

# Kasventilatie met verdampingskoeling

Ir. N.J. van de Braak

imag-dlo



SIGN: R 606-91/19  
EX. NO:  
MLV: 1992160512

CIP-GEGEVENS KONINKLIJKE BIBLIOTHEEK, DEN HAAG

Braak, N.J. van de

Kasventilatie met verdampingskoeling / N.J. van de Braak. – Wageningen : DLO-Instituut voor Mechanisatie, Arbeid en Gebouwen (IMAG-DLO), – III.

Rapport 91-19. – Met lit. opg. – Met samenvatting in het Engels.

ISBN 90-5406-012-3 geb.

NUGI 849

Trefw.: ventilatie ; kassen.

© 1991

IMAG-DLO

Postbus 43 – 6700 AA Wageningen

Telefoon 08370-76300

Telefax 08370-25670

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, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

All rights 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 written permission of the publisher.

# Voorwoord

Licht is een belangrijke factor voor de groei van in kassen geteelde gewassen. Bij het streven een zo hoog mogelijke lichttoetreding in kassen te realiseren, is het luchttingsmechanisme een hinderpaal. Voordat echter kan worden overgegaan tot kasconstructies zonder luchtramen, dient een deugdelijk alternatief ventilatiesysteem ontwikkeld te worden.

De afdeling Werktuigbouwkunde van de Technische Universiteit Delft heeft een dergelijk systeem in opdracht van de kassenbouwfirma Hordijk bv ontworpen. Het voorliggende rapport presenteert de uitkomsten van een onderzoek dat IMAG-DLO met dat systeem heeft uitgevoerd. De resultaten zijn bemoedigend en rechtvaardigen een verdere ontwikkeling van de in het systeem gebruikte ideeën.

Ir. A.A. Jongebreur  
directeur

# Inhoud

<b>Voorwoord</b>	3
<b>Samenvatting</b>	5
<b>Abstract</b>	5
<b>1 Inleiding</b>	6
<b>2 Ventilatiesysteem</b>	7
2.1 Ontwerpgegevens	7
2.2 Uitvoering	7
<b>3 Doel van het onderzoek</b>	9
<b>4 Uitvoering van het onderzoek</b>	10
4.1 Kasafdeling	10
4.2 Ventilatiesysteem	11
4.3 Teelten	12
4.4 Metingen	13
<b>5 Resultaten</b>	15
5.1 Mechaniek	15
5.2 Geluid	15
5.3 Koeling en bevochtiging	16
5.4 Kasluchttemperatuur en luchtvochtigheid	17
5.5 Gewas en gewasbehandeling	21
<b>6 Conclusies en aanbevelingen</b>	23
<b>Summary</b>	24
<b>Referenties</b>	24

# Samenvatting

In opdracht van de kassenbouwfirma Hordijk bv is door de Technische Universiteit Delft een ventilatiesysteem met verdampingskoeling voor kassen zonder luchtingsramen ontworpen. Dit systeem is gedurende twee teeltseizoenen bij het DLO Instituut voor Mechanisatie, Arbeid en Gebouwen beproefd. Het bleek mogelijk het kasklimaat in de zomer binnen acceptabele grenzen te beheersen. Noch bij de teelt van paprika, noch bij die van tomaat traden problemen op met het gewas. De technische uitvoering van het systeem behoeft nog verbetering. Bij invoering in de praktijk zullen, door schaalvergroting, het geluidsniveau en het ruimtebeslag mogelijk problemen vormen.

## Abstract

A ventilation system with integrated evaporative cooling for greenhouses without vents has been tested during two growing seasons. Under Dutch summer conditions the greenhouse temperature could be maintained below the required level. No significant problems were encountered with the crop while growing green peppers or tomatoes. The system needs improvement on technical details.

# 1 Inleiding

Het streven naar energiebesparing leidde in de tachtiger jaren tot onderzoek naar de mogelijkheden om te komen tot een nieuw ontwerp voor tuinbouwkassen. De nieuw te ontwerpen kas zou een lage energiebehoefte moeten paren aan een hoge lichtdoorlatendheid. Vanzelfsprekend zou daarnaast de productie in zo'n kas kwantitatief en kwalitatief op peil moeten blijven en zo mogelijk zelfs moeten toenemen.

De oplossingen voor het gestelde probleem werden vooral gezocht op het gebied van vermindering van het gebruik van constructieve delen en de toepassing van kunststoffen (v. Paassen e.a., 1987 en de Noord, 1987). Het weglaten van luchttingsramen in het kasdek zou een aanmerkelijke vereenvoudiging van de constructie betekenen en goede perspectieven openen om, met alternatieve dakbedekkingsmaterialen, zowel energiebesparing als een hoge lichtdoorlatendheid te bereiken.

In een dergelijke kas is echter mechanische ventilatie noodzakelijk, teneinde de temperatuur in de kas, gedurende het zomerseizoen, niet onacceptabel hoog te laten worden.

In 1988 werd door de afdeling Werktuigbouwkunde van de Technische Universiteit te Delft (TUD), in opdracht van de kassenbouwfirma Hordijk bv te Berkel en Rodenrijs, een ventilatoreenheid ontworpen voor kassen zonder luchtramen.

De resultaten van de testen op laboratoriumschaal, uitgevoerd door de TUD, waren zo bemoedigend dat werd besloten het systeem bij het DLO Instituut voor Mechanisatie, Arbeid en Gebouwen (IMAG-DLO) op kleine schaal, onder omstandigheden die dichterbij de praktijk staan, te testen.

In dit rapport worden de uitvoering en de resultaten besproken van deze test bij het IMAG-DLO. Eerst wordt een korte beschrijving van het ventilatiesysteem gegeven, gevolgd door een bespreking van het uitgevoerde onderzoek en de resultaten daarvan.

## 2 Ventilatiesysteem

### 2.1 Ontwerpgegevens

In de traditionele Nederlandse kassen worden de luchttingsramen gebruikt om warmte en vocht in de vorm van waterdamp af te voeren, op momenten dat de luchttemperatuur of de luchtvochtigheid in de kas te hoog oploopt. Deze afvoer vindt plaats door warme vochtige kaslucht te vervangen door koelere en drogere buitenlucht. De hoeveelheid lucht die vervangen moet worden, hangt af van de gewenste (of maximale) temperatuur en vochtigheid van de kaslucht, de heersende buitenluchtcondities en de in de kas gebrachte hoeveelheid warmte (afkomstig van instraling van de zon en/of van het verwarmingssysteem).

