



Monitoring ClimecoVent-systeem in de praktijk

Technisch, teeltkundig en economisch onderzoek
naar een energiezuinige kas bij kwekerij Grenspaal B.V.

Marcel Raaphorst
Jos Voermans (Climeco)



© 2010 Wageningen, Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek (DLO)

Alle intellectuele eigendomsrechten en auteursrechten op de inhoud van dit document behoren uitsluitend toe aan de Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek (DLO). Elke openbaarmaking, reproductie, verspreiding en/of ongeoorloofd gebruik van de informatie beschreven in dit document is niet toegestaan zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van DLO. Voor nadere informatie gelieve contact op te nemen met: DLO in het bijzonder onderzoeksinstituut Wageningen UR Glastuinbouw. DLO is niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen die kunnen ontstaan bij gebruik van gegevens uit deze uitgave.

Wageningen UR Glastuinbouw

Adres : Violierenweg 1, 2665 MV Bleiswijk
: Postbus 20, 2665 ZG Bleiswijk
Tel. : 0317 - 48 56 06
Fax : 010 - 522 51 93
E-mail : glastuinbouw@wur.nl
Internet : www.glastuinbouw.wur.nl

Inhoudsopgave

1	Samenvatting	5
2	Inleiding	7
	2.1 Achtergrond	7
	2.2 Probleemstelling	7
	2.3 Doelstellingen	7
	2.4 Taakverdeling monitoringsprogramma	8
3	Monitoring, metingen aan en beoordeling van de techniek	9
	3.1 De prestaties van de LBK's	9
	3.1.1 Prestaties van de regainunits	9
	3.1.2 Prestaties van de luchtkleppenregisters	9
	3.2 Verticale en horizontale temperatuurverdeling	10
	3.2.1 Temperatuurmetingen met 2 meetpalen	10
	3.2.2 Horizontale temperatuurverdeling	11
	3.3 De in het systeem optredende drukken en drukverliezen	11
	3.3.1 LBK 1 in ventilatiemodus (aanzuigen buitenlucht)	12
	3.3.2 LBK 1 in recirculatiemodus (aanzuigen kaslucht)	12
	3.3.3 Afzuigventilatoren in ventilatiemodus (aanzuigen buitenlucht)	13
	3.3.4 Homogeniteit van het inblazen	13
	3.3.5 Metingen ten aanzien van de folieslangen	13
	3.4 Beoordeling van de gebruikte materialen	14
	3.4.1 LBK's	14
	3.4.2 Scherminstallatie	15
	3.4.3 Luchtdistributieinstallatie	15
4	Ontvochtiging en energiebesparing	17
	4.1 Ontvochtiging in het voorjaar	17
	4.2 Ontvochtiging in het najaar	18
	4.3 Inzet en rentabiliteit van regainunit	19
5	Vergelijking met referentiebedrijf	23
	5.1 Kasklimaat	23
	5.1.1 Kastemperatuur	23
	5.1.2 Luchtvochtigheid (RV)	23
	5.1.3 Schermgebruik	23
	5.2 Energiegebruik	24
	5.2.1 Buistemperatuur	24
	5.2.2 Gasverbruik	24
	5.2.3 CO ₂	24

5.3	Gewas	25
5.3.1	Bloei en zetting	25
5.3.2	Plantbelasting	25
5.3.3	Kopdikte	26
5.3.4	Bladlengte en LAI	26
5.3.5	Productie	26
6	Conclusies en aanbevelingen	27
6.1	Conclusies	27
6.2	Aanbevelingen	28
7	Literatuur	29
Bijlage I	Het ClimecoVent-concept	31
Bijlage II	Specificaties van het ClimecoVent-systeem	37
Bijlage III	Meetapparatuur	39
Bijlage IV	Metingen rendement van de regainunit	41
Bijlage V	Metingen temperatuurgradient	43
Bijlage VI	Grafieken gewas, kasklimaat en energie	47

1 Samenvatting

De tomatentelers Noud en Roy Steegh zijn in januari 2009 op kwekerij Grenspaal te Wellerlooi (L) gestart met een nieuwe kas, voorzien van het ClimecoVent-systeem. De belangrijkste kenmerken van het systeem zijn:

- twee scherminstallaties
- buitenlucht kan worden verwarmd en via luchtslangen in de kas geblazen
- afgevoerde kaslucht kan via een warmte-wisselaar (regainunit) de aangevoerde buitenlucht voorverwarmen
- de buitenlucht kan worden gemengd met kaslucht

Met het ClimecoVent-systeem wordt beoogd zodanig energie te besparen dat de warmtevraag bij een tomatenteelt neerkomt op een aardgasverbruik van 25 tot 30 m³/m². De productiedoelen liggen gelijk aan die van een standaard tomatenteelt.

Gezien het innovatieve en energiezuinige karakter van het ClimecoVent-systeem, heeft Wageningen UR in samenwerking met Climeco het systeem bij kwekerij Grenspaal over een tijdsspanne van ruim een jaar gemonitord in opdracht van het programma "Kas als Energiebron".

In het eerste jaar (2009) zijn de teelt- en energiedoelstellingen nagenoeg gehaald met een energieverbruik van iets meer dan 30 m³/m² aardgas en een productieniveau dat dicht in de buurt ligt van een vergelijkbare referentiateelt. Een nadeel is dat voor de ventilatoren ruim 10 kWh/m² elektriciteit nodig is geweest. Met de huidige energieprijzen van ± 0,20 €/m³ en ± 0,07 €/kWh levert de energiebesparing jaarlijks 1,3 €/m² op, waarmee de investering niet tijdig kan worden terugverdiend. Bij hogere gasprijzen wordt de terugverdientijd van de investering uiteraard korter.

Het ClimecoVent-systeem bij Steegh voldoet aan de ontwerpeisen. Het werkelijke debiet ligt 6-10% lager dan het ontwerp en de onderhoudskosten zijn lager dan begroot. Verder blijkt de regainunit de aangezogen buitenlucht met ongeveer 50% te kunnen voorverwarmen. De energiebesparing door de twee schermen is minder groot dan zou mogen worden opgemaakt uit de opgaven van de fabrikanten. Met een opgegeven isolatiewaarde van respectievelijk 25% en 68% zou verwacht mogen worden dat bij gesloten schermen 78% zou kunnen worden bespaard ten opzichte van een kas zonder scherm. De werkelijke besparing bij twee gesloten schermen is echter geschat op slechts 45%.

De horizontale temperatuurverdeling in de kas is bijzonder egaal gebleken. Meerdere factoren kunnen hebben bijgedragen aan de gelijkmatige horizontale temperatuurverdeling. Vermoed wordt dat met name een lichte overdruk in de kas plaatselijke kouval heeft voorkomen.

De luchtvochtigheid is vooral bij lage buitentemperaturen en weinig instraling goed en nauwkeurig te beheersen met ingeblazen buitenlucht. Bij hogere buitentemperaturen of meer instraling is steeds meer buitenlucht nodig voor ontvochtiging en moet (ook) op de traditionele manier worden geventileerd.

Door minder gebruik te maken van de verwarmingsbuizen en met name door de afwezigheid van een groeibuis is de uitgroeiduur van de vruchten verlengd. Met een langere uitgroeiduur wordt de oogst vertraagd en ook de plantbelasting verhoogd. Ondanks de hoge plantbelasting is het bladoppervlak hoog gebleven.

Doordat minder gas is gebruikt voor de verwarming van de kas is ook minder CO₂ beschikbaar. In combinatie met de schaduwwerking van het extra scherm zou hiermee mogen worden verwacht dat het productieniveau achterblijft, maar dat is niet gebleken.

2 Inleiding

2.1 Achtergrond

De tomatentelers Noud en Roy Steegh zijn in januari 2009 op kwekerij Grenspaal te Wellerlooi (L) gestart met een nieuwe kas, voorzien van het door Climeco Engineering B.V. ontwikkelde ClimecoVent-systeem. Dit is het eerste project in Nederland waar het ClimecoVent concept wordt toegepast.

De belangrijkste kenmerken van het systeem zijn:

- twee scherminstallaties
- buitenlucht kan worden verwarmd en via luchtslangen in de kas geblazen
- afgevoerde kaslucht kan via een warmte-wisselaar (regainunit) de aangevoerde buitenlucht voorverwarmen
- de buitenlucht kan worden gemengd met kaslucht

Nadere specificaties staan beschreven in Bijlage II.

Gezien het innovatieve en energiezuinige karakter van het ClimecoVent-systeem, heeft Wageningen UR in samenwerking met Climeco het systeem bij kwekerij Grenspaal over een tijdsspanne van ruim een jaar gemonitord in opdracht van het programma "Kas als Energiebron".

2.2 Probleemstelling

Met het ClimecoVent-systeem kan zowel energie worden bespaard als vochtproblemen worden voorkomen. Het gebruik van een minimumbuis voor luchtbeweging is door het inblazen van droge buitenlucht in principe niet meer nodig. Bovendien kan een energiescherm op deze manier langer gesloten blijven, zodat op de stookkosten bespaard kan worden. Geschat wordt dat met dit systeem tot 30 procent energiebesparing mogelijk is. De nieuwe kas en de nieuwe specifiek voor de kas ontworpen energie-installaties beïnvloeden op ongebruikelijke wijze het interne klimaat en daarmee de gewasgroei. Dit gegeven kan een teler doen neigen naar een vertrouwder kasklimaatregeling, waardoor de beoogde energiebesparing niet meer zou worden gehaald.

2.3 Doelstellingen

Met het ClimecoVent-systeem wordt beoogd zodanig energie te besparen dat de warmtevraag bij een tomatenteelt neerkomt op een aardgasverbruik van 25 tot 30 m³/m². De productiedoelen liggen gelijk aan die van een standaard tomatenteelt.

