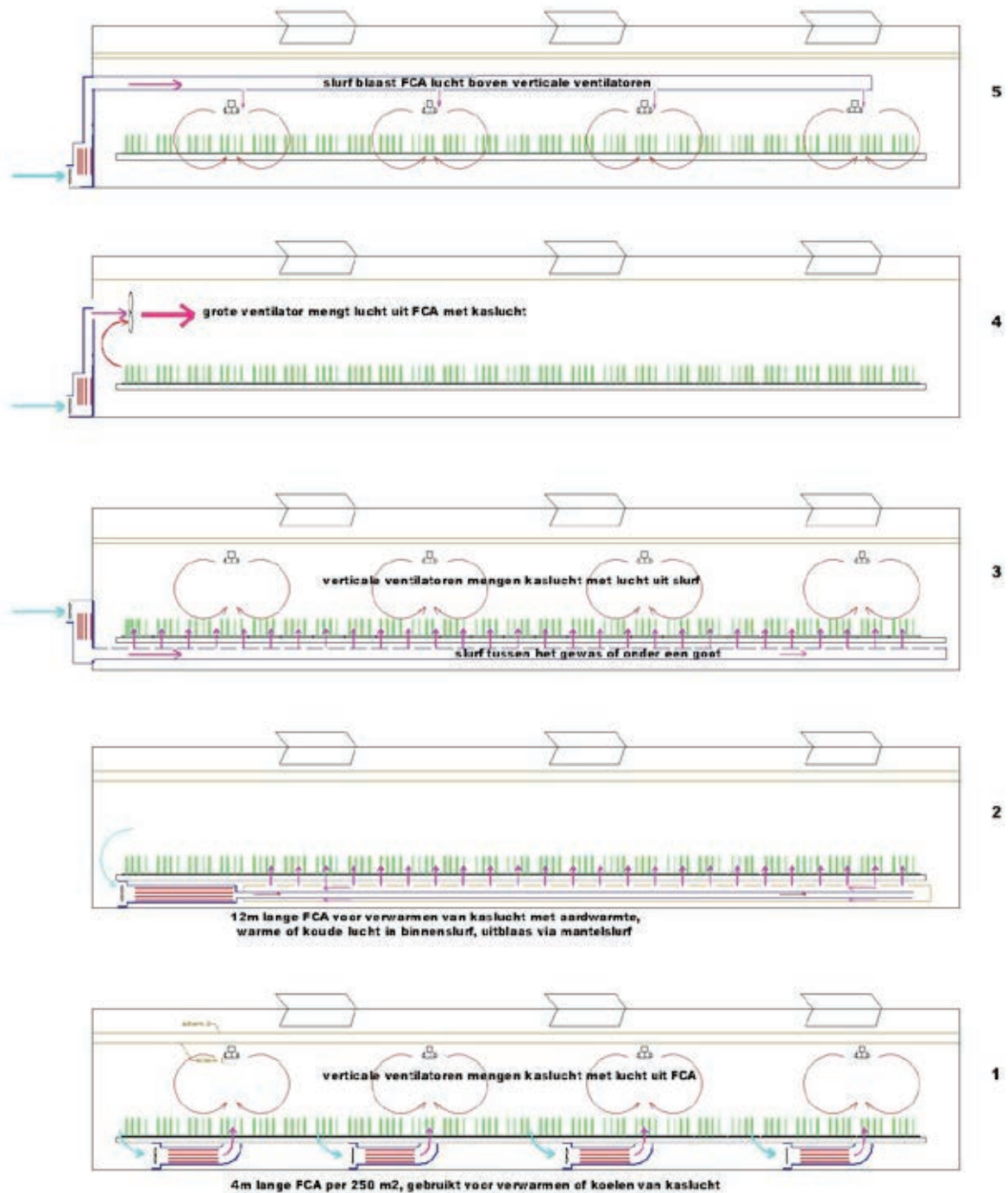
Aan dit systeem zijn prestatie metingen verricht in een apart project. In technische zin bleek dat het aanzuigrooster al snel de beperkende factor wordt van het systeem, zeker wanneer het filter vervuild. Daarom is de oppervlakte ervan verdubbeld ten opzichte van de aanzuigopening van de ventilator zelf. De luchtverdeling over de slurven is afhankelijk van het toerental van de ventilator, maar was nooit slechter dan 80% van de maximum waarde. Dat is vooral te danken aan het ruime verdeelkanaal, het voorkomen van werveling daarin en het zodanig berekenen van de gaatjes in de slurf dat het totale oppervlak ervan nooit meer bedraagt dan 50% van het oppervlak van de slurfdoorsnede.