Bij de berekening van het hier besproken ventilatiesysteem is de TUD uitgegaan van de volgende ontwerpgegevens:

Globale straling	800 W/m <sup>2</sup>
Buitentemperatuur	28 °C
Maximale kasluchttemperatuur	30 °C
RV buiten	59 %
Maximale RV kaslucht	95 %

De gekozen combinatie van buitenomstandigheden vraagt om enige toelichting. Bij het door de TUD ontworpen ventilatiesysteem wordt gebruik gemaakt van bevochtigingskoeling. Hogere buitentemperaturen en stralingsintensiteiten komen zeker met enige regelmaat voor. In het algemeen is de relatieve vochtigheid buiten dan echter lager. Dit is voor een systeem met bevochtigingskoeling gunstiger, in die zin dat dan minder lucht bevochtigd en in de kas gebracht behoeft te worden. Volgens Reudink (1989) is de kans dat de weersituatie ongunstiger uitvalt dan hierboven is aangegeven 1 à 2 dagen per jaar.

Voorts is aangenomen dat 80 % van het zonlicht door het kasdek wordt doorgelaten en dat circa 2/3 van de binnenkomende stralingsenergie door het gewas wordt gebruikt voor verdamping.

Het ventilatiesysteem moet onder ontwerpcondities dan nog 213 W/m<sup>2</sup> afvoeren. Door de van buiten aangevoerde ventilatielucht adiabatisch te bevochtigen, kan de temperatuur hiervan met 5 °C worden teruggebracht van 28 °C tot 23 °C. In de kas gekomen, stijgt deze lucht vervolgens 7 °C in temperatuur tot 30 °C. Om hierbij 213 W/m<sup>2</sup> op te nemen is een ventilatie-debiet van 92 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·h) nodig.

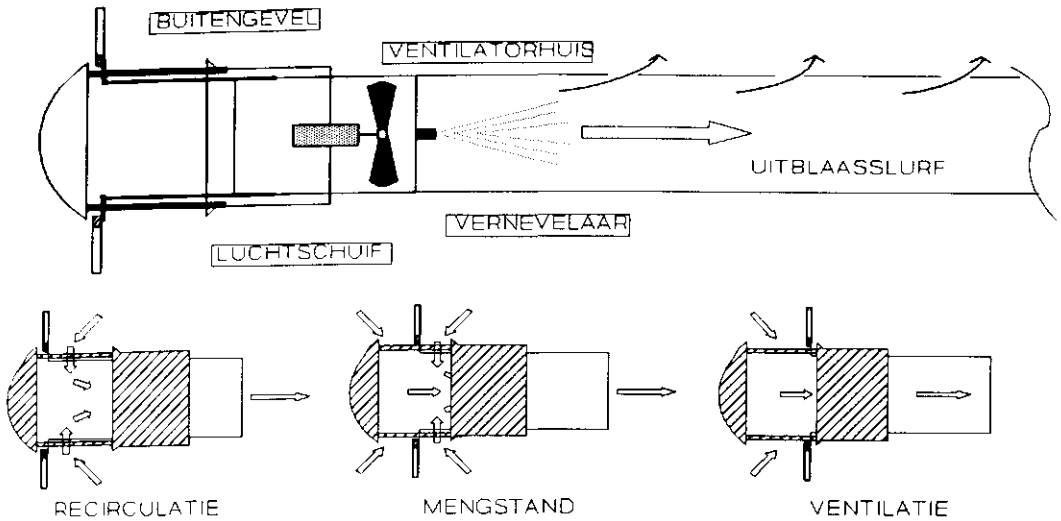
### 2.2 Uitvoering

De TUD is uitgegaan van ventilatoreenheden, die in de kopgevel van de kas worden aangebracht. Elke eenheid, uitgerust met een axiaalventilator, voorziet een strook van 1,6 meter breed en maximaal 50 meter lang (80 m<sup>2</sup> kasoppervlak) van ventilatielucht. Het maximale debiet van zo'n ventilatoreenheid bedraagt aldus 7360 m<sup>3</sup>/h.

De lucht wordt in de kas verdeeld via een geperforeerde slang (Ø 45 cm) van polyetheen buisfolie, die aan de ventilatoreenheid bevestigd is. Direct achter de ventilator is een vernevelaar aangebracht waarmee, om de adiabatische bevochtiging te realiseren, kleine waterdruppels in de luchtstroom worden gebracht.

Voorts is de ventilatoreenheid voorzien van een schuif waarmee de verhouding van de door de ventilator aangezogen hoeveelheden binnen- en buitenlucht kan worden ingesteld. De aandrijfmotor van de ventilator kan naar wens op een hoog of een laag toerental worden geschakeld om, in perioden dat de ventilatiebehoefte gering is, de geluidshinder en het energieverbruik te kunnen beperken.

In figuur 2.1 is schematisch de uitvoering van de ventilatoreenheid weergegeven.



Figuur 2.1 Schema uitvoering ventilatoreenheid.

Figure 2.1 Scheme of fan unit.

Om voldoende temperatuurdaling van de aangezogen buitenlucht te bereiken, is het nodig dat er zoveel mogelijk water verdampt in de luchtstroom. Hierbij dient de overmaat van in de luchtstroom gebracht water zo beperkt mogelijk te blijven. De door de vernevelaar ingebrachte waterdruppels moeten daarom kleiner zijn dan 10 micrometer. Om dit te bereiken moet het water worden verneveld met perslucht onder een druk van ongeveer 0,3 MPa. Reudink (1988) mat bij tests in het laboratorium een temperatuurrendement van 80 %, bij een overmaat van het verneveld water van 82 %. Het temperatuurrendement is hierbij gedefinieerd als

$$(T_b - T_s) / (T_b - T_n)$$

waarin  $T_s$  de temperatuur is in de folieslang en  $T_b$  en  $T_n$  respectievelijk de temperatuur en de natteboltemperatuur van de buitenlucht.



### 3 Doel van het onderzoek

De laboratoriumtests van het prototype van de ventilatoreenheid werden in 1988 door de TUD afgerond. De resultaten waren bemoedigend, zodat besloten werd bij het IMAG-DLO op kleine schaal een test uit te voeren in een kas met gewas.

