

# Ventilatie in kassen

Ir. N.J. van de Braak  
Ing. J.J.G. Breuer

imag-dlo



SIGN: R606-91/14  
EX. NO:  
MLV: 1992210512

CIP-GEGEVENS KONINKLIJKE BIBLIOTHEEK DEN HAAG

Braak, N.J. van de, J.J.G. Breuer

Ventilatie in kassen / N.J. van de Braak, J.J.G. Breuer. – Wageningen : DLO Instituut voor Mechanisatie, Arbeid en Gebouwen (IMAG-DLO ). – III.

Rapport 91-14. – Met lit. opg., reg. – Met samenvatting in het Engels.  
ISBN 90-5406-007-7 geb.

NUGI 849

Trefw.: klimaatregeling, 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

In de sector glastuinbouw wordt gezocht naar produktiemethoden en technologie die het milieu minder vervuilen.

Het technologisch onderzoek naar gesloten kassen moet op termijn leiden tot een lagere uitstoot van schadelijke stoffen, zoals kooldioxide (CO<sub>2</sub>) en pesticiden door de Nederlandse glastuinbouw.

Bij gesloten kassen valt de natuurlijke ventilatie weg. Daardoor worden bijzondere eisen gesteld aan de apparatuur voor het beheersen van het klimaat. Vooral in de zomersituatie vormt het begrenzen van de maximale kastemperatuur een probleem.

In dit rapport worden op basis van de resultaten van een simulatiemodel bouwstenen aangedragen voor de realisatie van klimaatbeheersingssystemen voor gesloten kassen.

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 Modelbeschrijving en berekeningsgevallen</b> .....	7
2.1 Opbouw model DESSIM90 .....	7
2.2 Invoergegevens .....	7
2.3 Rekenprocedure .....	8
2.4 Regelmodules .....	9
2.4.1 Temperatuur-regelmodule .....	9
2.4.2 Relatieve vochtigheid-regelmodule .....	10
2.5 Berekeningsgevallen .....	10
2.6 Verdere bewerkingen .....	11
<b>3 Resultaten</b> .....	12
3.1 Invloed minimumbuis .....	13
3.2 Invloed regeling .....	13
3.3 Invloed methode ventileren .....	13
3.4 Invloed weergegevens .....	15
3.5 Vergelijking met praktijk .....	15
3.6 Discussie .....	16
<b>4 Conclusies</b> .....	19
<b>Summary</b> .....	20
<b>Referenties</b> .....	21

# Samenvatting

Kennis van de ventilatie en de gerelateerde energiebehoefte van kassen is van belang bij het ontwerp en de ontwikkeling van luchtbehandelingsapparatuur voor gesloten kassen. Met behulp van een simulatiemodel is de ventilatiebehoefte van tuinbouwkassen bij de teelt van tomaten onderzocht.

De invloed van het gebruik van minimumbuis temperatuur, regeling op relatieve vochtigheid (RV) en toepassing van mechanische ventilatie of luchtinsramen zijn hierbij aan de orde gekomen. Tevens is een vergelijking gemaakt met gegevens uit een praktijkbedrijf.

Regeling op relatieve vochtigheid en gebruik van minimumbuis leiden tot een sterke verhoging van het aantal uren dat geventileerd moet worden en tot een toename van de warmtebehoefte. Bij vergelijking van ventilatie door luchtramen met mechanische ventilatie blijkt, dat in het eerste geval het maximale ventilatiedebiet en het aantal uren dat het ventilatiedebiet maximaal is lager zijn.

Het praktijkbedrijf blijkt veel meer uren te ventileren dan volgens het model nodig is.

## Abstract

Knowledge of the ventilation and related energy requirements of greenhouses is important with respect to the design and development of air conditioning systems for closed greenhouses. By means of computer simulation and data from practice the ventilation requirements of Dutch greenhouses with tomatoes has been investigated.

The simulations show that the control of relative humidity and maintaining minimum heating level increase needed ventilation significantly.

Data from a commercial greenhouse show more ventilation than theoretically needed.

# 1 Inleiding

In het onderzoekprogramma K-2000 streeft IMAG-DLO de ontwikkeling na van technische concepten en systemen voor beschermde teelten waarmee duurzaam, veilig en concurrerend kan worden geproduceerd.