## 7 Evaluatie

Het ontwikkelingstraject van de FCA was lang. Dat kwam vooral omdat het pakket van eisen voor deze goedkope warmtewisselaar voortdurend wijzigde. Dat was niet erg want het betekende dat de FCA kon bijdragen aan de bevordering van “Het Nieuwe Telen” en de inzichten over hoe je dat het beste kon uitvoeren zich in rap tempo ontwikkelde van een laboratoriumidee tot een praktijktoepassing. Daarnaast kwamen nieuwe zaken als aardwarmte en warmtepompen erbij. Alles overziend staat er nu een concept dat met water van maximaal 40 °C in heel veel verschillende situaties ingezet zal kunnen worden en daar worden nog steeds nieuwe aan toegevoegd, zoals recent het regenereren van zouten die vocht opnemen en het koelen van kassen. De lage investering en de corrosiebestendigheid zijn zaken die in de glastuinbouw zeer gewenst zijn. Ook het feit dat inpassing in bestaande kassen vrij eenvoudig is dankzij de lage watertemperatuur, de eenvoudige aansluiting en plaatsing onder een teeltgoot of in de gevel.

Een belangrijk discussiepunt blijft de kosten/baten analyse. Schermen sluiten en daaronder ontvochtigen met buitenlucht bespaart veel energie, zeker wanneer het stroomverbruik om het systeem te laten functioneren laag genoeg wordt gehouden door niet meer lucht te verplaatsen dan noodzakelijk en dat dan te doen via zo ruim mogelijke kasten en slurven. Dat is hier zeker gelukt met een stroomverbruik van 2 kWh/m<sup>2</sup>.jaar. De discussie gaat vooral over de vraag hoe de binnengebrachte lucht zo goed mogelijk op de plek komt waar hij nuttig is. Veelal is dat in het hart van een plant of tussen dicht op elkaar staande takken, plekken dus waar erg weinig natuurlijke luchtbeweging is of waar deze sterk is verminderd wanneer de buistemperaturen dalen als gevolg van meer isolatie. Dat is een vraagstelling op zich waarop in andere projecten naar het antwoord wordt gezocht. Feit is wel dat het verplaatsen van grote hoeveelheden lucht via slurven altijd meer stroom verbruikt dan verplaatsing door de vrije ruimte. Anderzijds, als je met slurven de gaatjes zo kunt plaatsen dat ze direct naar de kritieke plek blazen, kun je met veel minder luchtverplaatsing volstaan. Per gewas is die situatie anders, maar de FCA is in dat opzicht eenvoudig aan te passen aan het beoogde distributiesysteem voor de uitgeblazen lucht. In Figuur 8.1. zijn een aantal voorbeelden gegeven van geteste of gerealiseerde combinaties. Zo draait er nu een systeem waarbij de FCA in de gevel van de kas is geplaatst die vanuit een opening net onder het schermdoek droge buitenlucht naar binnen blaast die vervolgens opgepikt wordt door een grote ventilator die kaslucht horizontaal in de lengterichting van de kap over het gewas blaast. Bij die ventilator wordt 5000 m<sup>3</sup>/uur buitenlucht gemengd met 18000 m<sup>3</sup>/uur kaslucht. Daarmee wordt bij moeilijk indringbare gewassen bereikt dat de RV net boven het gewas zo laag mogelijk wordt. Door diffusie moet dan vervolgens het vocht tussen het gewas vandaan transporteren. Binnen het gewas is er dan nauwelijks luchtbeweging, maar toch wel vochttransport.

