

A
og
K
73

Proefstation voor Bloemisterij en Glasgroente
Vestiging Naaldwijk
Kruisbroekweg 5, Postbus 8, 2670 AA Naaldwijk
Tel 0174-636700, fax 0174-636835

KLIMAATREGELING MET FLEXIBELE PRIORITEITEN

Project 2107

A.N.M. de Koning

Naaldwijk, mei 1997



Intern verslag 96

22041140

INHOUD

1.	INLEIDING	5
2.	MATERIAAL EN METHODEN	6
	2.1 Algemeen	6
	2.2 Regeling	6
	2.2.1 Temperatuurintegratie	6
	2.2.2 Vochtregeling	7
3.	RESULTATEN EN DISCUSSIE	10
	3.1 Temperatuurintegratie	10
	3.2 Vochtregeling	11
	3.2.1 Condensatie	11
	3.2.2 Verdamping	12
	LITERATUUR	13

1. INLEIDING

In de huidige klimaatregelingen heeft temperatuur altijd de hoogste prioriteit. De regeling zal door middel van verwarming en ventilatie proberen de gewenste kasluchttemperatuur zo goed mogelijk te realiseren. Vervolgens wordt er gekeken naar de luchtvochtigheid en de CO₂-concentratie.

Voor de groei en ontwikkeling van planten is de gemiddelde temperatuur belangrijker dan de momentane temperatuur (de Koning, 1990). Door te streven naar een bepaalde gemiddelde temperatuur (momentane temperatuur heeft een lage prioriteit in de regeling) wordt het mogelijk de overige klimaatfactoren beter op de wensen van het gewas af te stemmen. Ook is een besparing op energiekosten voor verwarming mogelijk.

De toepassing van flexibele regelprioriteiten is gebaseerd op het gegeven dat voor sommige plantprocessen compensatie in de tijd mogelijk is, bijvoorbeeld plantontwikkeling, terwijl andere processen momentaan geoptimaliseerd moeten worden, bijvoorbeeld fotosynthese. De relevante processen in een kas/gewassysteem zijn dus de basis voor een regeling met flexibele regelprioriteiten. Uit modelberekeningen blijkt dat lange-termijn (enkele dagen) temperatuurintegratie 10 tot 15% energiebesparing op kan leveren (Bailey and Seginer, 1989). Bovendien kan de extra vrijheid voor het optimaliseren van andere factoren tot een hogere productie leiden.

In 1994 en 1995 is onderzocht hoe lange-termijn temperatuurintegratie en procesgericht regelen van de luchtvochtigheid in een regeling met flexibele regelprioriteiten kunnen worden gerealiseerd.

2. MATERIAAL EN METHODEN

2.1 ALGEMEEN

Het onderzoek is uitgevoerd in kas 103 afdeling 15 en 17. De afdelingen beslaan 186 m² en zijn uitgerust met een ondernet van vier verwarmingsbuizen (51mm) per kap en een groeinet van 2 buizen (22mm) op 1m boven de grond. Rookgas en zuiver CO₂ zijn beschikbaar. Op de betonnen vloer liggen teeltgoten met steenwol.

De klimaatregeling vindt plaats via het centrale computersysteem (Bakker et al. 1988). Veranderingen zijn aangebracht in het regelprogramma "103c".

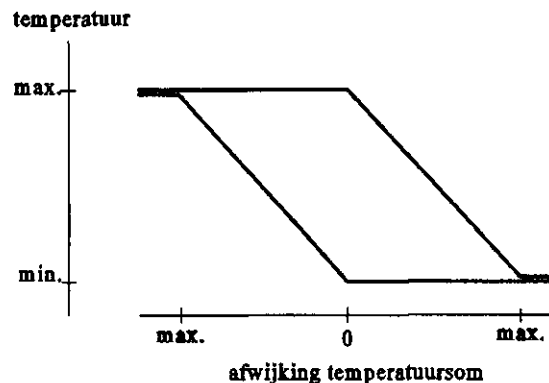
De klimaatgegevens in dit verslag zijn verzameld in het voorjaar van 1995. In de kas stond een tomatengewas. Vanwege het oriënterend karakter van de proef zijn er geen gewaswaarnemingen verricht.