In het kader van dit onderzoekprogramma wordt het project 'Ontwerp van klimatiserings-apparatuur voor gesloten kassystemen' uitgevoerd. Dit project wordt mede gefinancierd door de Nederlandse Maatschappij voor Energie en Milieu (NOVEM) en uit het fonds 'Gesloten Bedrijfs-systemen' van de Directie Akker- en Tuinbouw (DAT) van het Ministerie van Landbouw, Natuur-beheer en Visserij (LNV).

Kennis van de ventilatie en de daarbij behorende energiebehoefte van kassen is nodig voor de ontwikkeling en de dimensionering van klimaatbeheersingssystemen voor gesloten kassen. Daarom is als onderdeel van de werkzaamheden binnen dit project met behulp van model-studies nagegaan hoeveel ventilatie in kassen wordt vereist. Er is daarbij gelet op de invloed van de methode van klimaatregeling, de invloed van het gebruik van mechanische ventilatie of luchttingsramen en de invloed van het gebruik van een minimumbuistemperatuur. Daarnaast is een analyse gemaakt van de consequenties van de verschillende invloedsfactoren voor het energieverbruik ten behoeve van verwarming.

In dit rapport wordt een korte beschrijving gegeven van het computermodel (DESSIM90) waarmee de simulatieberekeningen zijn uitgevoerd. Vervolgens worden de resultaten van de verschillende berekeningen gepresenteerd en de onderlinge verschillen besproken. Hierbij wordt tevens een vergelijking met metingen uit de praktijk betrokken. Tenslotte worden enkele conclusies getrokken betreffende kasventilatie en gerelateerde warmtebehoefte (hierna energiebehoefte genoemd).

## 2 Modelbeschrijving en berekeningsgevallen

DESSIM90 (greenhouse DESign and Simulation Model for the nineties) is een al eerder ontwikkeld computermodel, dat in de onderhavige studie wordt gebruikt ten behoeve van simulatieberekeningen voor het ontwerpen van klimaatbeheersingsapparatuur voor tuinbouwkassen. Het model, geschreven in de simulatietaal CSMP-III en voorzien van FORTRAN-77 subroutines, beschrijft de fysische processen die van belang zijn bij het tot stand komen van het kasklimaat. In het model is tevens een beschrijving opgenomen van het gedrag van het gewas aangaande fotosynthese en warmte-, vocht- en CO<sub>2</sub>-uitwisseling met de omgeving.

### 2.1 Opbouw model DESSIM90

In het model DESSIM90 zijn verschillende onderdelen van het kas-gewas systeem opgenomen, gebaseerd op de literatuurstudie van Bokhorst et al. (1990). De volgende entiteiten zijn te onderscheiden:

- een diep gelegen bodemlaag
- zeven horizontale bodemlagen, van boven naar beneden in dikte toenemend
- het bodemoppervlak
- drie lagen in het gewas
- de verwarmingspijpen
- de kaslucht
- het kasdek
- de buitenlucht
- de stralingsomgeving van het kasdek buiten.

De belangrijkste processen die het model beschrijft zijn:

- de warmte-uitwisseling door geleiding, convectie en straling tussen de eerder genoemde entiteiten
- de transmissie en absorptie van globale straling door gewas en kasonderdelen
- de verdamping door het gewas
- de condensatie tegen het kasdek
- vochtuitwisseling tussen kaslucht (enerzijds) en buitenlucht (anderzijds).

### 2.2 Invoergegevens

De invoergegevens voor het rekenmodel zijn te scheiden in twee hoofdgroepen, te weten gegevens die gedurende de berekening niet veranderen (stationair) en gegevens die tijdens de berekening variëren (tijdafhankelijk).

Als stationaire gegevens worden ingevoerd:

- locatie en oriëntatie van de kas
- afmetingen van de constructiedelen
- afmetingen van de verwarmingspijpen
- diverse fysische eigenschappen.

Als tijdafhankelijke gegevens worden ingevoerd:

- weergegevens (luchttemperatuur, relatieve vochtigheid, windsnelheid, directe en diffuse globale straling)
- teeltregime (streefwaarden voor: kasluchttemperatuur, ventilatietemperatuur, minimale buistemperatuur en de lichtafhankelijke aanpassingen van deze streefwaarden).

### 2.3 Rekenprocedure

Alle berekeningen worden uitgevoerd voor een kas waarvan de grootheden genormeerd zijn op 1 m<sup>2</sup> grondoppervlak. Het model is dynamisch, waarbij als rekenstap in de tijd, op basis van de tijdconstanten van de onderdelen van het rekenmodel, 30 seconden is genomen.

De kern van het model is opgebouwd met behulp van de simulatietaal CSMP-III -Continuous System Modeling Program III- (IBM, 1975).