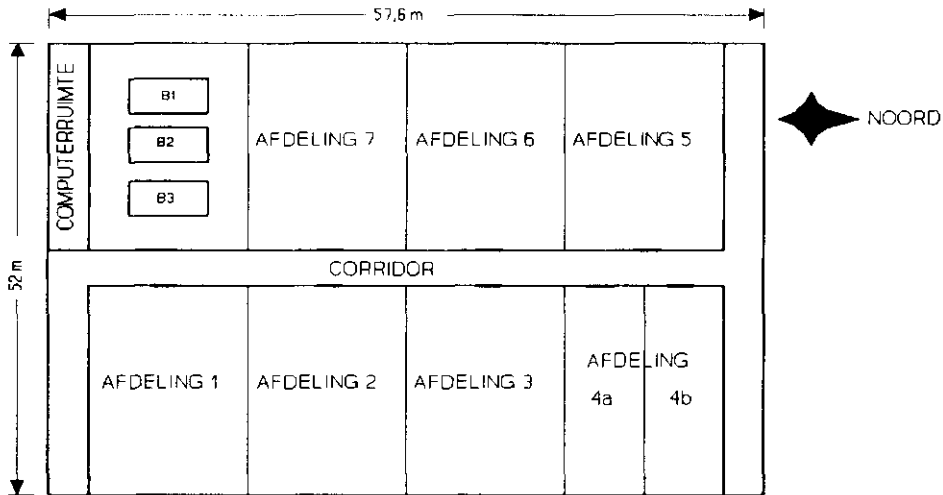
De doelstelling van deze test was een antwoord te krijgen op de volgende vragen:

- Is het ventilatiesysteem in staat de temperatuur in een kas onder praktijkomstandigheden beneden het gewenste maximum te houden?
- Welke temperatuurverschillen ontstaan er met name in de richting van de uitblaasluurven in de kas als gevolg van het ventilatiesysteem?
- Welke luchtvochtigheden treden er onder verschillende omstandigheden op?
- Treden er bijzondere problemen op met betrekking tot de teelt?
- Treden er bijzondere problemen op met betrekking tot de werking van de installatie?
- Is het geluidsniveau dat door de installatie wordt voortgebracht acceptabel?

# 4 Uitvoering van het onderzoek

## 4.1 Kasafdeling

De test is uitgevoerd in afdeling 7 van de Energiekas op het IMAG-DLO-terrein aan de Mansholtlaan te Wageningen. Dit is een afdeling met vier kappen van 3,2 meter breed, een lengte van 24 meter en een poothoogte die 3,75 meter bedraagt. De beide zijwanden zijn inpandig. De kopgevel aan de westzijde is een buitengevel, de gevel aan de oostzijde grenst aan de middencorridor, van waaruit de afdelingen van de Energiekas bereikt kunnen worden. Figuur 4.1 geeft een plattegrond van de Energiekas te zien.



Figuur 4.1 Plattegrond energiekas.

Figure 4.1 Plan of research greenhouse.

Afdeling 7 is uitgerust met een energiescherm type LS 10 en een schaduw scherm type LS 15. In het dek zijn aan weerszijden van de nok verspringend luchtingsramen van 0,75 bij 2 meter aangebracht. Ten behoeve van de test zijn deze ramen, behalve degene die in de vier vakken het dichtst bij de buitengevel zijn gelegen, losgekoppeld van de raammotoren.

De verwarming van de afdeling bestaat uit een net van gevinde aluminiumbuizen, type Alcoa 73-078, voor de basislast en een net van stalen buizen van 51 mm diameter om in de pieklast te voorzien. Het net van stalen pijpen doet tegelijkertijd dienst als buisrailsysteem.

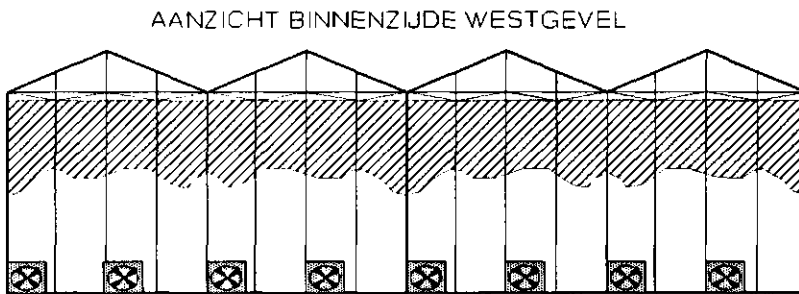
De kasafdeling is ingericht voor de teelt op steenwolmatten in goten. Hiertoe is de bodem vanaf de buitengevel naar de corridor op afschot gelegd. Het voedingswater wordt met behulp van druppelaars toegediend en het overschot loopt via de goten onder de steenwolmatten naar een verzamelput, waaruit het wordt opgepompt om opnieuw te worden gebruikt.

## 4.2 Ventilatiesysteem

Ten behoeve van de test in afdeling 7, die kleiner is dan bij het oorspronkelijk ontwerp, is de ventilatoreenheid als volgt met een kleinere capaciteit uitgevoerd:

- Ventilatorwaaier Multifan 394-10PP2C140-A19/6 met een opbrengst van ruim 3500 m<sup>3</sup>/h bij een druk van ruim 71 Pa.
- Elektromotor KMER 80G8-4 met 750 en 1500 omw./min.
- Luchtverdeelslang 22 meter lang van PE buisfolie UV-3 met een dikte van 0,18 mm en een diameter van 0,4 meter, aan de bovenzijde voorzien van paren uitblaasgaten met een diameter van 40 mm en een onderlinge afstand van 0,25 m. Deze verdeelslang is bovendien aan de onderzijde geperforeerd voor de drainage van het overtollig vernevelde water.
- Vernevelaars conform het ontwerp van de TUD (Reudink, 1988) met een werkdruk van 0,25 MPa voor zowel water als perslucht en een opbrengst van 0,34 l/min. (Dit is in verhouding met het debiet van de ventilator.)

De ventilatoreenheden zijn in de buitengevel aangebracht, zoals is aangegeven in figuur 4.2.



Figuur 4.2 Locatie ventilatoreenheden in buitengevel.

Figure 4.2 Location of fan units in outer wall.

De standaardindeling van de kappen is aangepast, door de paden met het buisrailsysteem 0,40 m in de richting van de noordgevel te verschuiven. Hierdoor valt in het geheel één gewasrij. De luchtverdeekanalen zijn opgehangen tussen de gewasrijen en onder de kanalen bevinden zich extra goten voor de afvoer van de overmaat aan vernevelde water.

De vernevelaars worden, door een compressor van Atlas Copco type LE 6, voorzien van perslucht via een leidingsysteem waarop alle ventilatoreenheden parallel zijn aangesloten. De watervoorziening vindt plaats via het bronwaterleidingsysteem dat ook de IMAG-kassen van voedingswater voorziet. Om vervuiling van de sproeikoppen te voorkomen is een extra filter gemonteerd. Voorts is een stelsel van kleppen en reductieventielen aangebracht om de waterhoeveelheid in twee stappen te kunnen regelen. Door de lage druk in het waterleidingnet bleek echter dat bij de inschakeling van het lage waterdebiet er een ongelijke verdeling van het water over de ventilatoreenheden optrad. Daarom is besloten alleen met het hoge waterdebiet te werken.