Een andere toepassing van de FCA is het koelen of verwarmen van kaslucht. Dat is vooral interessant wanneer er een goedkope warmtebron met lage temperatuur beschikbaar is. Het kan ook één van de toekomstige wegen worden naar de inzet van duurzame energie (zon, wind, aardwarmte, warmtepomp). Daarbij doet zich wel het probleem voor dat in een slurf de uitgeblazen lucht in temperatuur zakt of stijgt. Daardoor is de uitblaastemperatuur niet over de hele lengte van de slurf gelijk. Er zijn twee oplossingen denkbaar: een geïsoleerde slurf en een “Tichelman” systeem voor aansluiting van de slurven. Dat laatste betekent dat er steeds 2 slurven naast elkaar liggen waarvan de één in de andere richting stroomt dan de andere.



Figuur 7.1. Verschillende methoden om de FCA te combineren met circulatie van kaslucht.

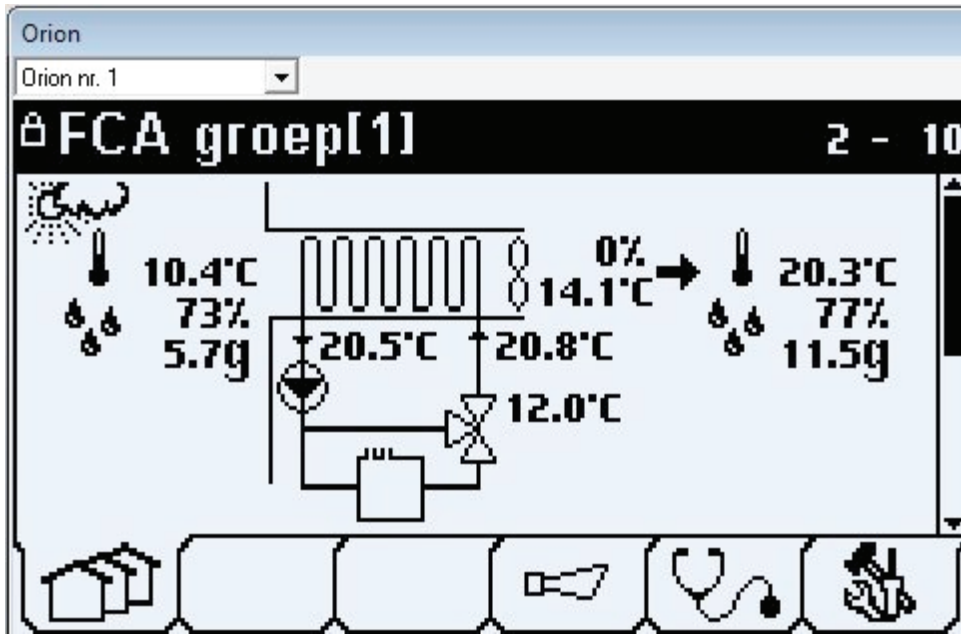
In technische zin zijn de kinderziekten van de FCA inmiddels overwonnen. In het begin was het zoeken naar een betaalbare en betrouwbare methode om de panelen aan te sluiten en te ontlichten. In principe kan alle leidingwerk in kunststof worden uitgevoerd omdat er geen hogere aanvoertemperatuur dan 40 °C nodig is. Omdat de panelen van kunststof zijn moet de waterdruk in het systeem niet boven de 1 bar komen. Helaas bleek het systeem niet vorstbestendig bij -18 °C. Aan een goede doorstroming met warm water moet dus wel de nodige aandacht worden besteed en het afsluiten van de luchtingang met een klep is aan te bevelen. De toegankelijkheid van de omkasting is vergroot om te kunnen inspecteren en eventueel te repareren.



Verreweg de grootste inspanning is geleverd om de kosten van aansluiten, controleren en bedienen van de kasten zo laag mogelijk te krijgen. In de praktijk bleek namelijk dat deze kosten de investering in de FCA ver overtroffen. De oplossing werd gevonden door alle kasten per afdeling als één systeem te beschouwen en als standalone eenheid te bedienen. Door de kasten in Tichelman aan te sluiten kan ervoor gezorgd worden dat alle kasten evenveel doorstroming krijgen.