De meeste bijkomende berekeningen worden uitgevoerd in gekoppelde subroutines, die geschreven zijn in FORTRAN-77. Het programma is geïmplementeerd op een VAX-3500 en vergt bij berekening van een volledig jaar, 365 dagen van 24 uur, ongeveer 100 minuten CPU-tijd.

Buiten het CSMP-programma is er naast een voorbereiding van de invoerparameters ook een verwerking van de uitvoergegevens nodig. In CSMP-III worden drie hoofdsegmenten onderscheiden waarbinnen alle berekeningen en bewerkingen plaatsvinden al dan niet met behulp van subroutines: een initial, een dynamic en een terminal segment.

In het onderstaande zijn de verschillende fasen van de berekening globaal weergegeven.

- *voorbereiden invoergegevens*

De parameters voor het berekeningsgeval worden in een aparte datafile (CASEINP) opgegeven.

Deze zijn de begindag van de berekening (STRTDY), het al dan niet gebruiken van een scherm (SWSCRN), keuze voor een weerdatafile – jaarfile van 365 dagen met urengegevens – (CHWTHR), een keuze uit 6 teeltcombinatiefiles (CHCROP) en het wel/niet toepassen van minimumbuis temperaturen, kortweg minimumbuis genoemd (SWMINP). Verder een keuze voor de regeling op basis van relatieve vochtigheid – standaard wordt de conventionele temperatuurregeling verondersteld – (SWRHC), het wel/niet toepassen van een lichtafhankelijke temperatuurverhoging/verlaging van stook-, ventilatie- en aanvoerwatertemperatuur bij minimumbuis (SWLDC) en het verhogen/verlagen van de gewenste kasluchttemperatuur met een bepaald aantal graden (CSPAIT).

- *initial segment*

In het initial segment van het CSMP-model worden naast het toekennen van geheugenplaatsen voor één- of meer-dimensionale arrays ook de startwaarden voor een groot aantal variabelen en constanten van het model gegeven. Met behulp van diverse subroutines worden datafiles ingelezen en/of worden data berekend, zoals de datafile met de gevalparameters (CASEINP), de teeltgegevens (bijv. TKL1), de datafile met lichtafhankelijke veranderingen van de teelttemperatuur (bijv. LKL1), de kasafhankelijke gegevens (GHPROP), de fysische eigenschappen (FYPROP), de weergegevens (in deze studie het referentiejaar voor de glastuinbouw –SEL– (Breuer et al., 1991) of KNMI-gegevens van 1990) en de bepaling van de transmissie van de kas voor diffuse globale straling (TRNSM).



- *dynamic segment*

In het dynamic segment worden alle berekeningen op een nader in het terminal segment aan te geven tijdstap (DELTA) doorlopen over een totaal in te stellen berekeningstijd (FINTIM). In onze berekeningen is de waarde van DELTA gelijkgesteld aan 30 seconden terwijl FINTIM op 31536000 s. (1 jaar) is gesteld. Op deze manier wordt een geheel jaar in stappen van 30 s. doorlopen. In het dynamic segment worden onder andere de setpoints voor verschillende temperaturen berekend. Met behulp van de regelroutines (CONTRL of CONTRH) worden de buistemperatuur en de ventilatiehoeveelheid berekend, waarbij de maximaal mogelijke ventilatie in een aparte subroutine (MXVENT) wordt bepaald. Binnen het dynamic segment worden ook alle warmte-, waterdamp- en CO<sub>2</sub>-stromen berekend. Een belangrijke plaats is ingeruimd voor het gewas-submodel. Hierin worden de wateropname van de plant (WATUPT) en de lichtverdeling en fotosynthese in het gewas, voor de dag- en nachtsituatie (CANOPY) berekend. Hierbij wordt gebruik gemaakt van een aantal andere subroutines voor de berekening van de positie van de zon (SOLDAT), de transmissie van de kas voor directe straling (TRNSM) – die op zijn beurt weer gebruik maakt van een subroutine voor de transmissie van een glasvlak (FRESNEL) –, de stomatale weerstand van de plant (STOMRS) en de fotosynthese per bladlaag, rekening houdend met al dan niet beschaduwde bladlagen en met de hoeken van de onderhavige bladlagen (LPHOT).