Voor de bediening van de luchtschuiven van de acht ventilatoreenheden is een tandheugelstelsel met een torsie-as langs de binnenzijde van de buitengevel aangebracht.

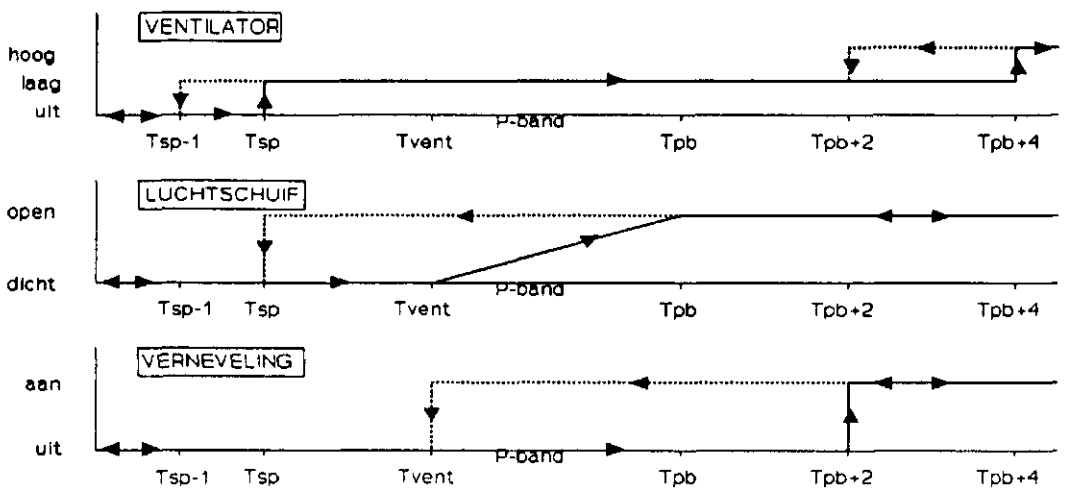
De computer voor de klimaatregeling werd voorzien van een module, die de luchttingsramen in de vakken het dichtst bij de buitengevel opent, indien de luchtschuiven in een stand worden gezet waarbij buitenlucht wordt aangezogen.

Voorts werd de klimaatcomputer voorzien van een regelmodule voor de ventilatoreenheden. Bij stijgende temperatuur worden hierdoor de volgende stuuracties geïnitieerd:

- De ventilator wordt op het lage toerental ingeschakeld, waardoor er recirculatie van de kaslucht op gang komt.
- De luchtschuif wordt geopend, waardoor geleidelijk buitenlucht wordt aangezogen en in de kas gebracht.
- De vernevelaar wordt ingeschakeld, waardoor via verdamping warmte aan de aangezogen buitenlucht wordt onttrokken.
- De ventilator wordt op het hoge toerental geschakeld, waardoor meer buitenlucht in de kas wordt gebracht.

Bij afnemende temperaturen worden de stuuracties in omgekeerde volgorde doorlopen, met dit verschil dat de omschakelwaarden van de temperatuur verschoven zijn, om een onrustig regelgedrag te voorkomen.

Figuur 4.3 geeft de regelacties als functie van de kastemperatuur schematisch weer.



Figuur 4.3 Regelacties als functie van de temperatuur.

Figure 4.3 Control actions as function of greenhouse temperature.

### 4.3 Teelten

Het ventilatiesysteem is in de periode van december 1988 tot februari 1989 in afdeling 7 ingebouwd. Van maart 1989 tot en met oktober 1989 werden paprika's geteeld. De test in deze periode werd in opdracht van Hordijk uitgevoerd, in een samenwerkingsverband tussen de TUD en IMAG-DLO, en gefinancierd door de NOVEM.

In de periode van maart 1990 tot en met september 1990 heeft het IMAG-DLO op eigen initia-

tief en op eigen kosten een tomatenteelt uitgevoerd. Deze tweede test is enerzijds uitgevoerd om de bevindingen uit de eerste teelt te verifiëren en de moeilijkheden bij de teelt van een tweede gewas te onderzoeken. Anderzijds bood deze test de mogelijkheid om binnen een ander onderzoekproject te bepalen of de geïnstalleerde apparatuur van dienst kan zijn bij de regeling van de gewasverdamping.

#### 4.4 Metingen

Gedurende de teelten zijn de volgende metingen verricht:

- Incidentele metingen:

*Geluidsniveau.* Op drie plaatsen in afdeling 7 (in het centrum, nabij de ventilatoren en nabij de corridor) zijn metingen verricht met behulp van geluidsniveaumeters van Bruel & Kjaer, type 2231. Deze metingen zijn uitgevoerd in de situatie dat de ventilatoren op lage en hoge snelheid draaiden met de vernevelaars al dan niet ingeschakeld. De metingen vonden plaats met een volgroeid paprikagewas in de afdeling.

*Luchtdebiet.* Tijdens de eerste teelt zijn door de TUD debietmetingen verricht aan de ventilatoreenheden (Reudink, 1989). Gedurende de tweede teelt is met behulp van een pitot-buismeting het debiet bepaald van één van de ventilatoreenheden bij beide toerentallen.

*Temperatuur in slurven en bevochtigingsrendement.* De TUD heeft tijdens de paprikateelt de temperatuurverlaging als gevolg van de adiabatische bevochtiging bepaald alsmede het bevochtigingsrendement. Tijdens de tomatenteelt is op een aantal dagen het bevochtigingsrendement en het temperatuurverloop in één van de slurven bepaald.

- Metingen in verband met de klimaatregeling.

Ten behoeve van de klimaatregeling zijn gedurende de gehele teeltduur de volgende gegevens verzameld:

*Kasluchttemperatuur en luchtvochtigheid.* Deze zijn bepaald met behulp van een geventileerde meetbox met PT 100 elementen, uitgevoerd als psychrometer met droge en natte bol.

*Overige.* De standen van de kleppen voor de toevoer van water en perslucht naar de vernevelaars. De stand van de luchtschuiven. De stand van het ventilatortoerental (uit/laag/hog). En de stand van de luchtingsramen.