De begeleiding van de teler bij de introductie van het innovatieve systeem is de belangrijkste pijler van het monitoringsproject. Door intensieve begeleiding kunnen verkregen inzichten aangaande de belangrijkste probleemstellingen (hoe te telen met het nieuwe systeem, praktische werking van het nieuwe systeem), direct in de praktijk worden toegepast.

De praktijk heeft in het verleden bij innovatieve concepten meermaals uitgewezen dat klimaatparameters elkaar op onverwachte wijze kunnen beïnvloeden. Daarom is in dit project als doel gesteld de onverwachte verschijnselen en eventuele kinderziekten in een vroeg stadium bij te kunnen sturen.

Na de monitoringsperiode zullen de verzamelde data, de opgedane ervaringen en de verworven kennis, alsmede de getrokken conclusies en gedane aanbevelingen, worden gecommuniceerd via artikelen en een workshop en zijn vervolgens gebundeld in deze openbare (eind)rapportage.

2.4 Taakverdeling monitoringsprogramma

Het onderzoek “Teeltbegeleiding en Techniek bij de eerste praktijktoepassing van het ClimecoVent-systeem” wordt uitgevoerd door Wageningen UR Glastuinbouw, in samenwerking met Climeco Engineering B.V.

Wageningen UR Glastuinbouw behartigt de volgende onderwerpen:

- het opstellen van een doorgerekend teeltplan, en een strategie om dit teeltplan met de beschikbare technische middelen zo efficiënt mogelijk te doorlopen;
- het vaststellen van de setpoints waarmee in specifieke situaties een plantbalans kan worden bereikt, en/of klimaatproblemen kunnen worden voorkomen;
- de dataverzameling behorende bij de diverse typen metingen, en de hierbij behorende rapportages, waarin de in de praktijk gevonden/gerealiseerde (meet)waarden worden getoetst aan de berekende theoretische waarden;
- het geven van teeltadvies, met onderbouwing omtrent de gevolgen/effecten van de te maken keuzen;
- het realiseren van de energiedoelstelling en eventuele bijsturing van de relevante processen op basis van het verschil tussen berekende en gerealiseerde cijfers;
- het organiseren van een klankbordgroep, bestaande uit een aantal tuinders die discussiëren over het teeltconcept en de hiermee opgedane ervaringen;
- de vergelijking van het ClimecoVent-concept met andere systemen.

Climeco Engineering B.V. behartigt de volgende onderwerpen (zie hoofdstuk 2):

- het verrichten van technisch onderzoek naar:
 - de prestaties van de in de regainunit ingebouwde lucht/lucht warmtewisselaar;
 - de verticale en horizontale temperatuurgradiënt;
 - het afvoeren van vocht tijdens gesloten en open schermen;
 - de in het systeem optredende drukken en drukverliezen;
 - het elektraverbruik;
 - de warmtemetingen;
- het beoordelen van de gebruikte materialen;

3 Monitoring, metingen aan en beoordeling van de techniek

In dit hoofdstuk zullen diverse aspecten worden besproken die direct te maken hebben met de techniek achter het ClimecoVent-concept, dan wel het kasklimaat waar dat specifiek te maken heeft met de toepassing van het ClimecoVent-concept.

3.1 De prestaties van de LBK's

De LBK's bevatten een regainunit, die inkomende buitenlucht met een lucht/luchtwarmtewisselaar kan voorverwarmen met uitgeblazen kaslucht. Ook is in iedere LBK een recirculatieluchtkleppenregister aanwezig die de verhouding tussen aangezogen buitenlucht en kaslucht moeten regelen.

3.1.1 Prestaties van de regainunits

Door het verrichten van een aantal metingen is het rendement van de regainunit te bepalen. Het rendement wordt uitgedrukt in een percentage dat behoort bij de buitenluchtstroom die tot kastemperatuur wordt opgewarmd. Een verslag van de metingen is opgenomen in Bijlage IV.

Het rendement is bepaald bij vollast ventilatiebedrijf van de regainunit.

Het luchtdebiet dat de toevoerventilator verplaatst bedraagt $28.213 \text{ m}^3/\text{h}$ en het luchtdebiet dat de beide afzuigventilatoren gezamenlijk verplaatsen bedraagt $25.750 \text{ m}^3/\text{h}$. Dit betekent dat het systeem $(28.213 \cdot 8) / 37000 \text{ m}^2 = 6,1 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ aan buitenlucht kan inblazen.

In paragraaf 2.3 is beschreven hoe deze luchtdebieten bepaald zijn.

Conclusie

Op basis van de meetwaarden is met theoretische modellen berekend dat het rendement van de lucht/lucht warmtewisselaars, bij condensatie in de wisselaar, en onder gebruikelijke omstandigheden op zou kunnen lopen naar een waarde rond de 50%.

Hoe kouder de buitenlucht en hoe vochtiger de kaslucht, hoe hoger het rendement van de warmtewisselaar. Rendementen van rond de 60% moeten kunnen worden gehaald bij extreme weersomstandigheden. Aangezien deze niet vaak voorkomen wordt uitgegaan van een rendement van rond de 50%.

Betere rendementen zijn mogelijk door de toepassing van een ander, beter geleidend, materiaal dan PVC. Echter een warmtewisselaar vervaardigd uit een beter geleidend materiaal met eenzelfde mate van chemische bestendigheid, zal een veelvoud van kosten met zich meebrengen, en kan zichzelf niet binnen een acceptabele periode met de teruggewonnen energie terugverdienen.

De PVC lucht/luchtwisselaars in de regainunit presteren volgens ontwerp.

3.1.2 Prestaties van de luchtkleppenregisters

Het systeem is met het planten van het gewas in de winter van 2009 opgestart. Na de opstart blijkt dat bij 100% recirculatiebedrijf een aanzienlijk deel buitenlucht wordt meegezogen.

Omdat het gewas nog niet volgroeid is, en daardoor nog weinig verdampt, en tevens de aangezogen koude buitenlucht erg droog is, blijkt het klimaat in de kas te droog te worden als de LBK's onafgebroken in bedrijf blijven.

Oorzaak van het euvel is de grote luchtweerstand van recirculatieluchtkleppenregister ten opzichte van de buitenluchtaanzuigvoorzieningen. Om de situatie te verbeteren zijn de LBK's aangepast. De kleppenregisters waarmee de recirculatie-luchtstroom is geregeld (1.000 × 800 mm), zijn allen vervangen door grotere exemplaren (1.400 × 1.600 mm).

De situatie is verder verbeterd door in de winterperiode een deel van de buitenluchtaanzuigvoorzieningen af te dekken.

3.2 Verticale en horizontale temperatuurverdeling

De verticale en horizontale temperatuurgradiënt zijn continu gemeten (zie Figuur 1.) en voor enkele specifieke momenten aan een analyse onderworpen (zie Bijlage V).

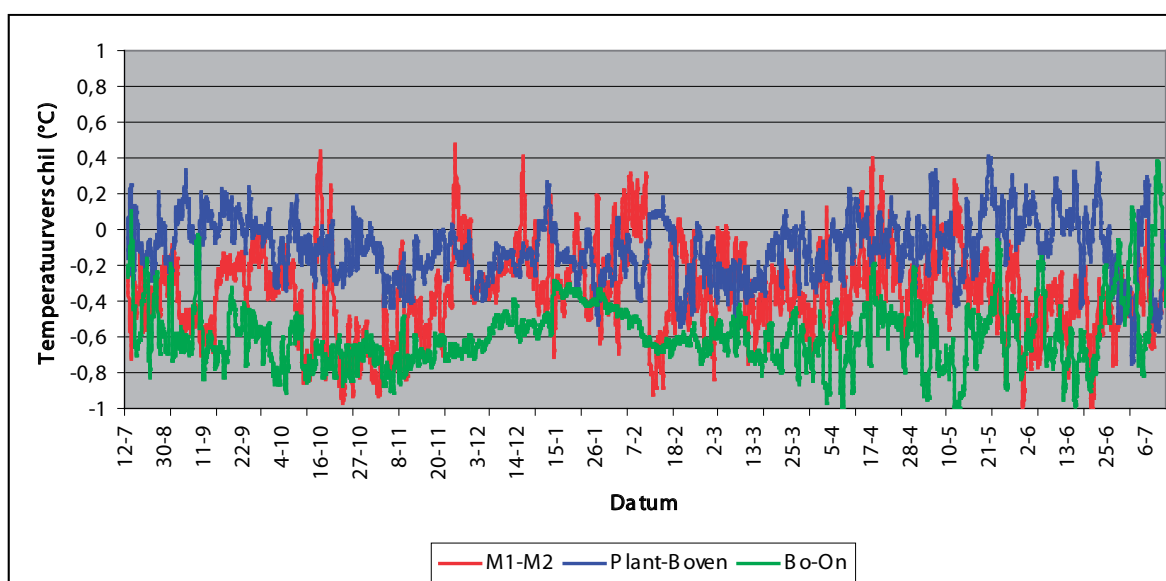
3.2.1 Temperatuurmetingen met 2 meetpalen

In Figuur 1. zijn gedurende een jaar de 24-uurs gemiddelde verschillen gegeven tussen verschillende meters van de meetpalen. Iedere meetpaal bevat 1 planttemperatuurmeter en 3 meetboxen op drie verschillende hoogten.

Plant-Boven (blauwe lijn) staat voor het verschil tussen de waarde van de planttemperatuurmeters en de temperatuur van de bovenste meetbox. Gemiddeld geeft de plant een 0,1 °C lagere temperatuur aan dan de kaslucht bovenin.

Bo-On (groene lijn) geeft het verschil tussen de bovenste en de onderste meetboxen aan. Gemiddeld is de onderste meetbox 0,6 °C warmer dan de bovenste meetbox. Dit wordt vooral veroorzaakt doordat de kas van onderaf wordt verwarmd. In de periode met geen of een laag gewas (eind december tot half februari) liggen de temperaturen onder en boven dicht bij elkaar.