- *terminal segment*

In het terminal segment kunnen DELTA (berekeningstijdstap), FINTIM (totale berekeningstijd) en tijdstip van uitvoer van gegevens worden opgegeven, evenals de integratiemethodiek (keuze uit vijf). Bij deze berekeningen is voor een integratiemethodiek RECT (rectangular) gekozen die met een vaste tijdstap werkt. Ook kunnen in dit segment nieuwe berekeningen voor een gewijzigde parameter worden gestart.

- *uitvoer van de berekeningsresultaten*

Het uitvoeren van de berekende gegevens gebeurt deels in het dynamic segment en deels in het terminal segment. In het laatste geval worden de berekeningsresultaten verkregen door gebruik van het OUTPUT-commando in het CSMP-programma. Er wordt dan een file aangemaakt met de gevraagde variabelen als functie van de tijd weergegeven in tabel- of grafiekvorm. Daarnaast zijn er subroutines geschreven voor het opslaan van dag- en week-sommen (DAYSUM en WKSUM) van bepaalde grootheden.

Een aantal subroutines is ontwikkeld voor het maken van datafiles met gegevens van de warmte- en koelbehoefte, de verdamping, de relatieve vochtigheid, de temperatuur in de kas en het ventilatiedebiet.

## 2.4 Regelmodules

In het programma DESSIM90 zijn twee regelmodules opgenomen, te weten een temperatuur-regelmodule en een relatieve vochtigheid-regelmodule.

### 2.4.1 Temperatuur-regelmodule

De temperatuur-regelmodule (CONTRL) berekent voor elke tijdstap een aangepaste pijptemperatuur en ventilatiehoeveelheid. Hierbij worden als invoergegevens de kasluchttemperatuur en de setpoints van de kaslucht-, ventilatie- en de pijptemperatuur bij minimumbuis gebruikt.

#### 2.4.2 Relatieve vochtigheid-regelmodule

De relatieve vochtigheid-regelmodule (CONTRH) berekent voor elke tijdstap een aangepaste pijptemperatuur en ventilatiehoeveelheid.

Hierbij worden naast de kasluchttemperatuur en de setpoints van de kaslucht-, ventilatie- en pijptemperatuur bij minimumbuis ook de relatieve vochtigheid en het setpoint daarvan als invoergegevens gebruikt.

### 2.5 Berekeningsgevallen

De berekeningen zijn uitgevoerd voor een tomatenteelt in een moderne kas met de volgende eigenschappen: enkelglas in dek en gevel, 1 meter breed glas in het dek, dakhelling van 22°, goothoogte 3,2 m, vak 3,2 m x 4 m, smalle aluminiumgoot van 0,158 m x 0,171 m, geen scherm en oriëntatie van de nok N-Z. Voor een aantal berekeningsgevallen wordt verondersteld dat de ventilatie mechanisch wordt gerealiseerd. In vier gevallen wordt er wel gerekend voor een kas met ramen, waarbij er in twee gevallen van wordt uitgegaan dat 1/4 van het dekoppervlak bestaat uit te openen ramen, en in de andere twee gevallen is dat raamoppervlak gehalveerd tot 1/8 van het dekoppervlak.

De berekeningen moeten een beeld geven van de ventilatiebehoefte. Hiertoe is het gemiddelde ventilatiedebiet gedurende de uren dat er geventileerd wordt en het aantal uren dat maximale ventilatie optreedt bepaald. Bovendien is de invloed op het ventilatiegedrag bepaald van:

- minimumbuis
- regeling (temperatuurregeling of relatieve vochtigheidsregeling)
- niveau relatieve vochtigheid in kas (75 % of 85 %)
- wijze van ventileren (mechanisch met een maximaal debiet van  $300 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ), of via ramen waarbij het maximumdebiet bepaald wordt door de windsnelheid en het temperatuurverschil tussen kas- en buitenlucht,  $f(v_w, T)$ ).

Met DESSIM90 zijn de volgende gevallen berekend:

- DESSIM 1.2-01: temperatuurregeling, wel minimumbuis, ventilatie max.  $300 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$
- DESSIM 1.2-02: temperatuurregeling, geen minimumbuis, ventilatie max.  $300 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$
- DESSIM 1.2-03: relatieve vochtigheidsregeling op 75 %, wel minimumbuis, ventilatie max.  $300 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$
- DESSIM 1.2-04: relatieve vochtigheidsregeling op 75 %, geen minimumbuis, ventilatie max.  $300 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$
- DESSIM 1.2-05: relatieve vochtigheidsregeling op 85 %, wel minimumbuis, ventilatie max.  $300 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$
- DESSIM 1.2-06: relatieve vochtigheidsregeling op 85 %, geen minimumbuis, ventilatie max.  $300 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$
  