- Klimaatwaarnemingen

Met behulp van een datalogger HP 3497A zijn tijdens de gehele teeltduur de volgende klimaatgegevens verzameld:

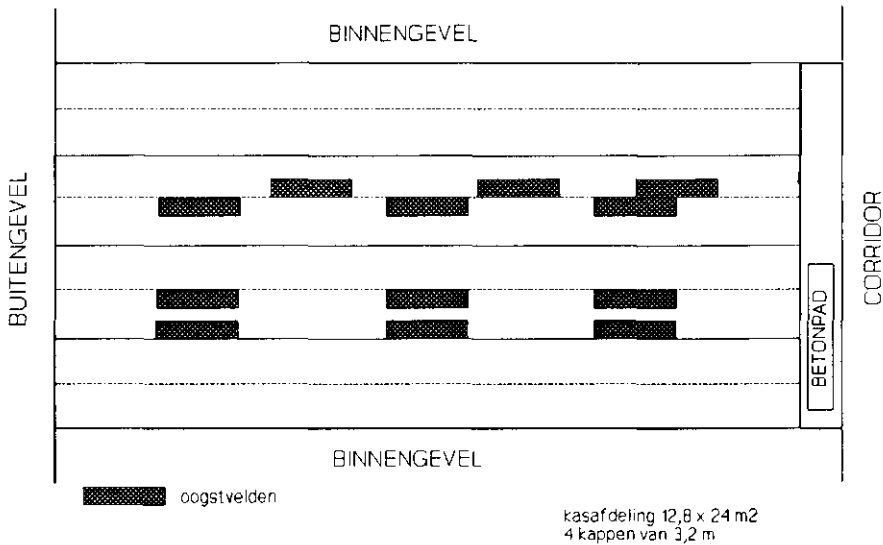
*Temperatuur en vochtigheid.* Op twee meter hoogte is met behulp van psychrometers op 3 plaatsen de kasluchttemperatuur en de luchtvochtigheid bepaald. Nabij de buitengevel, in het centrum van de kas en nabij de corridor. In de naastgelegen afdeling 6 is met behulp van een geventileerd en afgeschermd thermokoppel op twee meter hoogte nabij de buitengevel ter vergelijking eveneens de temperatuur bepaald.

Weergegevens. Op het IMAG-terrein nabij de Energiekas is een weertoren geplaatst, waarmee gegevens over de luchttemperatuur, RV en globale straling verkregen zijn.

- Oogstwaarnemingen

Tijdens de eerste teelt (paprika's) zijn geen metingen aan de oogst verricht.

Gedurende de tweede teelt (tomaten) zijn, op de in figuur 4.4 aangegeven proefvelden, de opbrengsten bepaald in afdeling 7 en ter vergelijking eveneens in de naastgelegen afdeling 6.



Figuur 4.4 Locatie proefvelden in zowel afdeling 6 als 7.

Figure 4.4 Location of harvest areas in compartments 6 & 7.

# 5 Resultaten

## 5.1 Mechaniek

Bij de montage van het ventilatiesysteem bleek dat de torsie-as, voor de bediening van de luchtschuiven, meer lagersteunen nodig had dan aanvankelijk was gedacht. Nadat deze waren aangebracht, bleek na verloop van tijd dat, bij het openen en sluiten van de luchtschuiven, door wrijvingsweerstand de torsie in de aandrijfas in sommige gevallen te groot werd om alle schuiven gelijk te laten lopen.

Reeds tijdens de eerste teelt kwam naar voren dat de geselecteerde motoren niet geheel geschikt waren voor de toepassing in axiaalventilatoren. Hierdoor ontstond speling op de motorlagers, zodat zowel tijdens de eerste als de tweede teelt enige motoren vervangen of gereviseerd moesten worden.

## 5.2 Geluid

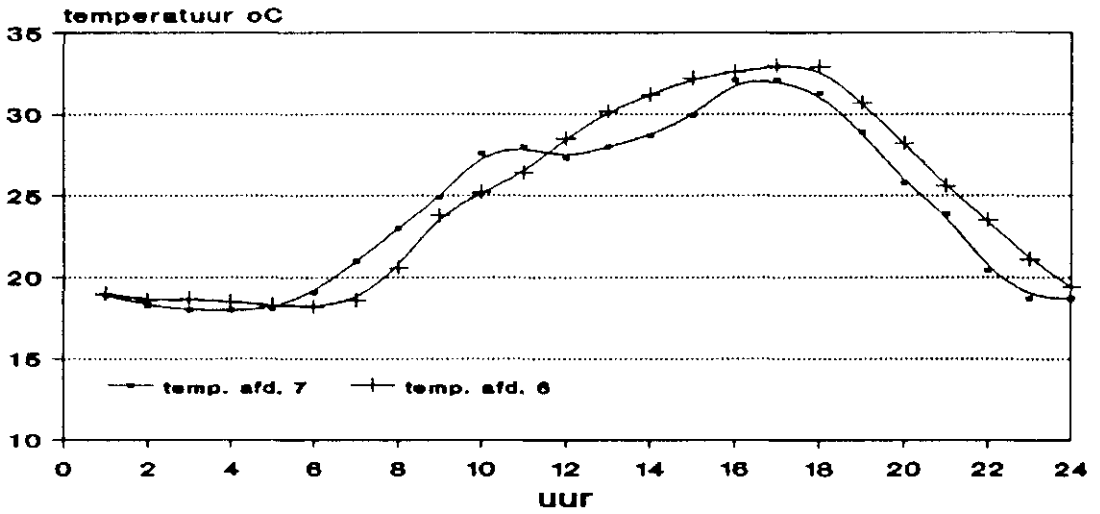
De meetresultaten zijn weergegeven in de onderstaande tabel. Met de ventilatoren op hoog toerental geschakeld en de vernevelaars in werking blijft het geluidsniveau nog juist onder de grens van 80 dBA, waarbij bij langdurige blootstelling geen gehoorschade optreedt.

Tabel 1 Geluidsniveau in dBA in energiekas afd.7 (18-07-89).

Table 1 Noise level in dBA in compartment 7 (18-07-89).

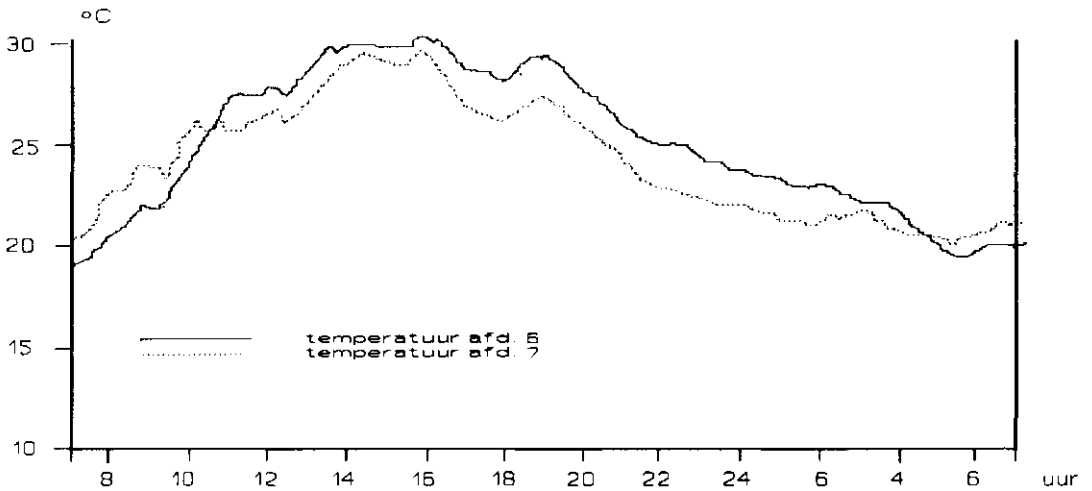
	westgevel	midden	oostgevel
vent : laag nevel : uit	67,6	62,7	59,3
vent : laag nevel : aan	77,6	72,6	67,0
vent : hoog nevel : aan	79,4	74,8	70,9