M1-M2 (rode lijn) is het verschil tussen de drie meetboxen van meetpaal 1 en de drie meetboxen van meetpaal 2. Dit is een indicatie voor de horizontale temperatuurverschillen in afdeling 1. Gemiddeld is meetpaal 1 0,35°C kouder dan meetpaal 2. Overdag worden de grootste verschillen gevonden. Er is nauwelijks een verband gevonden tussen de uitblaastemperatuur en het verschil tussen de meetpalen. Dit kan worden verklaard doordat de uitblaastemperatuur al automatisch wordt teruggekoppeld op basis horizontale temperatuurverschillen van de Priva-meetboxen, waardoor horizontale temperatuurverschillen van de meetpalen al enigszins worden genivelleerd. Ook is geen verband gevonden tussen de windrichting en het verschil tussen de meetpalen.



Figuur 1. 24-uurs gemiddelde verschillen tussen de twee meetpalen (M1-M2), de planttemperatuurmeters en de bovenste meetboxen (Plant-Boven) en de bovenste en de onderste meters (Bo-On)

Conclusie

De horizontale temperatuurverschillen tussen de twee meetpalen zijn zeer klein gebleven. De kastemperatuur ligt onderin het gewas gemiddeld 0,5 °C hoger dan bovenin het gewas. De verticale temperatuurverschillen wijken daarmee niet sterk af van gangbare tomatenteeltbedrijven die minder intensief schermen.

3.2.2 Horizontale temperatuurverdeling

Tijdens het meten is de indruk ontstaan dat een lichte overdruk in de kas de gelijkmatigheid in het klimaat bevordert. Bij het ontwerp is niet uitgegaan van over- of onderdruk in de kas. Nadat gebleken is dat de afzuigventilatoren in de praktijk minder lucht verplaatsten dan de toevoerventilatoren, zijn de voorbereidingen opgestart om de regainunits aan te passen, zodat evenveel lucht uit de kas kan worden verwijderd als er wordt toegevoerd.

Nadat regainunit 1 al is aangepast blijkt door de metingen het gunstige effect van een lichte overdruk in de kas. De overige regainunits zijn niet meer aangepast; de "optimalisatie" zou mogelijk een gunstig effect wegnemen.

De grote gelijkmatigheid in het klimaat in de kas is waarschijnlijk niet alleen te danken aan de lichte overdruk; andere gunstige omstandigheden die bijdragen aan de gelijkmatigheid zijn:

- de nieuwe kas kent weinig lekkage door kieren en naden,
- de gevels zijn voorzien van isolerende en lekdichte Stegdoppelplaten, in plaats van enkel glas,
- de kasvloer ligt iets op afschot, dat tegenovergesteld afloopt als het dek van de kas.

Het ClimecoVent-systeem is bedoeld om de scherm(en) en de luchtramen zo lang/veel mogelijk gesloten te houden en de kas te ontvochtigen door vochtige kaslucht op maat te vervangen door droge buitenlucht (ventilatie).

Voor verwarmen of koelen zijn luchtslangen ongeschikt. Het gatenpatroon in de folieslangen is zodanig van opzet dat over de gehele lengte evenveel lucht wordt uitgeblazen. Tijdens verwarmingsbedrijf met folieslangen zou de warme lucht tijdens het relatief lange verblijf in de slang afkoelen. Hierdoor wordt aan de voorzijde van de folieslangen meer warmte in de kas gebracht dan aan de achterzijde van de folieslangen. Tijdens koelbedrijf met de folieslangen zou zich een soortgelijk effect kunnen voordoen. De koude lucht zal tijdens het verblijf in de slang opwarmen. Hierdoor wordt aan de voorzijde van de folieslangen meer koude in de kas gebracht, dan aan de achterzijde van de folieslangen.

Dit is de reden dat met de luchtslangen zo veel mogelijk isotherm wordt ingeblazen. De inblaasttemperatuur is dan gelijk aan de gewenste kastemperatuur.

Als horizontale temperatuurverschillen zich toch voordoen in de lengterichting van de kappen, dan kunnen deze verschillen enigszins worden vereffend door licht te verwarmen of te koelen. Aangezien de Priva meetboxen zich voor deze optie op een gunstige locatie in de kas bevinden, is deze optimalisering reeds aangebracht in de tuinbouwcomputer.

3.3 De in het systeem optredende drukken en drukverliezen

De LBK's zijn ontworpen om een luchtdebiet ter grootte van 30.000 m³/h te verplaatsen. Dit komt overeen met een luchtverversingspotentieel van 6,5 m³/m².h

Ventilatoren verplaatsen in de praktijk een bepaalde luchthoeveelheid bij een bepaalde druk, die ontstaat door de weerstand die de lucht op zijn weg ondervindt. Voor het project is de te verplaatsen luchthoeveelheid van belang. Drukken en drukverliezen moeten tijdens het ontwerp zo laag mogelijk worden gekozen, omdat dit het energieverbruik gunstig beïnvloedt.

Drukken bij LBK1 zijn gemeten om lokale weerstanden te traceren c.q. te beoordelen. Installatiecomponenten met een relatief c.q. ongewenst hoog drukverlies worden gewijzigd, teneinde een energiezuinigere c.q. betere werking te verkrijgen.

3.3.1 LBK 1 in ventilatiemodus (aanzuigen buitenlucht)

In 9 slangen van LBK 1 is maart 2009 aan het begin van de slang een luchtsnelheidsmeting verricht. De gemiddelde tijd-gemiddelde waarde, die is gemeten bij het inlaten van 100% buitenlucht, bedraagt 3,46 m/s. Dit betekent dat het door de LBK verplaatste luchtdebiet in deze modus 28.213 m³/h bedraagt. Dit komt overeen met een luchtverversingspotentieel van 6,11 m³/m².h

Deze waarden liggen een aanvaardbare 6% onder het ontwerpluchtdebiet van de LBK.

Mogelijke oorzaak van het verminderde luchtdebiet is dat in het einde van de slang, ten opzichte van de omgeving, een verschildruk werd gemeten van 31 Pa, terwijl de snelheid door het laatste gaatje kleiner is 3,98 m/s, die behoort bij de ontwerp statische druk van 21,5 Pa in de slang.

(Er blijft dan 9,5 Pa druk over om de lucht door het desbetreffende gaatje te krijgen.)

Het verschil in luchtdebiet tussen de eerste en de laatste gaatjes is overigens gecompenseerd door voorin de slang relatief weinig gaatjes te maken en achterin de slang relatief veel gaatjes te maken.)

Blijkbaar ondervindt de lucht bij het doorstromen van het gaatje een grotere weerstand dan theoretisch wordt aangenomen; het gaatje is verondersteld een buisje te zijn zonder lengte.

3.3.2 LBK 1 in recirculatiemodus (aanzuigen kaslucht)

In 9 slangen van LBK 1 is maart 2009 aan het begin van de slang een luchtsnelheidsmeting verricht. De gemiddelde tijd-gemiddelde waarde, die is gemeten bij het inlaten van 100% kaslucht, bedraagt 2,86 m/s. Dit betekent dat het door de LBK verplaatste luchtdebiet in deze modus 23.320 m³/h bedraagt. Dit komt overeen met een luchtverversingspotentieel van 5,04 m³/m².h

Deze waarden liggen een onaanvaardbare 22% onder het ontwerpluchtdebiet van de LBK.

Drukmetingen hebben aangetoond dat de weerstand, die de doorstromende lucht over de warmtewisselaars in de warmteterugwinningsecties ondervindt, minder is dan verwacht, terwijl de weerstand, die de doorstromende lucht over het recirculatiekleppenregister ondervindt, veel hoger is dan verwacht.

In principe hoeft een lager luchtdebiet tijdens recirculatiebedrijf niet schadelijk te zijn, ware het niet dat tijdens situaties waarin slechts kleine hoeveelheden buitenlucht moeten worden aangezogen, de hoeveelheid buitenlucht te groot is geworden. Het ontbreken van buitenluchtkleppenregisters heeft dit probleem extra in de hand gewerkt.

Om de situatie te verbeteren zijn de LBK's aangepast. De kleppenregisters waarmee de recirculatieluchtstroom geregeld werd (1.000 × 800 mm), zijn allen vervangen door grotere exemplaren (1.400 × 1.600 mm).

In 9 slangen van LBK 1 is mei 2009 aan het begin van de slang een luchtsnelheidsmeting verricht. De gemiddelde tijd-gemiddelde waarde, die is gemeten bij het inlaten van 100% kaslucht, bedraagt 3,34 m/s. Dit betekent dat het door de LBK verplaatste luchtdebiet in deze modus 27.234 m³/h bedraagt. Dit komt overeen met een luchtverversingspotentieel van 5,89 m³/m².h.

Deze waarden liggen een aanvaardbare 9,3% onder het ontwerpluchtdebiet van de LBK.

De vermoedelijke oorzaak van het lagere debiet dan het ontwerpluchtdebiet moet worden gezocht in de slangen. Zie desbetreffende uitleg onder paragraaf 2.3.1.

3.3.3 Afzuigventilatoren in ventilatiemodus (aanzuigen buitenlucht)

Ook de beide afzuigventilatoren van LBK 1 blijken gezamenlijk een kleiner debiet (25.750 m³/h) te verplaatsen dan het ontwerpluchtdebiet (30.000 m³/h). Dit is ruim 14% minder.

De kas komt tijdens de meting in de ventilatiemodus onder overdruk te staan, hetgeen aan de toegangdeur te merken is. LBK 1 is van zwaardere ventilatoren voorzien.

Na verschillende tests is ondervonden dat de lichte overdruk in de kas ten goede komt aan een meer homogene luchtverdeling. Dit positieve effect is zo groot, dat besloten is de overige LBK's te laten zoals ze zijn.

Conclusie

De LBK's verplaatsen momenteel een iets kleiner debiet dan in het ontwerpstadium is berekend.

Het verschil van 6% (bij ventileren) of 10% (bij recirculeren) is acceptabel en wordt deels veroorzaakt doordat de weerstand die de lucht bij het doorstromen van de gaatjes ondervindt, groter is dan aangenomen op theoretische basis.