2.2 REGELING

2.2.1 Temperatuurintegratie

Het principe van de temperatuurintegratie-regeling is dat de momentane temperatuur mag variëren tussen een ingestelde minimum- en maximumwaarde, terwijl op de lange termijn wordt gestreefd naar een bepaalde gemiddelde temperatuur. Indien de gemeten kasluchttemperatuur lager is dan de toelaatbare minimumtemperatuur wordt er verwarmd. Bij het overschrijden van de maximumtemperatuur wordt er geventileerd. De ventilatieregeling is een PI-regelaar zodat de maximumtemperatuur niet teveel wordt overschreden. Dit laatste is wel het geval bij een gebruikelijke proportionele (P) ventilatieregeling.

De gewenste gemiddelde temperatuur wordt niet als zodanig opgegeven. In plaats hiervan werkt de regeling met een 'schaduwsetpoint' dat in feite het setpoint verwarming is bij een traditionele regeling. Iedere cyclus (1 minuut) wordt de gemeten kasluchttemperatuur vergeleken met het schaduwsetpoint en het verschil wordt opgeslagen in de 'afwijking-temperatuursom'. Een negatieve waarde van de afwijking-temperatuursom betekent dat het in het verleden te koud geweest is. Door de toelaatbare minimum- en maximumtemperatuur afhankelijk te maken van de afwijking-temperatuursom wordt voorkomen dat het verschil tussen de gerealiseerde gemiddelde temperatuur en de gewenste gemiddelde temperatuur te groot wordt. De minimum- en maximumtemperatuur worden proportioneel verhoogd, resp. verlaagd naarmate de afwijking-temperatuursom meer negatief dan wel positief is. Als de afwijking-temperatuursom gelijk is aan de maximaal toelaatbare afwijking (instelling) zijn de minimum- en de maximumtemperatuur gelijk (figuur 1).



Figuur 1 - Bepaling van minimum- en maximumtemperatuur in relatie tot de afwijking-temperatuursom.

Door de minimum- en maximumtemperatuur op een gelijke waarde in te stellen wordt in feite een vast setpoint verkregen zoals in de tot nu toe gebruikelijke regelingen. Minimum- en maximumtemperatuur kunnen per dagdeel (max. 4) ingesteld worden. Hierdoor is het bijvoorbeeld mogelijk in een bepaalde periode een vaste gewenste temperatuur te realiseren of het dag/nacht regime te beïnvloeden. Ook de maximale afwijking-temperatuursom kan per dagdeel variëren. Hierdoor is het mogelijk om per periode verschil te maken in de mate waarin wordt gestreefd naar de gewenste gemiddelde temperatuur. Een hogere waarde leidt tot meer afstand tussen de berekende minimum- en maximumtemperatuur en minder prioriteit voor het bereiken van de gewenste gemiddelde temperatuur. Het kan wenselijk zijn om 's nachts de waarde relatief klein te kiezen waardoor er overdag meer ruimte voor de momentane temperatuur is.

2.2.2 Vochtregeling

In de hier beschreven versie van het regelprogramma wordt voor de factor luchtvochtigheid nog niet geregeld op processen. Wel bevat het programma voorbereidingen op het voorkomen van condensatie op het gewas en het regelen op verdamping.

In de regeling wordt een waarde voor het vochtdeficiet ingesteld (per dagdeel) waaronder minimumbuis (proportioneel) of minimumraamstand (proportioneel) wordt ingezet. De keuze voor minimumbuis of minimumraamstand hangt af van de waarde van de afwijking-temperatuursom; bij een negatieve waarde (te lage gemiddelde temperatuur) is er een voorkeur voor minimumbuis en bij een positieve waarde heeft minimumraamstand de voorkeur. Bovendien geldt dat als er CO₂-vraag is en de kasluchttemperatuur is lager dan de maximumtemperatuur, ook bij een positieve waarde van de afwijking-temperatuursom minimumbuis de voorkeur heeft. Als het vochtdeficiet ondanks minimumbuis of minimumraamstand nog kleiner wordt, worden minimumbuis én minimumventilatie ingezet.

Condensatie

Condensatie van waterdamp op het gewas treedt op als de gewastemperatuur lager is dan de dauwpunttemperatuur van de kaslucht (DT). Beide temperaturen worden in de hier beschreven versie van het regelprogramma berekend.