Bij schaalvergroting moet rekening worden gehouden met hogere ventilatortoerentallen en luchtsnelheden. Hierbij zullen in het algemeen hogere geluidsniveaus optreden, zodat maatregelen nodig zullen zijn om deze tot een acceptabel niveau terug te brengen.



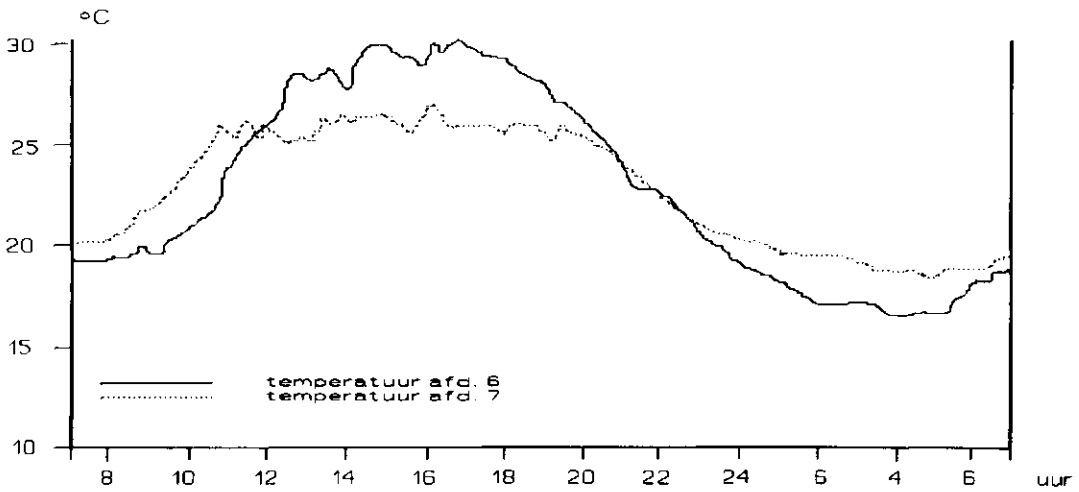
Figuur 5.1 Temperatuurverloop bij buitengevel afd. 6 en 7 (20 mei 1989).  
 Figure 5.1 Course of temperature near outer wall compartments 6 & 7.

Dit is een beeld dat gedurende beide teelten steeds terugkeert. In de figuren 5.2 en 5.3 wordt dat nog eens geïllustreerd voor de temperatuur midden in de afdelingen op 27 respectievelijk 29 juli 1990 in het tweede teeltseizoen.



Figuur 5.2 Verloop temperatuur afdelingen 6 en 7 op 27 juli 1990.  
 Figure 5.2 Temperatures compartment 6 & 7, July 27 1990.

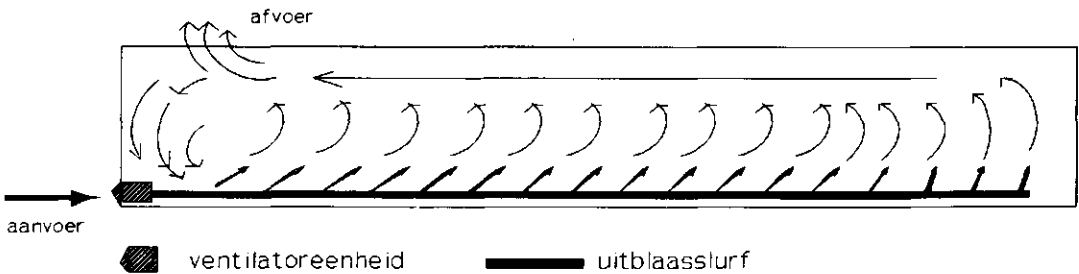




Figuur 5.3 Verloop temperatuur afdelingen 6 en 7, 29 juli 1990.

Figure 5.3 Temperatures compartments 6 & 7, July 29 1990.

Het kleinere verschil in figuur 5.2 wordt veroorzaakt doordat op die dag in afdeling 7 geen schaduw scherm werd gebruikt. De oorzaken van de hogere temperaturen nabij de gevel moeten gezocht worden in de nog geringe afkoeling van de lucht in de slurf omdat de verdamping van het vernevelde water pas gedeeltelijk heeft plaatsgevonden. Daarnaast wordt er door de uitstromingsrichting uit de slurf een (warme) luchtstroom geïnduceerd vanuit de nok van de kas langs de buitengevel in de richting van de ventilatoreenheden (in figuur 5.4 is schematisch het stromingspatroon weergegeven).

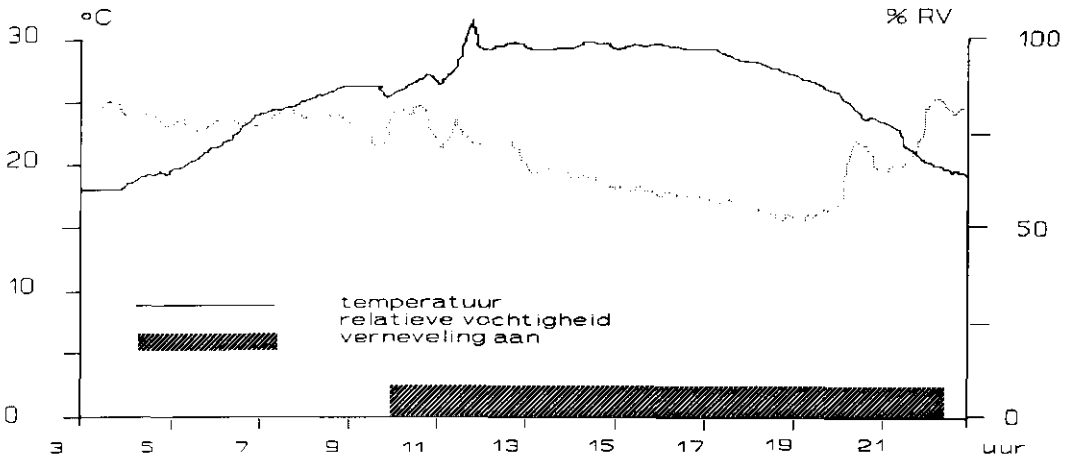


Figuur 5.4 Schematische weergave stromingspatroon in lengtedoorsnede afd. 7.