De afzuigventilatoren hebben gezamenlijk een 14% kleiner debiet dan het ontwerpdebiet. Dit wordt niet meer verholpen, omdat de lichte overdruk die nu in de kas ontstaat tijdens de ventilatiemodus een enorm positief effect heeft op de homogeniteit bij het inblazen van ventilatielucht.

3.3.4 Homogeniteit van het inblazen

De LBK's zijn allen identiek, en zijn allen aangesloten op een identiek kanalenstelsel.

Op 6 LBK's zijn 18 folieslangen aangesloten en op 2 LBK's zijn 19 folieslangen aangesloten.

Alle 146 folieslangen zijn identiek. Het gaatjespatroon van de folieslangen is verdeeld over 4 secties, en is zo berekend dat de hoeveelheid lucht zo gelijkmatig mogelijk wordt ingeblazen. (24 m met in het totaal 188 gaatjes, 17,6 m met in het totaal 146 gaatjes, 24 m met in het totaal 214 gaatjes en 94,4 m met in het totaal 900 gaatjes.)

Zie ook hoofdstuk Bijlage II. voor verdere specificaties van de folieslangen.

Aangezien de folieslang feitelijk als een ronde, niet verlopende, kunststof buis mag worden aangenomen, kan het gatenpatroon eenvoudig berekend worden. Verrassingen in de praktijk zijn nagenoeg uitgesloten.

Het spreekt voor zich dat het gebruik van secties een niet helemaal perfecte verdeling introduceert. Beter zou een traploos gatenpatroon zijn geweest. Aangezien het stansen van een traploos gatenpatroon een zeer kostbare aangelegenheid is, is gekozen voor het, minder nauwkeurige, viertal secties.

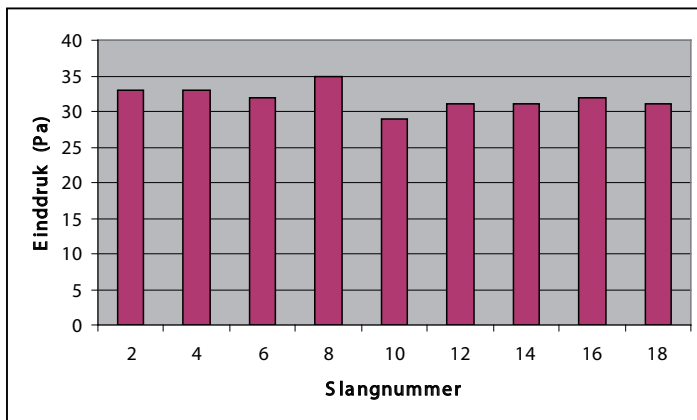
Bij dit gatenpatroon kan er van uit worden gegaan dat de totale, door de desbetreffende LBK verplaatste, luchthoeveelheid voldoende verdeeld wordt, als de statische druk (*) aan het eind van elke folieslang gelijk is.

(*) Drukverschil in de folieslang/buiten de folieslang.

Eventuele verschillen in de meetwaarden worden veroorzaakt door een verschil in weerstand in het kunststoffen PUR/POL luchtkanaal.

3.3.5 Metingen ten aanzien van de folieslangen

Aan het einde van 9 folieslangen (elke tweede folieslang) die zijn aangesloten op LBK 1 is het drukverschil met de kaslucht gemeten (zie Figuur 2.). De gemiddelde waarde bedraagt 31,8 Pa, de minimum waarde 29 Pa (-9%) en de maximum waarde 35 Pa (+10%).



Figuur 2. Druk (Pa) aan het einde van de luchtslangen van LBK 1

Het uitvoeren van metingen met verschillende in te blazen luchtdebieten is overbodig, omdat:

- de toevoerventilator in de LBK's altijd een vast toerental heeft; het debiet fluctueert tussen 27.234 m³/h in de recirculatiestand en 28.213 m³/h in de ventilatiestand, één en ander wordt veroorzaakt door een verschil in interne luchtweerstand in de LBK's tussen de beide genoemde standen.
- de installatie waarmee wordt ingeblazen (kunststoffen luchtkanalen en folieslangen) niet verandert in het werkgebied (27.234 .. 28.213 m³/h; folieslang blijft rond). De genoemde percentages blijven dus gelijk.

Conclusie

De gelijkmatigheid waarmee met de folieslangen lucht in de kas wordt gebracht is groot, te weten -9% .. +10%.

Saillant detail is dat de folieslangen (8 en 10) met de grootste afwijking ten opzichte van het gemiddelde zich beiden direct naast het T-stuk bevonden, waarmee de LBK feitelijk wordt aangesloten op het kunststoffen PUR/POL verdeelkanaal.

De gemeten uitersten zouden het gevolg kunnen zijn van een imperfect uitgevoerd T-stuk c.q. imperfect uitgelijnde airturms.

3.4 Beoordeling van de gebruikte materialen

De drie belangrijkste onderdelen van het ClimecoVent concept, namelijk de LBK's, de scherminstallatie en de luchtslangen, zijn beoordeeld door Climeco, ruim een jaar na ingebruikname.

3.4.1 LBK's

De behuizingen van de LBK's zijn nauwelijks verouderd. LBK 2 heeft aan de voorzijde enige averij opgelopen door geweld van buitenaf. Eén en ander behoeft niet gerepareerd te worden.

De kitvoegen zijn op enkele plaatsen losgekomen van hun ondergrond. Gezien de slechts zeer geringe, en bovendien voor het proces onschadelijke, luchtlekkage is hier geen actie ondernomen.

De eerste LBK's zijn, doordat hier tijdens de georganiseerde excursies veel mensen hebben gekeken, op de vloer nogal vervuild geraakt. Enig schoonmaakwerk is hier aan te bevelen om vervuiling en slijtage van de achterliggende installatiecomponenten te voorkomen.

De ventilatoren bevinden zich in goede staat. Tijdens de eerste periode van in gebruik name zijn de V-snaren van LBK 8 gebroken (jan. 2009).

In 2010 zijn de V-snaren van LBK 2 en 4 vervangen. Tevens zijn in LBK 3 de ventilatorlagers aan zowel de aandrijfszijde als de gedreven zijde vervangen. In LBK 4 zijn de ventilatorlagers aan de aandrijfszijde vervangen.

Genoemde lagers zijn allen verbrand doordat het lagervet is verdwenen. Deze ongewone slijtage kan veroorzaakt zijn door het met hoge waterdruk schoonspuiten van het interne gedeelte van de desbetreffende LBK's, waarbij de hogedrukwaterstraal het vet heeft weggespoten.

Lucht/lucht warmtewisselaars, verwarmingsbatterijen, luchtkleppenregisters, terugslagkleppen en elektra-aansluitingen van de LBK's bevinden zich in een uitstekende staat.

Conclusie

De LBK's zijn in goede staat. Ondanks de ongewone schadepost aangaande de verbrande lagers, is er minder aan onderhoud uitgegeven dan begroot.

3.4.2 Scherminstallatie

De extra scherminstallatie die bij het ClimecoVent-concept behoort, verkeert in goede staat. Hier wordt verder niet op ingegaan, aangezien het een, voor de glastuinbouw, alledaagse voorziening betreft.

3.4.3 Luchtdistributieinstallatie

De kunststoffen luchtkanalen bevinden zich in goede staat. Hetzelfde geldt voor de folieslangen, die allen ongeschonden het jaar zijn doorgekomen. Problemen veroorzaakt door cracking, het scheuren van de folieslang door constante beweging, zijn niet voorgekomen.

Conclusie

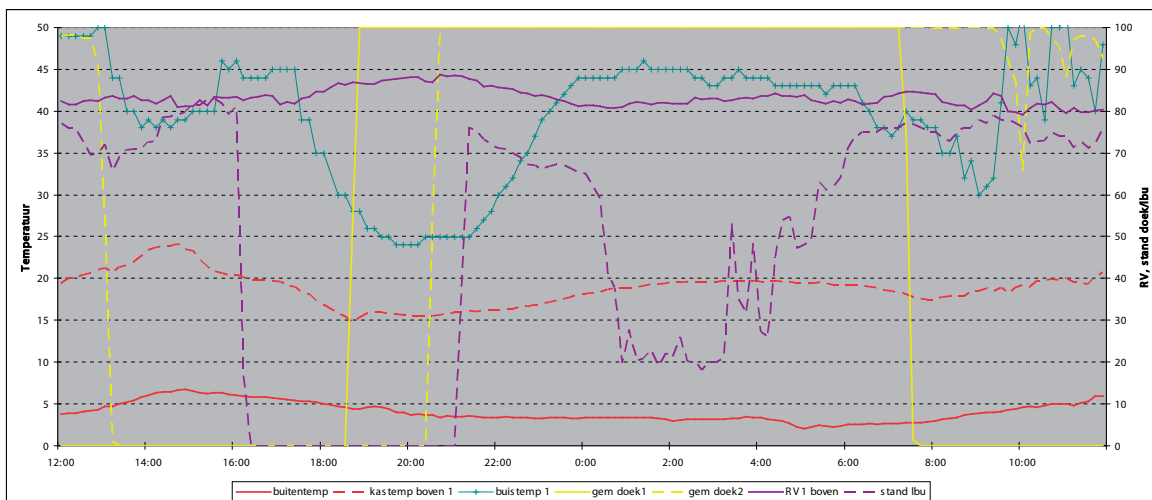
De gekozen slangdikte van 180 micron blijkt voldoende te zijn om cracking te voorkomen.

4 Ontvochtiging en energiebesparing

Voor minder dan de helft van de tijd zijn de ventilatoren nodig om buitenlucht aan te zuigen en de kaslucht te ontvochtigen. Deels (alleen overdag) zijn de ventilatoren ook nodig om CO₂ te kunnen doseren. Op de momenten dat geen ontvochtiging of CO₂-dosering nodig is zouden de ventilatoren van de luchtbehandelingskasten kunnen worden afgeschakeld om elektriciteit te besparen. In verband met de continuïteit en met het gevoel dat luchtbeweging goed is voor het gewas wil de teler dat de ventilatoren in de luchtbehandelingskasten het hele teeltseizoen draaien.