Door middel van een logische controller met internet aansluiting zorgt de eenheid voor het op peil houden van de RV op een bepaalde meetplek, daarbij rekening houdend met de temperaturen en de vochtcondities binnen en buiten.

Dat systeem ziet er als volgt uit:



Figuur 7.2. screenshot regelsysteem Orion.

Gemeten worden binnentemperatuur en RV. Wordt de RV te hoog dan kijkt de regelaar naar het verschil in absoluut vocht binnen/buiten. Daarvoor zijn er ook buitensensoren aangesloten. Is dat verschil te klein, dan loont het niet om te gaan blazen. De verwarming wordt nu door middel van een mengklep zodanig aangestuurd dat een temperatuur zal worden uitgeblazen die overeenkomt met de gemeten kasttemperatuur. Daarin kan eventueel nog een offset worden ingesteld. Nadat gecontroleerd is of de gewenste plaattemperatuur bereikt is gaat de ventilator met een instelbaar toerental draaien. Integratie met de klimaatcomputer is mogelijk. Het volstaat echter ook om de vochtregeling van de raam en doekstanden en de minimum buis op een iets hogere RV of vochtdeficit te zetten, zodat deze alleen als noodmaatregel gaan functioneren.



## 8 Conclusies

De FCA is een warmtewisselaar die met water van 40 °C buitenlucht kan opwarmen tot kasttemperatuur bij een luchtdebiet tot  $10 \text{ m}^3/\text{m}^2_{\text{kas}}/\text{uur}$ . Meer debiet is mogelijk door het plaatoppervlak en de ventilator in de FCA te vergroten. Het warmtewisselend vermogen bedraagt per  $\text{m}^2$  plaat ongeveer 50 W per graad verschil tussen de gemiddelde watertemperatuur en de gemiddelde luchttemperatuur in de kast. Een FCA met 6 platen van  $4 \times 0,6\text{m}$  kan bij een gemiddelde delta  $T_{\text{lucht-water}}$  van  $10^\circ\text{C}$  per uur  $2400 \text{ m}^3$  buitenlucht inblazen en daarmee dan  $480 \text{ m}^2$  kas van droge lucht voorzien, in dit geval een halve tralie van 8m breed en 120 lang. De Aircobreezers zorgen ervoor dat er niet onder iedere teeltgoot een FCA nodig is, zeker bij een dicht gewas. Bij plaatsing in een gevel kan één FCA meerdere slurven van lucht voorzien en daarmee de hele tralie tot 120m lengte bedienen. Door de kunststof uitvoering is een relatief groot plaatoppervlak nodig, maar dat kan eenvoudig onder een teeltgoot of in de kasgevel worden geplaatst, ook in bestaande kassen. Meerdere FCA kasten zijn als één groep aangesloten in een afdeling en worden als één systeem geregeld door een standalone regelaar. Daarmee blijft de investering binnen de €8 / $\text{m}^2$  kas. Er bestaan voor uiteenlopende toepassingen zoals dichte of open gewassen of diverse warmtebronnen zoals aardwarmte, warmtepompen en rookgascondensators uitvoeringsvormen die vooral verschillen opleveren in het systeem waarmee de uit de FCA komende lucht in de kasruimte wordt verspreid. Maar ook de dimensionering van de FCA zelf kan eenvoudig aan allerlei wensen worden aangepast.

Dankzij ruime afmetingen van de kanalen in de kast zelf en de slurven die daarmee verbonden zijn is de luchtzijdige weerstand zo laag dat het stroomverbruik minimaal is, ongeveer 2 kWh/ $\text{m}^2$ /jaar bij 3000 draaiuren.

Door het gebruik van kunststof panelen is het systeem iets kwetsbaarder dan metalen warmtewisselaars, maar daar staat tegenover dat er nooit gevaar is op corrosie. Met de juiste maatregelen zoals het creëren van een aparte groep, temperatuurbewaking en het werken met een lage systeem druk kan net als bij PE slangensystemen een groot deel van de risico's worden vermeden.