Figure 5.4 Scheme of air flow in compartment 7.

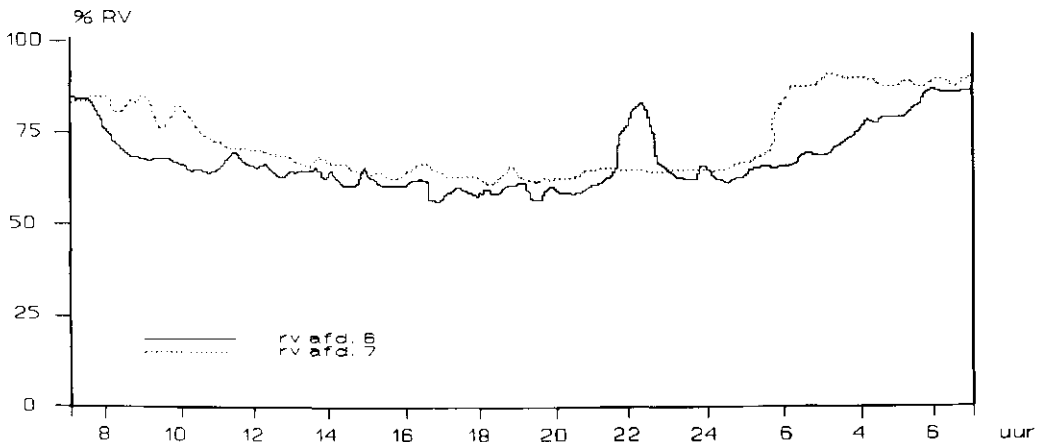
Over de luchtvochtigheid in de kas zijn de volgende opmerkingen te maken. Gedurende de eerste teelt is er alleen op temperatuur geregeld, waarbij de ventilatoreenheden de raamfunctie overnemen. Dit had tot gevolg dat, bij de overgang van het dagniveau van de temperatuur naar dat van de nacht, vaak de verneveling werd ingeschakeld om de temperatuurverlaging te bewerkstelligen. Door de dalende kasluchttemperatuur leidde dit tot hoge relatieve luchtvochtigheden. Als voorbeeld hiervan is in figuur 5.5 het verloop van temperatuur, RV

en waterklepstand op 24 mei 1989 weergegeven. Gedurende het warmste deel van de dag wordt de RV in afdeling 7 maar weinig hoger dan in de conventionele kassen.

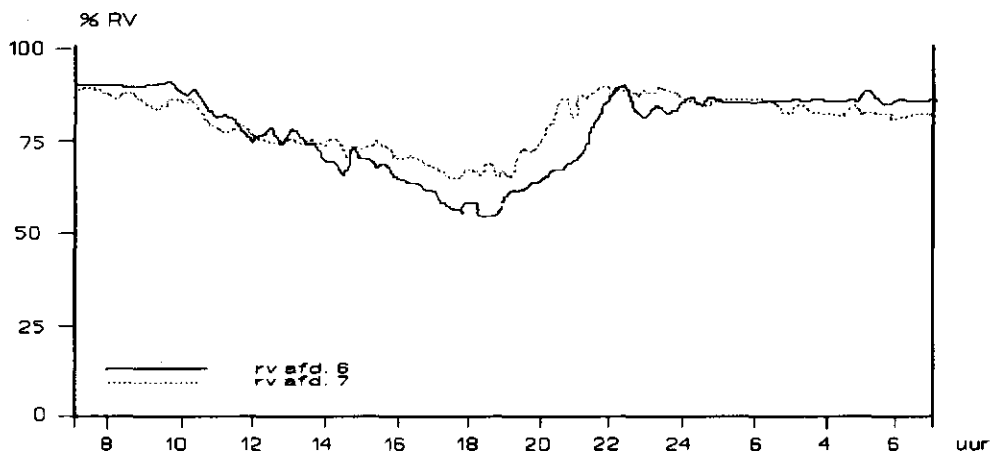


**Figuur 5.5** Verloop temperatuur en vochtigheid afdeling 7 op 24 mei 1989.  
*Figure 5.5* Temperature and RH in compartment 7, May 24 1989.

Tijdens het tweede teeltseizoen is gebruik gemaakt van een regelmodule in de klimaat-computer die, in afhankelijkheid van de globale straling, streefwaarden voor zowel de temperatuur als de RV instelde. Vergelijking van het verloop van de RV van de testafdeling en dat van de conventioneel geregelde afdeling 6 in de figuren 5.6 en 5.7 geeft te zien dat deze niet veel van elkaar afwijken. Indien de hogere RV tijdens de koelere periode van het etmaal een probleem zou vormen, dan kan dit gereduceerd worden, door eenvoudigweg zonder bevochtiging te ventileren.



**Figuur 5.6** Verloop RV in afdelingen 6 en 7 op 27 juli 1990.  
*Figure 5.6* RH in compartments 6 & 7, July 27 1990.

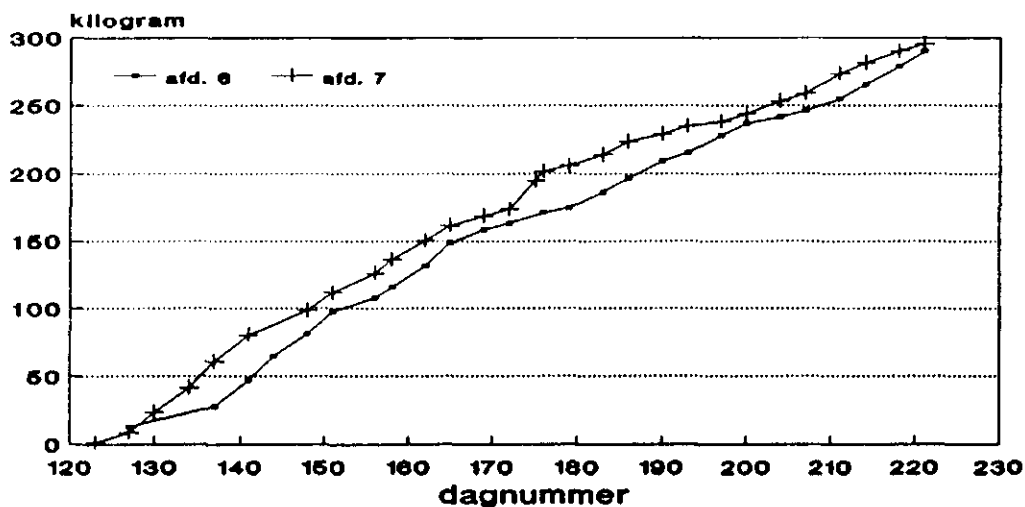


Figuur 5.7 Verloop RV afdelingen 6 en 7 op 29 juli 1990.