4.1 Ontvochtiging in het voorjaar

De klepstand van de luchtbehandelingskasten (bepalend voor de verhouding tussen aangezogen buitenlucht en kaslucht) varieert aan de hand van verschillende factoren. In Figuur 3. is het verloop van de klepstand (stand lbu) over een etmaal (11 tot 12 maart 2010) weergegeven naast enkele andere factoren. De raamstand is niet weergegeven. De ramen zijn alleen geopend van 12:00 uur tot 16:00 uur, als de kas vooral wordt verwarmd door de zon. In die periode neemt de buistemperatuur ook iets af om vervolgens toch weer toe te nemen vanwege een te lage kasttemperatuur. Na 16:00 uur wordt geen buitenlucht meer aangezogen (stand lbu naar 0). Dit heeft geen grote gevolgen voor de kasttemperatuur en de RV. Om 17:30 uur stopt de verwarming om een voornachtsverlaging te forceren. De RV stijgt door de dalende kasttemperatuur. Na de voornachtsverlaging gaat 1 schermdoek (XLS17) dicht. Dit geeft weer een lichte stijging van de kasttemperatuur te zien en de RV stijgt iets verder. Na het sluiten van het tweede schermdoek (anticondensfolie; de buistemperatuur is dan onder 4°C gedaald) stijgt de RV tot 89%. De klepstand wordt op 75% gezet en vervolgens wordt de buistemperatuur verhoogd tot 44-45°C. Het sluiten van beide schermen en het toenemen van de buistemperatuur doen de RV weer dalen naar 81%. De klepstand wordt dan rond 24:00 uur lager gezet naar 20%. Als vervolgens de RV weer blijkt te stijgen bij een gelijkblijvende kas- en buistemperatuur wordt de lbu-klep steeds meer geopend. Dit doet de RV weer iets dalen. Als voor het openen van doek 1 de buistemperatuur lager wordt, daalt de kasttemperatuur en stijgt de RV weer.



Figuur 3. Verloop van de kas-, buiten- en buistemperatuur (°C, linker-as) ten opzichte van de RV (%), doekstanden en klepstand van de LBU (%), rechter-as) van 11 tot 12 maart 2010

In de periode dat beide schermdoeken gesloten zijn, wordt bij een buistemperatuur van 44°C de kasttemperatuur constant op 19,6°C gehouden (zie Figuur 3.). Bij deze waarden is de warmte-afgifte van de buizen 57 W/m².

Hier komt nog bij dat de aangezogen buitenlucht ook moet worden opgewarmd. In de betreffende nacht wordt geschat dat 50% van de aangezogen lucht, buitenlucht is. De mengtemperatuur (deze is niet gemeten maar geschat) is dan $(19,6+3,5)/2=11,5^{\circ}\text{C}$. 6 m³/m².uur wat moet worden opgewarmd van 11,5 naar 22°C kost $6 \cdot 10,5 \cdot 1200 / 3600 = 21 \text{ W/m}^2$.

Tezamen is het verwarmend vermogen dus $57+21=78 \text{ W/m}^2$.

Bij een buitentemperatuur van $3,5^\circ\text{C}$ is de delta T ($19,6-3,5=$) $16,1^\circ\text{C}$. Dit geeft aan dat de k-waarde van de kas met een verdampend gewas bij twee gesloten schermen in de buurt ligt van $78/16,1=4,8 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$. Volgens berekeningen met Kaspro zou een kas met een tomatengewas zonder scherm een k-Waarde hebben van $8,8 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$. De besparing van de twee schermen tezamen is hiermee $(8,8-4,8)/8,8=45\%$. In theorie zou een XLS17 doek in combinatie met een anticondensfolie gezamenlijk een besparing hebben van $(1-(1-68%)*(1-25%))= 76\%$.

De oorzaken van deze lagere isolatiewaarde kan worden gezocht in de aanwezigheid van koudebruggen (tralieliggers die slechter isoleren dan 2 schermen), of door de geforceerde luchtbeweging langs het scherm. Waarschijnlijk werkt ook de stimulering van de gewasverdamping door luchtbeweging en een lage luchtvochtigheid de energiebesparing tegen.

Het aandeel dat de gewasverdamping in deze nacht heeft op de warmtevraag wordt als volgt geschat:

- door $3 \text{ m}^3/\text{m}^2$ droge buitenlucht aan te voeren (RV buiten is 100%) wordt $22 \text{ g/m}^2\cdot\text{uur}$ vocht afgevoerd
- het aandeel condensatie en vochtverlies via het scherm wordt geschat op $8 \text{ g/m}^2\cdot\text{uur}$.
- het verdampen van $22+8=30 \text{ g/m}^2\cdot\text{uur}$ buitenlucht kost dan $30 * 2400/3600 = 20 \text{ W/m}^2$

Het aandeel van de verdamping op het energieverlies is hiermee $20/78=26\%$.

Tijdens koudere nachten blijkt de RV nog lager te liggen en hoeft nauwelijks buitenlucht te worden ingeblazen. Het aandeel vocht dat direct via de schermen (condensatie en diffusie) af wordt gevoerd is dan blijkbaar zo groot dat geen actieve ontvochtiging meer nodig is ondanks dat bij een lagere RV de gewasverdamping waarschijnlijk hoger komt te liggen.

Conclusies/aanbeveling

Door de mogelijkheid buitenlucht in te blazen is het vaker mogelijk om te schermen. De isolatie van de schermen blijkt in de praktijk echter minder hoog dan wat door de leveranciers is opgegeven (45% i.p.v. 78%). Zeker bij lage buitentemperaturen ($<4^\circ\text{C}$) blijkt de RV onder dit dubbele scherm met maar weinig ingeblazen buitenlucht onder controle te worden gehouden. Beter isolerende schermen kunnen de energiebesparing dus nog verder verhogen terwijl de luchtvochtigheid beheerst kan blijven.

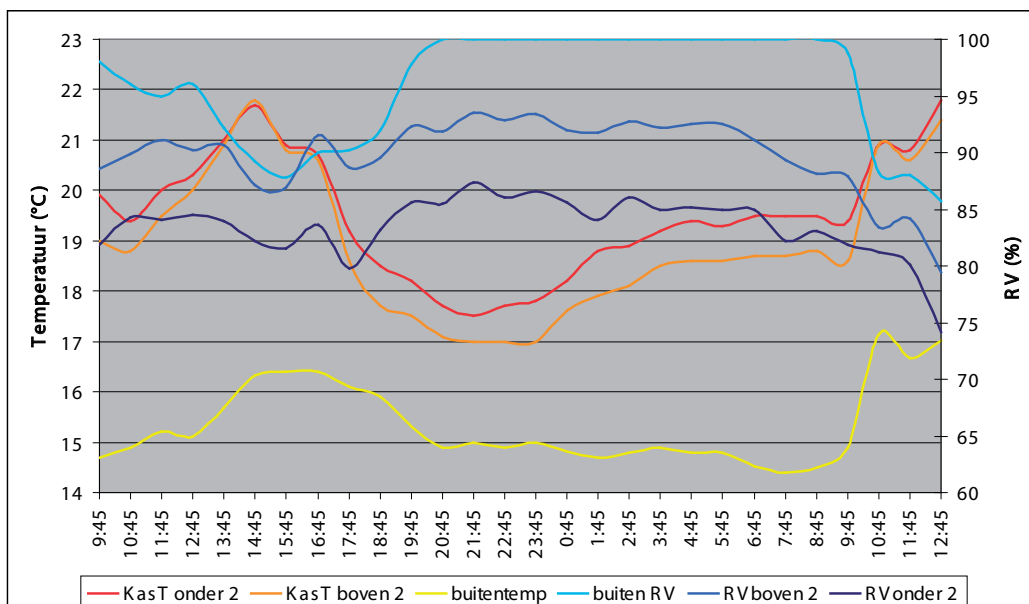
Gezien de ontvochtigingsacties bij een relatief lage RV is (mogelijk door een foutieve RV-meter) meer ontvochtigd dan strikt noodzakelijk. Verder kan de inzet van de luchtbehandelingskasten nog worden verbeterd door een rustiger regeling die afgestemd is op de ventilatieregeling van de luchtramen.

4.2 Ontvochtiging in het najaar

Vrijwel het gehele jaar is de RV ondanks het intensieve schermen voldoende laag gehouden. De RV-meters van de meetpalen geven slechts zelden (183 uren) een waarde van meer dan 90% en slechts 10 uren met een RV van meer dan 93%. De RV-meters van de klimaatcomputer geven overigens hogere waarden aan, maar deze zijn niet betrouwbaar gebleken en vervangen.

Tijdens de nacht van 15 op 16 september 2009 loopt de RV te hoog op. De buitenlucht is warm ($\pm 15^\circ\text{C}$) en vochtig (tot 100% RV). De luchtramen blijven een groot deel van de nacht gesloten en tussen 1:00 en 5:00 uur staat de klepstand van de LBK op recirculeren en wordt er dus geen buitenlucht ingeblazen. Omdat in deze warme septembermaand gestreefd wordt naar een lage kasttemperatuur, wordt ook maar weinig gestookt (zie Figuur 4.).

Hoewel de luchtvochtigheid buiten hoog is, is de absolute vochtigheid van de kaslucht nog steeds hoger dan die van de buitenlucht. Luchtuitwisseling heeft dan nog steeds zin, al zal ook $6 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{uur}$ onvoldoende zijn om alle vocht af te voeren.