- DESSIM 1.4-01: temperatuurregeling, wel minimumbuis, max. ventilatie als functie van windsnelheid en temperatuurverschil tussen kaslucht en buitenlucht
- DESSIM 1.4-02: temperatuurregeling, geen minimumbuis, max. ventilatie als functie van windsnelheid en temperatuurverschil tussen kaslucht en buitenlucht
- DESSIM 1.4-03: temperatuurregeling, wel minimumbuis, max. ventilatie als  $0,5 \times$  de functie van windsnelheid en temperatuurverschil tussen kaslucht en buitenlucht (halvering aantal luchtramen)

- DESSIM 1.4-04: als DESSIM 1.4-03 maar met weeredatabestand over 1990 van het weerstation De Bilt in plaats van het referentiejaar.

Om verwarring te voorkomen wordt de temperatuurregeling met een maximumventilatie van  $300 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$  ook wel temperatuurregeling met mechanische ventilatie genoemd, terwijl de temperatuurregeling waarbij de maximale ventilatiehoeveelheid een functie is van de windsnelheid en het temperatuurverschil de temperatuurregeling met raamventilatie wordt genoemd.

## **2.6 Verdere bewerkingen**

Een aantal berekeningsresultaten worden door het simulatiemodel in datafiles vastgelegd. Deze zijn met behulp van GENSTAT- (Payne, 1988) en LOTUS-programmatuur ter analyse en weergave verder verwerkt.

### 3 Resultaten

In dit hoofdstuk worden de resultaten van de berekeningen voor wat betreft de verschillende invloedsfactoren besproken. Tevens worden praktijkgegevens vergeleken met modelberekeningen. Tabel 3.1 geeft voor de in paragraaf 2.5 genoemde gevallen de berekende waarden voor het aantal ventilatie-uren, het gemiddelde ventilatiedebiet en de benodigde hoeveelheid energie (warmtebehoefte).

Tabel 3.1 Invloed minimumbuis en wijze van regelen op aantal ventilatie-uren, gemiddeld ventilatie-debiet en de energiebehoefte.

Table 3.1 Influence minimum pipe temperature and means of control on the number of ventilation hours, mean ventilation flux and the energy requirement.

Berekeningsgeval	Minimum- buis	Ventilatie-uren h/a	Gem. Ventilatie-debiet $m^3/(m^2.h)$	Energiebehoefte $kWh/(m^2.a)$
temp. regl. $VENT = 300m^3/(m^2.h)$	ja	3098	113	590
	nee	1921	145	419
RV-regl. 75% $VENT = 300m^3/(m^2.h)$	ja	5445	122	1059
	nee	5456	125	1020
RV-regl. 85% $VENT = 300m^3/(m^2.h)$	ja	3847	98	677
	nee	3769	115	624
temp. regl. $VENT = f(v_w, T)$	ja	3128	52	586
	nee	1936	59	418
temp. regl., (SEL-jaar) $VENT = f(v_w, T) \times 0,5$	ja	3163	34	581
temp. regl., (1990) $VENT = f(v_w, T) \times 0,5$	ja	3404	33	528

$VENT = 300 m^3/(m^2.h)$  houdt in een maximumventilatiedebiet van  $300 m^3/(m^2.h)$  en  $VENT = f(v_w, T)$  een maximumventilatiedebiet als functie van windsnelheid en het temperatuurverschil. Het verschil tussen de gevallen  $f(v_w, T)$  en  $f(v_w, T) \times 0,5$  is dat in het laatste geval, in verband met de halvering van het oppervlak van de luchtingsramen, de maximumventilatie op de helft van de waarde wordt bepaald. Een energiebehoefte van  $8,8 kWh/(m^2.a)$  komt overeen met  $1 m^3$  aardgas per  $m^2$  per jaar.

### 3.1 Invloed minimumbuis

De invloed van het gebruik van minimumbuis op het aantal ventilatie-uren, het gemiddelde ventilatiedebiet en benodigde hoeveelheid energie (warmtebehoefte) uitgesplitst naar temperatuurregeling en relatieve vochtigheidsregeling, zijn in tabel 3.1 weergegeven.