De dauwpunttemperatuur van de kaslucht kan uit de kasluchttemperatuur (T in °C) en relatieve luchtvochtigheid (RV in %) berekend worden als (Deutscher Wetterdienst):

$$DT = C3 \times \ln(0,01 \times RV \times SVP_T \times C1) / (C2 - \ln(0,01 \times RV \times SVP_T / C1))$$

en

$$SVP_T = C1 \times \exp(C2 \times T / (C3 + T))$$

met SVP_T als de verzadigingsdampdruk in mbar bij T °C

$C1 = 6,10780$ mbar, $C2 = 17,08085$ en $C3$ is $234,175$ K

De koudste delen van een vruchtgroentegewas, in geval van oplopen van de kasluchttemperatuur, zijn doorgaans de vruchten in de schaduw en buiten het "zicht" van verwarmingsbuizen. Voor tomaat blijkt deze vruchttemperatuur (meting aan de oppervlakte) goed gesimuleerd te kunnen worden door de afgevlakte kasluchttemperatuur over een periode van 1 uur (gebaseerd op meetdata van F. Kempkes). Bij een cyclustijd van 1 minuut geldt:

$$VT_i = ((VT_{t-1} \times 59) + T_i) / 60$$

met VT_i en T_i als de vruchttemperatuur en kasluchttemperatuur op tijdstip i.

Verdamping

Voor het sturen van de verdamping kan gebruik gemaakt worden van het principe dat over langere tijd geldt: vochtanvoer = vochtafvoer. Dit betekent dat door het vergroten van de vochtafvoer uit een kas de verdamping zal toenemen. Vochtafvoer uit de kas bestaat uit twee componenten, t.w. condensatie van waterdamp tegen het glasdek (ΦM_c) en de verliezen van waterdamp via ventilatie (ΦM_v).

Het verlies via condensatie tegen het glasdek (in g $[H_2O]$ m^{-2} [grondopp.] s^{-1}) wordt berekend volgens (Bakker, 1986):

$$\Phi M_c = a_m \times (Q_i - Q_g) \times \rho$$

en

$$a_m = 1,33 / (\rho \times C_p) \times (T_i - T_g)^{0,33}$$

met a_m als overdrachtcoëfficiënt ($m s^{-1}$), Q_i en Q_g de specifieke luchtvochtigheid van, respectievelijk, de kaslucht en de grenslaag (verzadiging) van het kasdek ($g [H_2O] kg^{-1}$ [kaslucht]), ρ is het soortelijk gewicht van de kaslucht ($kg [lucht] m^{-3}$), C_p is de specifieke warmte van lucht ($1004,82 J kg^{-1} K^{-1}$) en T_i en T_g , respectievelijk, de kasluchttemperatuur en temperatuur van de binnenzijde van het kasdek (°C).

n.b. in combinatie van beide vergelijkingen valt ρ weg. ΦM_c is 0 als $Q_g > Q_i$

De specifieke luchtvochtigheid (Q) is uit de temperatuur (T) en RV te berekenen volgens (Deutscher Wetterdienst):

$$Q = 1000 \times MH / (1000 + MH)$$

met MH de mix-verhouding in g waterdamp per kg droge lucht en

$$MH = 1000 \times 0,622 \times VP / (1013,246 - VP)$$

en

$$VP = 0,01 \times RV \times SVP_T$$

met RV als de relatieve luchtvochtigheid (%) en VP en SVP de dampdruk en verzadigingsdampdruk (mbar).

De temperatuur van de binnenzijde van het kasdek (T_g) wordt benaderd door:

$$T_g = T_i - (0,571 + 0,0129 \times u) \times (T_i - T_o)$$

met u als de windsnelheid (m s^{-1}) en T_o de temperatuur van de buitenlucht. (Berekend op basis van gegevens van F. Kempkes)

De specifieke luchtvochtigheid van de lucht in de grenslaag tegen het kasdek Q_g wordt berekend uit de temperatuur van het glas (T_g) en een RV van 100% ($VP = SVP$):

$$Q_g = 1000 \times MH / (1000 + MH)$$

met

$$MH = 1000 \times 0,622 \times SVP / (1013,246 - SVP)$$

en

$$SVP = C1 \times \exp(C2 \times T_g / (C3 + T_g))$$

$$C1 = 6,10780 \text{ mbar}, C2 = 17,08085 \text{ en } C3 \text{ is } 234,175 \text{ K}$$