Figuur 4. Verloop temperatuur en RV binnen de kas en buiten tijdens de nacht van 15 op 16 december

Conclusie/aanbeveling

Indien de absolute luchtvochtigheid buiten niet veel lager ligt dan in de kas moet meer dan $6 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{uur}$ buitenlucht worden uitgewisseld om voldoende te kunnen ontvochtigen. In die situaties moet meer worden geventileerd met de luchtramen en bij erg vochtige buitenomstandigheden moet de stooktemperatuur worden verhoogd om de RV in de kas te verlagen. De computerinstellingen moeten hierop zijn voorbereid.

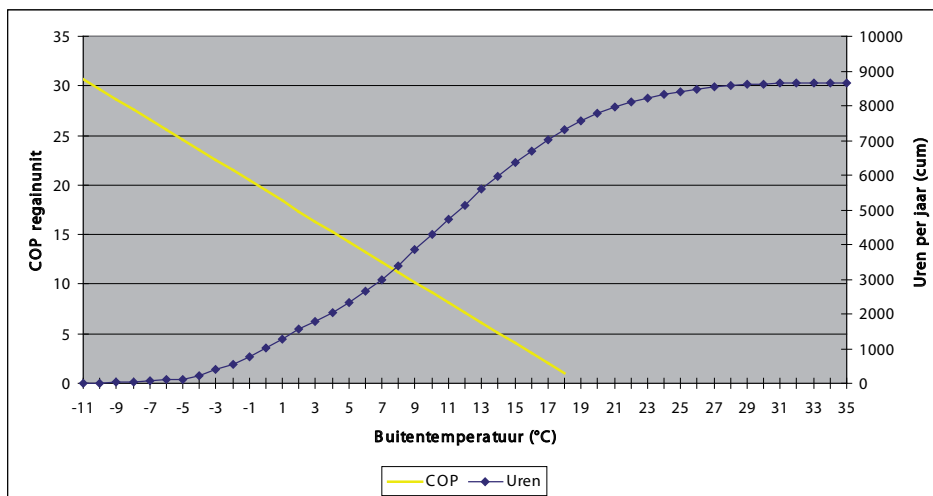
4.3 Inzet en rentabiliteit van regainunit

Het aantal uren dat de regainunit buitenlucht heeft voorverwarmd met de uitgeblazen kaslucht is niet geregistreerd, maar geschat aan de hand van de klepstand en de raamstand. Verondersteld is dat de regainunit alleen is ingeschakeld als meer dan 10% buitenlucht wordt ingeblazen en de raamstand lager is dan 1%. Bij openstaande ramen zou een werkende afzuigventilator van de regainunit namelijk direct buitenlucht via de geopende luchtramen aanzuigen. Het betreft ongeveer 2500 uren in 2009.

Het afzuigen van kaslucht door de regainunit naar buiten kost ongeveer $0,6 \text{ W}/\text{m}^2$ aan elektriciteit voor de ventilator bij 100% afzuiging. Verder biedt lucht/luchtwarmtewisselaar in de regainunit ook weerstand aan de ingezogen kaslucht. Verondersteld wordt dat het inzetten van de regainunit om warmte terug te winnen in totaal $1 \text{ W}/\text{m}^2$ aan elektriciteit kost. 2500 uren inzet betekent dan $2,5 \text{ kWh}/\text{m}^2$ aan elektriciteit.

In Figuur 5. is de COP van de regainunit weergegeven. Hierbij is ervan uitgegaan dat de buitenlucht met 50% wordt opgewarmd (zie paragraaf 2.1.1), de kastemperatuur 19°C is en dat de ventilatoren van de regainunit $1 \text{ W}/\text{m}^2$ vragen. Bij lage buitentemperaturen kan een zeer hoge COP worden gehaald: 1 m^3 warme en vochtige kaslucht kan al veel warmte overdragen aan de binnenkomende koude buitenlucht. Er is dus veel warmte-overdracht bij een kleine hoeveelheid elektriciteitsverbruik. De COP neemt af bij een hogere buitentemperatuur, want bij een hoge buitentemperatuur kan bij hetzelfde volume minder warmte aan de buitenlucht worden overgedragen. Bij een buitentemperatuur van 14°C haalt de regainunit nog een COP van 5. Een COP van 5 betekent dat met 1 kWh elektriciteit 5 kWh warmte wordt teruggewonnen. Stel dat 1 kWh elektriciteit $\text{€ } 0,07$ kost, dan kost de geleverde warmte $0,07/5 * 31.65/3.6 = 0,12 \text{ €/m}^3$ aardgas (met de ketel). Met een WKK kan vaak voordeliger warmte worden geleverd, maar bij een verwarmingsketel ligt de warmteprijs hoger. Gemiddeld kan worden gesteld dat bij een buitentemperatuur van meer dan 14°C de variabele kosten van de regainunit hoger zijn dan de warmteopbrengsten. Bij een buitentemperatuur lager dan 4°C wordt nauwelijks meer ontvochtigd (zie paragraaf 3.1). Dit betekent dat de regainunit alleen nuttig kan worden ingezet bij buitentemperaturen tussen 4 en 14°C .

Hoe hoger de buitentemperatuur, hoe meer er moet worden ontvochtigd. De gemiddelde COP van de regainunit wordt in deze range geschat op 7,4. Met 2,5 kWh/m² aan elektriciteit komt de besparing op de warmtevraag door de regainunit neer op $2,5 \cdot 7,4 \cdot 3,6 / 31,65 = 2,1$ m³/m².jaar.



Figuur 5. Berekende COP van de regainunit als functie van de buitentemperatuur en het cumulatief aantal uren dat de buitentemperatuur jaarlijks voorkomt

In Figuur 5. is ook een indicatie gegeven hoe vaak een bepaalde buitentemperatuur voorkomt (Bron KNMI: weerstation Arcen). Hieruit blijkt dat gedurende 6000 uren de buitentemperatuur lager is dan 14°C. Het aantal uren dat de regainunit werkelijk is gebruikt ligt echter veel lager (2500 uren) vanwege het volgende:

- De luchtramen staan regelmatig open omdat de kaslucht moet worden gekoeld of omdat de luchtbehandelingskasten niet al het vocht kunnen afvoeren. Bij open ramen kan de regainunit moeilijker kaslucht aanzuigen. In een jaar tijd hebben de luchtramen (luwe zijde) gedurende 3600 uren meer dan 1% opengestaan. Het aantal uren met geopende luchtramen (3600) is overigens veel lager dan bij tomatentelers die geen mogelijkheden hebben om buitenlucht in te blazen. Daar wordt ongeveer 6000 uren per jaar geventileerd via de luchtramen.
- De regainunit heeft alleen nut op momenten met ontvochtigingsbehoefte. Zo ligt de kas 400 uren per jaar leeg en tot 7 weken na het planten verdampt het jonge gewas nog maar weinig. Bij een buitentemperatuur lager dan 4°C wordt al zo veel vocht afgevoerd via condensatie of lekkage dat buitenluchttoevoer vaak niet meer nodig is (zie ook paragraaf 3.1). In een jaar tijd is gedurende 2500 uren geen buitenlucht ingeblazen en gedurende 4000 uren stond de buitenluchtklep voor 100% geopend.
- Ook is het in de tomatenteelt gebruikelijk om een voornachtsverlaging in te stellen (enkele uren rondom zonsopgang) om het gewas generatiever te krijgen. Het is dan de bedoeling dat het gewas zo snel mogelijk afkoelt en opwarming van de binnenkomende lucht is daarbij ongewenst.

Conclusie

Met de regainunit wordt 2,1 m³/m² aan aardgas bespaard tegenover een elektriciteitsverbruik van 2,5 kWh/m². Bij energieprijzen van 0,20 €/m³ aardgas en 0,07 €/kWh elektriciteit bespaart de regainunit jaarlijks $0,42 - 0,18 = 0,24$ €/m². De investering in de regainunit (lucht-luchtwarmtewisselaar en extra ventilatoren) kan alleen worden terugverdiend bij hogere gasprijzen.

Discussie

Door buitenlucht in te blazen moet de kas worden voorzien van een manier om de ingeblazen buitenlucht af te voeren. Het is de vraag of de afvoer van de overdruk op een paar centrale plaatsen moet plaatsvinden (zoals bij Steegh op acht plaatsen), of dat de hele kas kan worden voorzien van mogelijkheden om de overdruk af te voeren. Een voordeel van de eerste optie is dat deze afvoer kan worden voorzien van een regain unit. Een voordeel van de laatste optie is dat er minder luchtbeweging onder het scherm plaatsvindt (de ingeblazen lucht bij het pad hoeft niet helemaal naar de gevel te worden verplaatst).

5 Vergelijking met referentiebedrijf

Vanaf begin 2009 tot half 2010 zijn het kasklimaat, de gewasmetingen en het energieverbruik bij Steegh vergeleken met een naburig bedrijf met een vergelijkbare plantdatum en hetzelfde tomatenras (Cappricia). De meest relevante grafieken van deze vergelijking zijn te vinden in Bijlage VI.

5.1 Kasklimaat

In 2009 heeft het referentiebedrijf 14 dagen eerder geplant dan Steegh (8 ipv 22 januari). Bij vergelijking van het kasklimaat tussen beide bedrijven in het begin van de teelt dient daarmee rekening te worden gehouden. Zo is in het begin van de teelt bij Steegh een lagere luchtvochtigheid te zien. Dit is niet alleen te danken of te wijten aan het inblazen van droge buitenlucht. Ook is het referentiebedrijf eerder gestopt met de teelt. De kop van de plant ging er bij de referentie uit in week 39 en bij Steegh in week 42.

5.1.1 Kastemperatuur

Gemiddeld is in 2009 de dagtemperatuur van beide bedrijven vergelijkbaar. Bij Steegh lag de nachttemperatuur van week 16 tot week 26 wel ongeveer 1°C lager dan bij de referentie. Week 27 is een warme week. Beide bedrijven hadden er toen evenveel moeite mee om de etmaaltemperatuur voldoende laag te houden. In het voorjaar (tot week 16) van 2010 lag de nachttemperatuur bij Steegh 1 tot 2°C hoger dan bij de referentie, terwijl de dagtemperatuur vaak lager lag. De dagtemperatuur en nachttemperatuur liggen bij Steegh in het voorjaar dicht bij elkaar (kleine DIF). Dit leidt meestal tot een vegetatiever gewas.