Deze tabel geeft te zien dat bij temperatuurregeling met mechanische ventilatie (maximum debiet van  $300 \text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ ) het niet toepassen van minimumbuis een reductie geeft van het aantal ventilatie-uren van meer dan 1170 uren, bij een oplopend gemiddeld ventilatiedebiet van 113 naar  $145 \text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ . De energiebehoefte neemt af met meer dan  $170 \text{ kWh}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ . Bij een temperatuurregeling met raamventilatie zijn deze waarden respectievelijk ruim 1190 uren minder, van 52 naar  $59 \text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$  gemiddeld en bijna  $170 \text{ kWh}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$  minder warmtebehoefte. Hierbij dient te worden aangetekend dat de berekeningen zijn uitgevoerd voor een kas zonder scherm en zonder teeltwisseling.

Bij een RV-regeling, op een setpoint van 75 %, is de invloed van minimumbuis op het aantal ventilatie-uren verwaarloosbaar. Ook het gemiddelde ventilatiedebiet verandert niet noemenswaardig.

Bij het niet toepassen van minimumbuis zal de energiebehoefte met ca.  $40 \text{ kWh}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$  dalen. Bij een RV van 85 % zal het aantal ventilatie-uren, als gevolg van het niet toepassen van minimumbuis, met bijna 80 afnemen; maar het gemiddelde ventilatiedebiet stijgt van 98 naar  $115 \text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ . De energiebehoefte wordt gereduceerd met ca.  $50 \text{ kWh}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ .

### 3.2 Invloed regeling

Tabel 3.1 maakt ook duidelijk, dat de regeling op relatieve vochtigheid ten opzichte van de temperatuurregeling met mechanische ventilatie een aanmerkelijke verhoging van het aantal ventilatie-uren en de energiebehoefte veroorzaakt.

Bij een RV-regeling, op een setpoint van 75 %, met toepassen van minimumbuis, zal het aantal ventilatie-uren met ca. 2350 toenemen tot ca. 5450. De energiebehoefte zal drastisch toenemen tot een niveau van bijna  $1060 \text{ kWh}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ .

Bij een RV-regeling op 85 %, met toepassen van minimumbuis, zal het aantal ventilatie-uren toenemen ten opzichte van de temperatuurregeling met mechanische ventilatie met ca. 750 tot 3850. De energiebehoefte stijgt met circa  $90 \text{ kWh}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ .

Bij een vergelijking van een RV-regeling op 85 % ten opzichte van die op 75 %, voor het geval met minimumbuis, zien we een aanmerkelijke reductie van het aantal ventilatie-uren (ca. 1600 uur), van de gemiddelde ventilatiehoeveelheid (ca.  $25 \text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ ) alsmede van de energiebehoefte (ca.  $380 \text{ kWh}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ ).

### 3.3 Invloed methode ventileren

Voor mechanische ventilatie is het maximale ventilatiedebiet zowel bij de temperatuurregeling als bij de RV-regelingen met mechanische ventilatie gesteld op een maximum van  $300 \text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ . Bij de temperatuurregeling met raamventilatie is het maximumventilatiedebiet een functie van windsnelheid en temperatuurverschil tussen kas- en buitenlucht. Ten opzichte van de temperatuurregeling met mechanische ventilatie, bij toepassen van minimumbuis, zal hierdoor

waarin de gegevens van het KNMI-weerstation 'De Bilt' zijn ingevoerd en waarin rekening is gehouden met het oppervlak van de luchtingsramen in de praktijkkas (geval DESSIM1.4-04). In tabel 3.3 zijn de model- en praktijkgegevens naast elkaar gezet.

Opmerkelijk is het optreden van de lage minimumwaarde van de kasluchttemperatuur in de praktijkkas. Nadere analyse van de cijfers bracht aan het licht dat in de periode van 7 tot 22 november de kas koud is gezet in verband met een teeltwisseling. Het weglaten van deze dagen uit de gemeten en berekende gegevens, leidt tot de resultaten zoals weergegeven in tabel 3.4.

Tabel 3.4 Vergelijking model en praktijkgegevens na correctie voor teeltwisseling.

Table 3.4 Comparison model and data from practice after correction for crop changing.