Het verlies van vocht via ventilatie (ΦM_v) is afhankelijk van de mate van ventilatie en het verschil in luchtvochtigheid tussen kaslucht en buitenlucht:

$$\Phi M_v = \Phi V \times \rho \times (Q_i - Q_o)$$

en

$$\Phi V = 1 \times 10^{-5} + (4,8 \times 10^{-5} +$$

$$((c_{1,l} \times \beta_l \times \exp(-\beta_l / c_{2,l})) \times A_{r,l} / A_k) + ((c_{1,w} \times \beta_w \times \exp(-\beta_w / c_{2,w})) \times A_{r,w} / A_k)) \times u$$

en

$$\rho = \rho_{20C} \times 293,2 / (T + 273,2)$$

met ΦV als de kasventilatie in $\text{m}^3 \text{ m}^{-2}$ [grondopp] s^{-1} , ρ het soortelijk gewicht van de kaslucht (kg [lucht] m^{-3}), $\rho_{20C} = 1,204 \text{ kg m}^{-3}$, Q_i en Q_o de specifieke luchtvochtigheid van, respectievelijk, de kas- en de buitenlucht, β is de openingshoek van de luchtramen ($^\circ$), A_r het oppervlak van de luchtramen (m^2), c_1 en c_2 constanten (afhankelijk van het type luchtraam), de subscript l en w staan voor de luwe en de windzijde, u is de windsnelheid (m s^{-1}) en A_k is het kasoppervlak (m^2).

Voor kas 103 geldt:

$$c_{1,l} = 0,00103, c_{2,l} = 54,6, c_{1,w} = 0,0012, c_{2,w} = 211,1 \text{ (de Jong, 1990) en}$$

$$A_r / A_k = 0,065$$

$$\beta = \% \text{opening} / 100 \times 50 \text{ (100\% = } 50^\circ)$$

3. RESULTATEN EN DISCUSSIE

3.1 TEMPERATUURINTEGRATIE

De instellingen voor de temperatuurintegratie regeling waren:

maximale afwijking temperatuursom: (+ en -)168 graaduren (= 7 graaddagen)

minimumtemperatuur 16 °C

maximumtemperatuur 25 °C

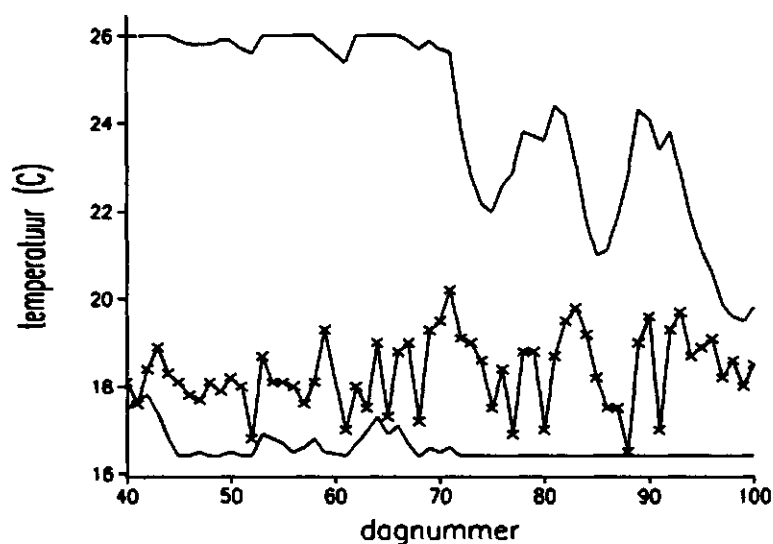
ventilatie 1 °C boven de maximumtemperatuur