5.1.2 Luchtvochtigheid (RV)

De RV is volgens de grafieken in Bijlage VI. bij Steegh vooral overdag hoger dan bij het referentiebedrijf. Hierbij dient te worden aangegetekend dat de RV-meter bij Steegh gemiddeld 5% hoger aangaf dan de RV-meters van de meetpalen. In het voorjaar van 2009 lag de RV lager dan de referentie. De eerste weken kwam dit door het jonge gewas met weinig verdampend oppervlak, maar ook bij een volgroeid gewas (in week 12 al een LAI van bijna 3) bleef de RV in het voorjaar nog steeds laag. Door het aanzuigen van veel buitenlucht (soms bewust, maar ook door lekkende klepregisters (zie paragraaf 2.1.2) werd de RV laag gehouden. Het is niet duidelijk of deze lage RV positief of negatief is geweest voor de gewasontwikkeling. In ieder geval is in het voorjaar geen Botrytis ontstaan en voor het vegetatieve gewas kan een generatieve impuls als een lage RV een positief effect hebben. Energietechnisch gezien zou meer kunnen worden bespaard als minder is ontvochtigd. Een lage RV stimuleert namelijk de gewasverdamping en verdamping kost energie.

5.1.3 Schermgebruik

Steegh heeft zowel een scherm met aluminium bandjes (XLS 17) als een helder anticondensfolie. Het XLS17-doek werd vooral 's nachts gebruikt, zelfs tot buitentemperaturen van meer dan 14°C. Bij vorst werd dit scherm ook overdag gesloten (geopend maximaal 1 uur na zonsopkomst en gesloten maximaal een uur voor zonsondergang). Na half maart werd een voornachtsverlaging aangehouden en bleef het XLS17-doek open tot ruim een uur na zonsondergang.

Bij een buitentemperatuur van minder dan 4°C bleef het anticondensfolie gesloten alleen bij het jonge gewas bleef dit scherm vaker dicht. Overdag werd deze geopend afhankelijk van de verhouding tussen buitentemperatuur en globale straling. Opvallend is dat de klep van de luchtbehandelingskast bij twee gesloten schermen niet volledig hoefde te worden geopend om de RV op het gewenste niveau te houden (zie ook paragraaf 3.1).

Het referentiebedrijf had een helder scherm. In Bijlage VI. is het schermgebruik weergegeven van het referentiebedrijf en Steegh. Voor Steegh is het aantal uren per week in 2009 weergegeven dat minimaal 1 van de 2 schermen gesloten was. Dit aantal lag in het voorjaar hoger dan de referentie. In het najaar is bij het referentiebedrijf meer geschermd. Daar is namelijk eerder gekopt en werden de tomaten met een hogere kasttemperatuur er afgestookt. Schermen is dan eerder mogelijk. Bovendien is bij Steegh in het najaar Botrytis opgetreden en is minder geschermd om een droger klimaat te creëren en de uitbreiding van Botrytis te beperken.

5.2 Energiegebruik

5.2.1 Buistemperatuur

Als de gemiddelde buistemperatuur overdag of 's nachts tussen beide bedrijven wordt vergeleken (zie Bijlage VI.), blijkt dat ondanks de vrijwel gelijke kasttemperatuur (zie paragraaf 4.1.1) het referentiebedrijf hier vrijwel iedere week een hogere buistemperatuur voor nodig had. Dit geldt zowel overdag als 's nachts en zowel 's zomers als in de winter.

Bij Steegh daalt in het voorjaar de gemiddelde buistemperatuur overdag en in het najaar stijgt deze weer. De gemiddelde buistemperatuur 's nachts blijft ook in het najaar verder dalen. Ten opzichte van de referentie is de buistemperatuur zowel 's nachts als overdag lager. Verwacht werd dat vooral 's nachts energie zou kunnen worden bespaard doordat dankzij de ontvochtiging met ingeblazen buitenlucht meer met het dubbele scherm kan worden geïsoleerd. Dat ook overdag een verschil is gevonden kan niet worden verklaard door het inblazen van buitenlucht, maar eerder door het toepassen van een minimum buis bij het referentiebedrijf om met de WKK meer CO₂ te kunnen doseren.

5.2.2 Gasverbruik

Het patroon van de gasverbruiken van beide bedrijven loopt gelijk op met de gerealiseerde buistemperaturen. Cumulatief is bij Steegh in 2009 iets meer dan 30 m³/m² verbruikt, terwijl de referentie op jaarbasis rond 40 m³/m² uit is gekomen. Dit verschil mag niet alleen worden toegerekend naar het feit dat bij Steegh buitenlucht kan worden ingeblazen met gebruik van dubbele schermen. Een groot deel van het verschil in gasverbruik is namelijk gerealiseerd in de zomerperiode. Dit geeft aan dat de referentie in de zomer meer gas heeft gebruikt om CO₂ te kunnen doseren.

In 2010 is in de winterperiode wel een groot verschil in het gasverbruik tussen beide bedrijven te zien. Hoewel Steegh in 2010 niet minder verbruikte dan in 2009 ging bij het referentiebedrijf door de koude winter het gasverbruik juist een stuk omhoog. Gemiddeld lag in de winter van 2010 het gasverbruik bij de referentie 50% hoger dan bij Steegh. Dit wijst op een energiebesparing van 33% in deze periode.

5.2.3 CO₂

Door het inblazen van droge buitenlucht kan niet meer CO₂ in de kas worden gehouden dan bij een kas met luchtverversing via de luchtramen. Doordat bij Steegh minder gas wordt verstoekt en daardoor minder CO₂ beschikbaar is dan bij het referentiebedrijf, is de CO₂-concentratie van de kaslucht er ook lager. Hier komt nog bij dat de WKK in het voorjaar een aantal malen is uitgevallen en geen CO₂ kon produceren. Verder is het volgens het terugleveringscontract niet mogelijk om na 16:00 uur met de WKK elektriciteit en dus CO₂ te produceren. Op dagen dat geen warmte kon worden benut werd dan ook met de ketel geen CO₂ geproduceerd en liep de concentratie terug tot ver onder de buitenwaarde.

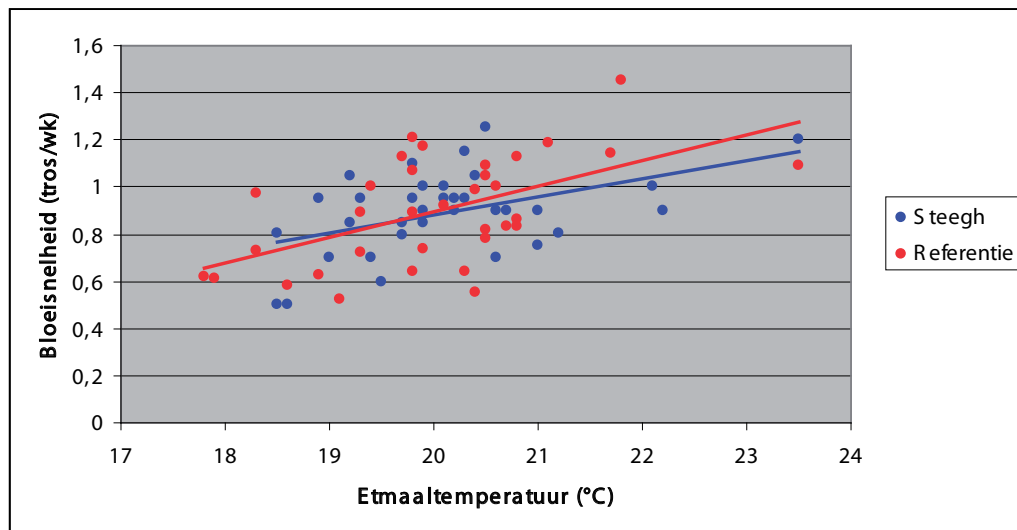
Gemiddeld genomen ligt de CO₂-concentratie in 2009 bij het referentiebedrijf overdag 200 ppm hoger dan bij Steegh. Een tomatengewas zou volgens de CO₂-vuistregel [Nederhoff, 1994] bij een concentratie van 650 ppm 10% meer kunnen produceren dan bij een concentratie van 450 ppm.

In het teeltseizoen van 2009 is 25% van de instraling binnengekomen op het moment dat de CO₂-concentratie lager is dan 400 ppm. Dit is dus op de momenten dat geen CO₂ is gedoseerd. Als voor die momenten (760 uren) een 100 ppm hogere concentratie (450 ppm ipv 350 ppm) is aangehouden dan had dit volgens de CO₂-vuistregel al kunnen leiden tot 2% meer productie op jaarbasis.

5.3 Gewas

5.3.1 Bloei en zetting

De bloeiselheid (aantal nieuwe trossen per week per stengel) is vooral afhankelijk van de temperatuur van de kop. In 2009 is geen verschil aangetoond in de bloeiselheid tussen beide bedrijven (zie Figuur 6.).



Figuur 6. Bloeiselheid uitgezet tegen de etmaaltemperatuur in 2009 bij Steegh en het referentiebedrijf

Onder zettingssnelheid wordt bedoeld het aantal gezette vruchten per m² per week. De zettingssnelheid verschilde in 2009 nauwelijks tussen beide bedrijven. In 2010 bleef de zettingssnelheid bij Steegh achter bij het referentiebedrijf. Dit is veroorzaakt doordat Steegh toen trossnoei toepaste om de plantbelasting beperkt te houden (zie paragraaf 4.3.2) en doordat er iets minder stengels werden aangehouden.