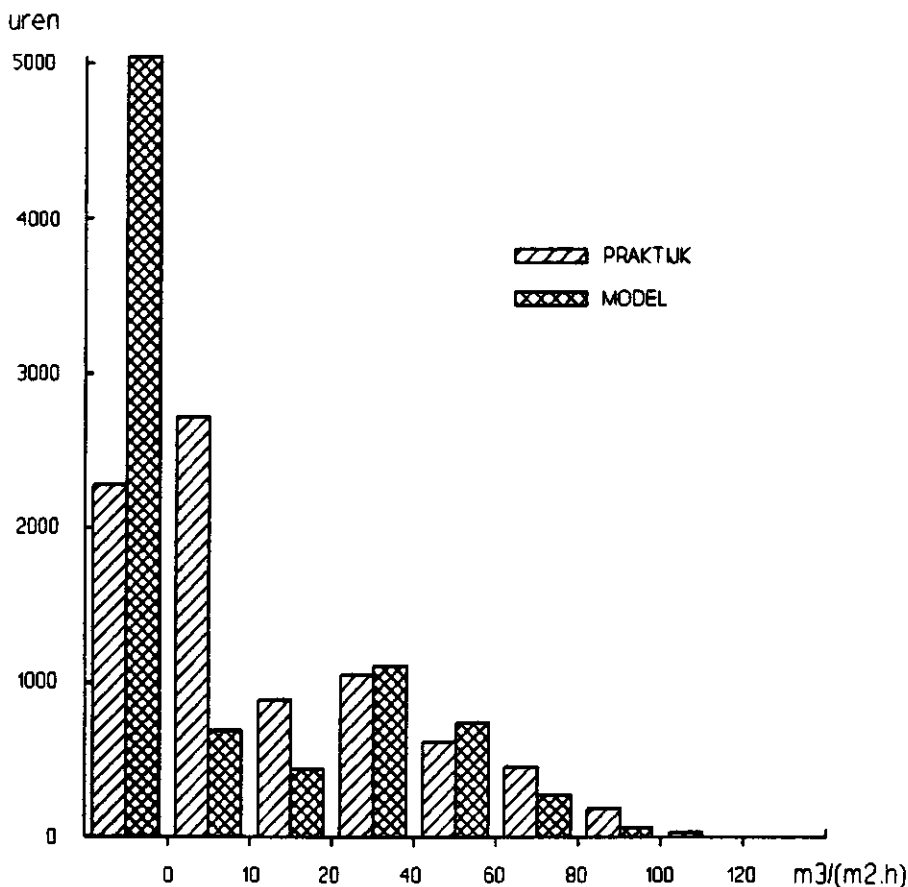
	Model	Praktijk
ventilatie-uren (h/a)	3340	5970
maximumventilatie-debiet ( $m^3/(m^2 \cdot h)$ )	110	115
gemiddeld ventilatie-debiet ( $m^3/(m^2 \cdot h)$ )	33	23
minimumbuis-temperatuur ( $^{\circ}C$ )	17	19

In figuur 1 is het aantal ventilatie-uren voor verschillende klassen van het ventilatie-debiet voor het model en de praktijk naast elkaar in een histogram weergegeven.

### 3.6 Discussie

De beschreven resultaten geven een aantal opmerkelijke zaken te zien, die in het volgende aan een nadere beschouwing zullen worden onderworpen.

- Voor alle berekende gevallen ligt de energiebehoefte aan de hoge kant. Een reden hiervoor kan gevonden worden in het feit dat in de versies 1.2 en 1.4 van DESSIM90 geen schermen zijn opgenomen. Bovendien wordt in de berekeningen geen teeltwisseling toegepast. Om de invloed van een scherm te kunnen inschatten, zijn ter vergelijking in tabel 3.5 enige berekeningsresultaten opgenomen die verkregen zijn met behulp van een FORTRAN-77 versie van het 'Rekenmodel Energiebehoefte in kassen' (Breuer, 1987 en Vos, 1991a en b). Bij deze berekeningen zijn als algemene uitgangspunten gehanteerd: dezelfde teelt tomaten, de U-waarde (warmte-doorgangscoefficiënt) van de kas wordt berekend als functie van de windsnelheid, het referentiejaar (SEL) wordt gebruikt als weerdatafile, geen toepassing van droogstoken maar wel een lichtafhankelijke temperatuurverhoging/verlaging. De in deze tabel weergegeven energiebehoefte van 559 kWh/m<sup>2</sup> per jaar voor een kas zonder scherm maar met minimumbuis komt goed overeen met de energiebehoefte, zoals in tabel 3.1 voor een vergelijkbaar geval (temperatuurregeling met raamventilatie) is weergegeven, namelijk 586 kWh/(m<sup>2</sup>·a). De afwijking met de in tabel 3.1 genoemde waarde is kleiner dan 5 %. De invloed van het toepassen van een scherm bij een tomatenteelt met minimumbuis op de energiebehoefte is 26 %, terwijl dat voor een teelt zonder minimumbuis oploopt tot 32 %.