Met deze instellingen bleek dat de afwijking-temperatuursom binnen een etmaal sterk kan variëren. De consequentie is dat bij zonnig weer de berekende maximumtemperatuur gedurende de dag gestaag daalt, vanaf de avond weer oploopt en tegen de ochtend weer de ingestelde waarde bereikt. Een dergelijk dagritme is ongewenst. In feite zou een temperatuurstrategie (bepaling van minimum- en maximumtemperatuur) voor een eits langere periode gekozen moeten worden. Een oplossing werd gevonden door de verandering van de afwijking-temperatuursom af te vlakken over één etmaal (1440 minuten):

$$D_temp_pri_t = D_temp_pri_{t-1} + afw/60 \quad (\text{delen door } 60 \text{ i.v.m. graaduren})$$

$$D_temp_som_t = (D_temp_som_{t-1} \times 1439 + D_temp_pri_t) / 1440$$

Met deze regeling werd een rustig verloop van de minimum en maximumtemperatuur verkregen waarbij koude dagen met warme dagen werden gecompenseerd en omgekeerd. Figuur 2 geeft het verloop van de gerealiseerde etmaaltemperatuur, minimumtemperatuur en ventilatietemperatuur voor een periode van 60 dagen (februari tot mei).

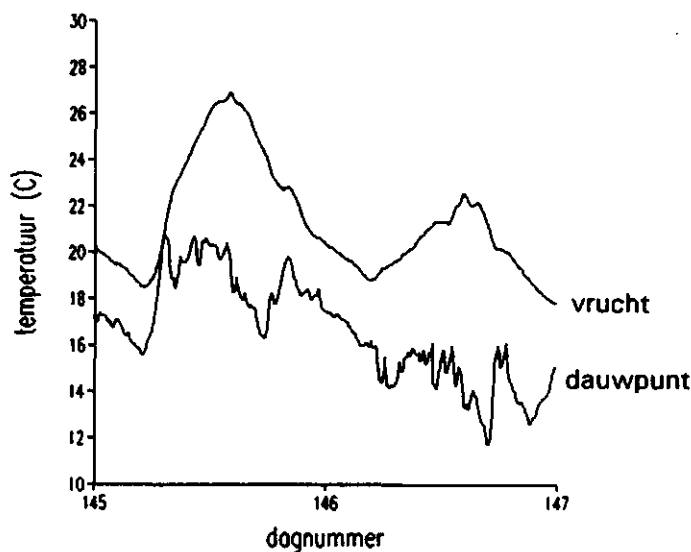


Figuur 1 - Het verloop van de gerealiseerde, maximum en minimum temperatuur over 60 dagen.