Figure 5.7 RH in compartments 6 & 7, July 29 1990.

### 5.5 Gewas en gewasbehandeling

Gedurende de eerste teelt (paprika) zijn geen metingen aan het gewas uitgevoerd. De gewasverzorgers hadden de indruk dat er in afdeling 7 iets minder neusrot optrad dan in de andere afdelingen, maar dat de problemen met insecten (in casu Trips) iets groter waren. Het eerste is mogelijk het gevolg van een iets gunstiger klimaat, het laatste heeft mogelijk als oorzaak de laaggelegen aanvoeropeningen van de ventilatoreenheden, waardoor meer insecten in de kas worden gebracht. Omdat deze zaken niet nader zijn onderzocht, blijven dit veronderstellingen. De opbrengst in de afdeling met het ventilatiesysteem leek niet veel af te wijken van die in de andere kasafdelingen.



kg tomaten van 12 proefvelden

Figuur 5.8 Cumulatieve opbrengst in afdelingen 6 en 7.

Figure 5.8 Cumulative yield in compartments 6 & 7.

Het verrichten van arbeid in afdeling 7 werd enerzijds plezieriger gevonden dan in de andere kasafdelingen, omdat er een 'aangenamer' (koeler) klimaat heerste, anderzijds werd het geluid van de ventilatoren (vooral op hoge snelheid) en de vernevelaars als hinderlijk ervaren. Door de grote diameter van de slurven was een versmalling van de looppaden tussen het gewas noodzakelijk. Dit leverde bij de werkzaamheden in de kas hinder en schade aan het gewas op. Gedurende de tweede teelt (tomaten) zijn op 12 proefvelden (figuur 4.4) de opbrengsten bepaald in afdeling 7 en ter vergelijking eveneens in de naastgelegen afdeling 6. In figuur 5.8 zijn de opbrengsten van de gezamenlijke proefvelden voor elk van de twee afdelingen cumulatief tegen de tijd uitgezet.

De opbrengst van afdeling 7 (295 kg) blijkt wat hoger te zijn dan die van afdeling 6 (290 kg). Analyse van de oogstresultaten geeft echter geen statistisch significant verschil tussen beide afdelingen te zien.

## 6 Conclusies en aanbevelingen

Tegen de achtergrond van het doel van het onderzoek kunnen de volgende conclusies worden getrokken.

- Gedurende de twee teelten zijn regelmatig hoge buitentemperaturen opgetreden. De luchtvochtigheid liep daarbij niet zo hoog op, dat de ontwerpcondities voor het ventilatiesysteem werden gehaald. Toch mag op basis van de analyse van de klimaatwaarnemingen worden aangenomen dat, met behulp van een ventilatiesysteem voorzien van verdampingskoeling, zoals dat in de IMAG-DLO-kas is onderzocht, men in staat is het zomerklimaat in kassen zonder luchtramen binnen acceptabele grenzen te beheersen.
- De temperatuur wordt plaatselijk (nabij de ventilatoreenheden) onder extreme omstandigheden tot 4 °C hoger dan in de rest van de kas.
- Bij keuze van de juiste regelstrategie wijkt de RV weinig af van die in een conventionele kas.
- Tijdens de uitgevoerde tests zijn geen bijzondere problemen met de teelt opgetreden. Er is geen significant verschil in opbrengst per eenheid van oppervlakte geconstateerd ten opzichte van een conventioneel geventileerde kas. Wel levert het ruimtebeslag van de polyetheen uitblaasslurven hinder op door de versmalde paden. Bovendien leidt dit tot een geringe verlaging van het beteelbare oppervlak.
- De installatie zelf vertoonde enkele kinderziekten. Zo dienen de elektromotoren voor de ventilatoren geselecteerd te worden met het juiste type lagering en zal zorg besteed moeten worden aan de constructie van de bediening van de luchtschuiven. Ook de verneveling behoeft de nodige verbetering.
- Het geluidsniveau van de installatie bleef, werkend op maximale capaciteit, nog juist onder de norm voor arbeidsomstandigheden van 80 dBA, maar werd wel als hinderlijk ervaren.

Samenvattend kan worden gezegd dat in principe het onderzochte systeem zeker perspectieven biedt voor de klimaatbeheersing in kassen zonder luchtramen. Een verdere ontwikkeling van het systeem is daarbij op zijn plaats. Hierbij zal dan vooral aandacht moeten worden besteed aan de volgende punten:

- verbetering van de constructieve uitvoering;
- gelijkmatige en constante verneveling;
- oplossingen voor het ruimtebeslag van de uitblaasslurven;
- verlaging van de geluidsproductie;
- aangepaste klimaatregeling;
- plaats en afmetingen van de opening voor luchtafvoer.

# Summary

On request of the greenhouse building company 'Hordijk bv', the Technical University Delft designed a mechanical ventilation system integrated with evaporative cooling for greenhouses without vents. The Institute of Agricultural Engineering (IMAG-DLO) tested this system during two growing seasons. The greenhouse climate could be controlled within acceptable levels by means of the system.

No significant problems with the crop were encountered while growing green peppers or tomatoes. Technical details need improvement.

Introduction in practice may be hampered by problems concerning noise level and occupation of greenhouse space due to upscaling.

# Referenties

Janssen, A.H.S., 1990. De invloed van vochtinjectie op klimaat en verdamping. Instituut voor Mechanisatie Arbeid en Gebouwen, Wageningen, HTuS Stageverslag.

Paassen, A.H.C. van, e.a., 1987. Haalbaarheidsonderzoek Golfkas. Technische Universiteit Delft, Afdeling Werktuigbouwkunde, Delft, Rapport nr K-132.

Noord, G.J. de, 1987. TU Delft ontwikkelt drie nieuwe kastypen. Klimaatbeheersing 16 (1987) nr. 4 (april).

Reudink, R.H.C., 1988. Test Klimaatinstallatie Golfkas. Technische Universiteit Delft, Afdeling Werktuigbouwkunde, Delft, Rapport Werkgroep Glastuinbouw.

Reudink, R.H.C. en A.H.C. van Paassen, 1989. Veldtest klimaatsysteem gesloten kas. Technische Universiteit Delft, Afdeling Werktuigbouwkunde, Delft, Rapport nr K-159.