Figuur 1 Ventilatie-uren in debietklassen voor 1990.

Figure 1 Number of ventilation hours in classes of fluxes (1990).

Tabel 3.5 Energiebehoefte bepaald met 'Rekenmodel Energiebehoefte in kassen'.

Table 3.5 Energy requirement determined by 'Calculation model Energy requirement in greenhouses'.

Berekeningsgeval voor kas met/zonder scherm		Energiebehoefte kWh/(m <sup>2</sup> .a)	Energiebehoefte-index %
	minimumbuis		
neen	ja	559	100
neen	neen	447	80
ja	ja	415	74
ja	neen	302	54

- Uit tabel 3.1 is af te leiden dat de invloed van minimumbuis bij temperatuurregeling met raamventilatie hoger is dan valt af te leiden uit tabel 3.5, namelijk 29 % tegenover 20 %. Bij de interpretatie van deze waarden dient het volgende te worden bedacht: In het 'Rekenmodel Energiebehoefte in kassen' is, in tegenstelling tot bij DESSIM90, een begrenzing van de maximaal optredende kasluchttemperatuur opgenomen.

# Summary

Knowledge of the ventilation and related energy requirements of greenhouses is important with respect to the design and development of air conditioning systems for closed greenhouses. By means of a computer simulation model the requirement for ventilation of greenhouses with a tomato crop has been investigated. The influence of the minimum temperature of the heating pipes, controlling the relative humidity (RH) and utilization of electrical fans versus the classical vents in the roof, have been looked into. Further a comparison has been made to the data gathered at a full scale greenhouse in practice.

Controlling the relative humidity and utilization of minimum pipe temperature both cause a significant increase of the time that ventilation is needed. Comparison of vents to fans shows in the first case a lower maximum ventilation flux and a lower number of hours with maximum ventilation flux.

In practice much more hours of ventilation are applied than the model shows to be necessary.



# Referenties

- Bokhorst, D., J.J.G. Breuer en N.J. van de Braak, 1990, Ontwikkeling van een simulatiemodel voor kasklimaatprocessen; Verslag van een literatuuronderzoek. Instituut voor Mechanisatie, Arbeid en Gebouwen, Wageningen, IMAG-Nota P-555, 81 pag.
- Braak, N.J., P. Knies en J.J.G. Breuer, 1990, Klimaatbeheersingssytemen kassen; Concept Voorstudie K-2000. Instituut voor Mechanisatie, Arbeid en Gebouwen, Wageningen, 9 pag.
- Breuer, J.J.G., 1987, Jaarbelastingsduurkromme en energiebesparing voor de Nederlandse glastuinbouw; Een studie naar relevante invloeden. Instituut voor Mechanisatie, Arbeid en Gebouwen, Wageningen, IMAG-rapport 90, 67 pag.
- Breuer, J.J.G., A.M. van Weele en A.H.C. van Paassen, 1991. Referentiejaar voor de Nederlandse glastuinbouw. Klimaatbeheersing, 20 (1991) nr. 4, pag. 110-113.
- IBM, 1975, Continuous System Modeling Program III (CSMP-III); Program Reference manual. International Business Machines Corporation, New York, USA, Fourth Edition, SH 19-7001-3, 206 pag.
- Payne, R.W., et. al., 1988, Genstat 5 Reference Manual. (Oxford University Press) Oxford, United Kingdom, 749 pag.
- Houter, G., 1987, Koppeling van gewasmodel aan kasklimaatmodel. Landbouw Universiteit, Vakgroep Theoretische Teeltkunde, Wageningen, 150 pag.
- Houter, G., 1991, Praktijkmetingen ventilatie in kassen. Persoonlijke communicatie, Proefstation voor Tuinbouw onder Glas (PTG).
- Jong, T. de, 1990, Natural ventilation of large multi-span greenhouses. Landbouwuniversiteit, vakgroep Agrotechniek en -fysica, Wageningen, Dissertatie, 117 pag.
- Vos, J.H.G., 1991a, Computermodel energieverbruik van kassen, JK365\_\_KL05. Beschrijving van het rekenmodel. DLO Instituut voor Mechanisatie, Arbeid en Gebouwen, IMAG-DLO-stageverslag 40.3.10-008, 28 pag.
- Vos, J.H.G., 1991b, Computermodel energieverbruik van kassen, JK365\_\_KL05. Controle en uitbreiding. DLO Instituut voor Mechanisatie, Arbeid en Gebouwen, IMAG-DLO-stageverslag 40.3.10-009, 66 pag.