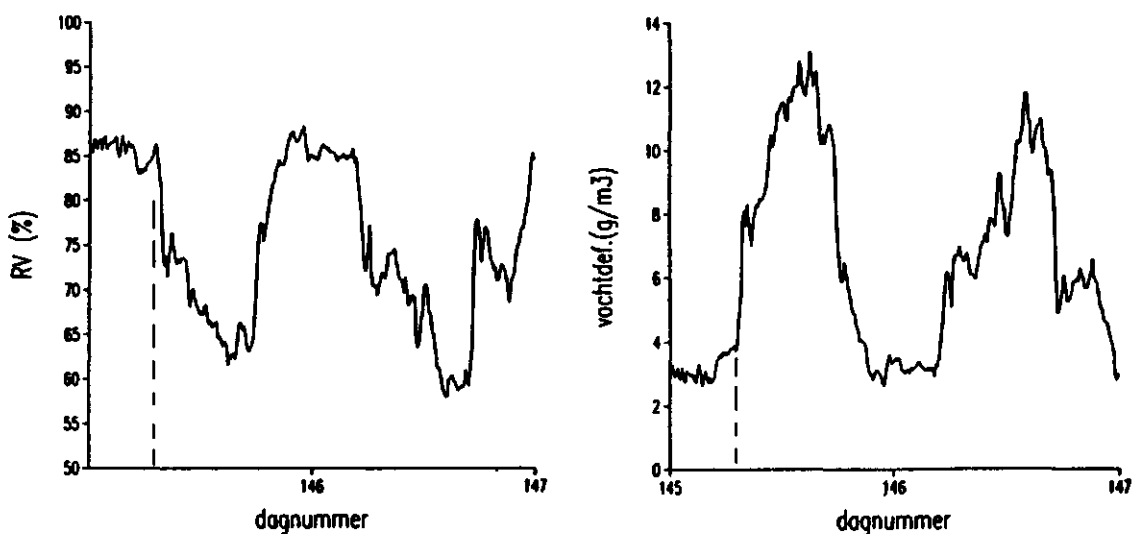
3.2 VOCHTREGELING

3.2.1 Condensatie

Figuur 3 toont de berekende vruchttemperatuur en dauwpunttemperatuur van de kaslucht voor twee zomerse dagen. Bij een snelle temperatuurstijging in de ochtend van de eerste dag benaderde de dauwpunttemperatuur de vruchttemperatuur. Of er daadwerkelijk condensatie op de vrucht plaatsvond is niet waargenomen. Zowel de RV als het vochtdeficiet vertoonden op dit moment geen extreme waarde (figuren 4 en 5). Het regelen op het verschil tussen de dauwpunttemperatuur en de vruchttemperatuur lijkt dus een meer kritische methode om condensatie op het gewas te voorkomen. Echter, een grondige validatie is nodig voordat de regeling in de praktijk kan worden geïntroduceerd.



Figuur 3 - Het verloop van de gesimuleerde vruchttemperatuur en de dauwpunttemperatuur van de kaslucht tijdens twee zomerse dagen.

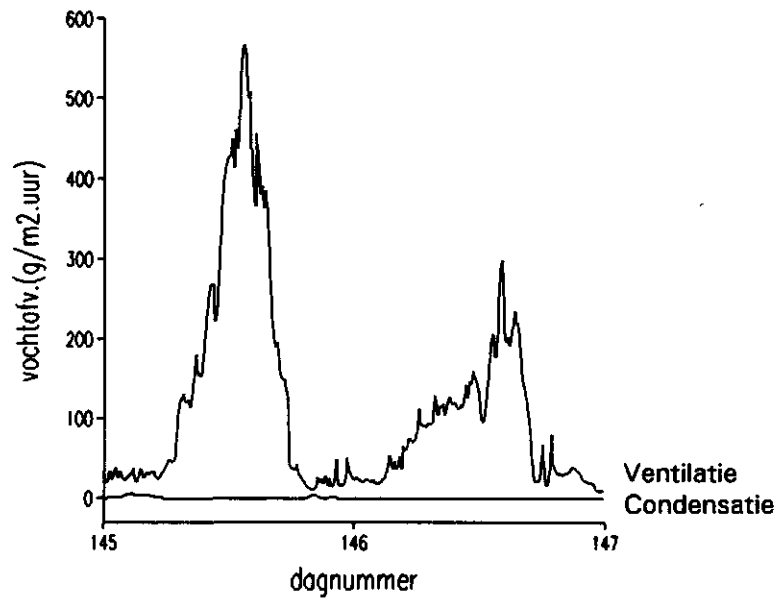


Figuur 4 - Het verloop van de relatieve luchtvochtigheid van de kaslucht op twee zomerse dagen.

Figuur 5 - Het verloop van het vochtdeficiet van de kaslucht op twee zomerse dagen.

3.2.2 Verdamping

Berekende vochtafvoer door ventilatie en condensatie werden apart zichtbaar gemaakt. Figuur 6 geeft het verloop van beide componenten van de vochtafvoer gedurende twee zomerse dagen. Globaal lijken de berekende waarden te kloppen met de verdamping die gedurende die dagen verwacht mocht worden. Ook hier geldt dat een grondige validatie, inclusief vergelijking met de aanvoer (verdamping) van waterdamp, nodig is alvorens de gesimuleerde vochtafvoer gebruikt kan worden in de regeling.



Figuur 6 - Berekende vochtafvoer door ventilatie en condensatie gedurende twee zomerse dagen.

LITERATUUR

Bailey, B.J. en Seginer, I, 1989. Optimum control of greenhouse heating. *Acta Hort.*, 245: 512-518.

Bakker, J.C., Bos, L. van den, Arendzen, A.J. en Spaans, L., 1988. A distributed system for glasshouse climate control, data acquisition and analysis. *Computers and Electronics in Agriculture*, 3: 1-9.

Jong, T. de, 1990. Natural ventilation of large multi-span greenhouses. Proefschrift Landbouwniversiteit Wageningen.

Koning, A.N.M. de, 1990. Long-term temperature integration of tomato. Growth and development under alternating temperature regimes. *Scientia Hort.* 45: 117-127.