5.3.2 Plantbelasting

De plantbelasting (aantal vruchten per m²) stijgt in 2009 bij Steegh sneller en verder door dan bij de referentie. Dit wordt verklaard door de langere uitgroei duur bij een lagere vruchttemperatuur. De lagere vruchttemperatuur is een direct gevolg van minder buisverwarming resulterend uit de betere isolatie van het dubbele scherm. De tragere afrijping is door de teler als ongewenst beschouwd. Vooral in het voorjaar is dit nadelig omdat het bij dalende prijzen van belang is om de productie zo vroeg mogelijk te verkopen. Verder leidt een langere afrijpingsduur tot een grotere plantbelasting. Er blijven immers meer vruchten aan de plant hangen. Een hoge plantbelasting leidt er bij wisselende of extreme weersomstandigheden toe dat de plant eerder uit balans raakt. Bij een hoge temperatuur zullen de vele vruchten meer assimilaten vragen, zodat minder assimilaten resteren voor de kop. Bij een lage temperatuur krijgt de kop juist veel assimilaten en ontstaat een vegetatief gewas.

In 2010 heeft Steegh de plantbelasting iets lager kunnen houden door trossnoei. Er worden dan minder vruchten per tros aangehouden. Dit heeft weliswaar geen invloed op de uitgroei duur, maar wel op het aantal vruchten per plant. Met een lagere plantbelasting hoopt men de plant beter in balans te kunnen houden.

5.3.3 Kopdikte

De kopdikte wordt gezien als een maat voor de groeikracht van het gewas. In het begin van de teelt van 2009 is de kopdikte bij Steegh groter dan bij de referentie. Dit heeft waarschijnlijk te maken met de lagere plantbelasting vanwege de latere plantdatum. Na week 15 wordt de kopdikte bij beide bedrijven weer gelijk aan elkaar. Tussen week 13 en week 25 van 2010 blijkt de kop bij Steegh bijna 1 mm dikker te zijn dan bij de referentie. Dit verschil is mogelijk te verklaren door een kleiner verschil tussen de dag en nachttemperatuur bij Steegh en doordat bij Steegh de plantbelasting iets lager is gehouden door trossnoei en een lagere stengeldichtheid (zie paragraaf 4.3.2).

5.3.4 Bladlengte en LAI

De bladlengte is bij beide bedrijven in het begin van het teeltseizoen van 2009 vrijwel gelijk. In juni (week 24) werd het blad bij Steegh enkele centimeters korter, terwijl de referentie een gelijke bladlengte hield. Kort blad wordt vaak veroorzaakt door een hoge temperatuur en een hoge plantbelasting. De bladeren worden groter als jong blad wordt weggenomen. De feiten dat bij Steegh rond week 24 de plantbelasting ongeveer 20 vruchten per m² hoger is dan de referentie in combinatie met het vaker wegnemen van een jong blaadje bij de referentie geven een verklaring voor het verschil in bladlengte. Het teeltsysteem met buitenluchtaanzuiging heeft hier naar alle waarschijnlijkheid geen invloed gehad op de verlaagde bladlengte.

De LAI (Leaf Area Index), ofwel het bladoppervlak per eenheid kasoppervlak, ligt bij Steegh in 2009 erg hoog. Voor week 26 blijkt deze vier maal boven 3,5 m²/m² te liggen. Pas na de langste dag (vanaf week 28) daalt de LAI tot rond de 3 m²/m². Bij de referentie zijn geen LAI-metingen uitgevoerd. Volgens modelberekeningen ligt de ideale LAI rond 3 bij hoge instraling en rond 2,5 bij lage instraling. De hoge LAI bij Steegh wordt veroorzaakt door de lage kastemperatuur en het nauwelijks wegnemen van jonge blaadjes. Steegh heeft bewust aangestuurd op de hoge LAI om het gewas voor te bereiden op een hete zomer. Een gewas met veel blad geeft meer gewasverdamping en zal de kas beter kunnen koelen. Een gewas met weinig blad geeft in de zomer hogere kastemperaturen, waardoor het nieuwe blad klein blijft en de LAI te veel daalt. Het gewas raakt dan uit balans, wat moeilijk is te corrigeren.

In theorie kan een energiezuinig teeltsysteem als het ClimecoVent systeem leiden tot groter blad. Doordat meer wordt geschermd en minder wordt verwarmd blijft de vruchttemperatuur minder ver voor op de koptemperatuur. De vruchten zullen dan minder assimilaten naar zich toe trekken waardoor relatief meer assimilaten naar de bladeren zullen gaan. Daar tegenover staat dat de vruchten bij een lagere temperatuur minder snel zullen afrijpen, waardoor ze langer aan de plant blijven hangen en daardoor tot een hogere plantbelasting resulteren. Hoe meer vruchten vragen om assimilaten, hoe minder assimilaten naar de bladeren worden getrokken. Gezien de vrijwel gelijke bladlengte in het voorjaar van 2009 lijkt het erop dat beide krachten elkaar toen in evenwicht hebben gehouden. In het voorjaar van 2010 is de bladlengte bij Steegh groter dan bij de referentie. Dit heeft waarschijnlijk dezelfde oorzaak als de grotere kopdikte in die periode (zie paragraaf 4.3.3).

5.3.5 Productie

De productie ligt bij Steegh in 2009 nauwelijks lager dan bij de referentie. Alleen in week 24 en 25 blijkt een tijdelijk slechte zetting tot een productieverlies van 2,5 kg/m² te hebben geleid. De slechte zetting is veroorzaakt door een combinatie van een hoge plantbelasting en het uitvallen van de CO₂-dosering. In 2010 ligt de productie bij Steegh iets voor op de referentie. De productie bij Steegh verschilt minder met de referentie dan zou mogen worden verwacht met de lagere CO₂-concentraties (zie paragraaf 4.2.3) en het lichtverlies door schaduwwerking van het extra scherm.

6 Conclusies en aanbevelingen

6.1 Conclusies

Economisch rendement

Ten opzichte van een referentiebedrijf realiseert Steegh met een vergelijkbare etmaaltemperatuur een iets lagere RV in het voorjaar, 25% ($10 \text{ m}^3/\text{m}^2$) minder energie en minder CO_2 -dosering een vergelijkbare productie. Hierbij moet worden aangetekend dat in de zomer van 2009 de productie bij Steegh wel een dip van $2,5 \text{ kg}/\text{m}^2$ had, maar dat kan grotendeels worden verklaard door het incidenteel ontbreken van doseerbare CO_2 rond die periode. Tegenover de besparing van $10 \text{ m}^3/\text{m}^2$ aardgas staat een extra elektriciteitsverbruik van ruim $10 \text{ kWh}/\text{m}^2$ voor de ventilatoren.

Met alleen de regainunit wordt $2,1 \text{ m}^3/\text{m}^2$ aan aardgas bespaard tegenover een elektriciteitsverbruik van $2,5 \text{ kWh}/\text{m}^2$. Bij energieprijzen van $0,20 \text{ €/m}^3$ aardgas en $0,07 \text{ €/kWh}$ elektriciteit bespaart het systeem jaarlijks $2,0 - 0,7 = 1,3 \text{ €/m}^2$. Met deze cijfers kan de investering alleen worden terugverdiend bij hogere gasprijzen en/of lagere elektriciteitsprijzen.

Bevindingen over het technische systeem

Op basis van de meetwaarden is berekend dat het rendement van de regainunit 50% kan zijn. Hoe kouder de buitenlucht en hoe vochtiger de kaslucht, hoe hoger het rendement van de warmtewisselaar. Rendementen van rond de 60% moeten kunnen worden gehaald bij extreme weersomstandigheden. Aangezien deze niet vaak voorkomen wordt uitgegaan van een rendement van rond de 50%.

De LBK's verplaatsen een iets kleiner debiet dan in het ontwerpstadium is berekend. Het verschil van 6% (bij ventileren) of 10% (bij recirculeren) is acceptabel. De afzuigventilatoren hebben gezamenlijk een 14% kleiner debiet dan het ontwerp-debiet. Dit wordt niet meer verholpen, omdat de lichte overdruk die nu in de kas ontstaat tijdens de ventilatiemodus een enorm positief effect heeft op de homogeniteit bij het inblazen van ventilatielucht.

De gelijkmatigheid waarmee met de folieslangen lucht in de kas wordt gebracht is groot, en blijft binnen een range van -9% tot +10% ten opzichte van het gemiddelde. De horizontale temperatuurverschillen over de lengterichting van de slang zijn ook zeer klein gebleven. Meerdere factoren kunnen hebben bijgedragen aan de gelijkmatige horizontale temperatuurverdeling. Vermoed wordt dat met name een lichte overdruk in de kas plaatselijke kouval heeft voorkomen.

De verticale temperatuurverschillen wijken niet sterk af van tomatenteeltbedrijven die minder intensief schermen.

De LBK's zijn in goede staat. Ondanks de ongewone schadepost aangaande de verbrande lagers, is er minder aan onderhoud uitgegeven dan begroot. De gekozen slangdikte van 180 micron blijkt voldoende te zijn om scheuren door veelvuldige beweging te voorkomen.

Door de mogelijkheid buitenlucht in te blazen is het vaker mogelijk om te schermen. De gezamenlijke isolatiewaarde van beide schermen blijkt in de praktijk echter minder hoog dan wat door de leveranciers is opgegeven (45% i.p.v. 78%).

Kasklimaat en gewasreacties

De luchtvochtigheid is vooral bij lage buitentemperaturen en weinig instraling goed en nauwkeurig te beheersen met ingeblazen buitenlucht. Bij hogere buitentemperaturen of meer instraling is steeds meer buitenlucht nodig voor ontvochtiging. Bij hogere buitentemperaturen is het minder noodzakelijk om de buitenluchttoevoer nauwkeurig te sturen, zodat dan ook op de traditionele manier kan worden geventileerd.

Door minder gebruik te maken van de verwarmingsbuizen en met name door de afwezigheid van een groeibuis is de uitgroeiduur van de vruchten verlengd. Hierdoor is ook de plantbelasting hoger geworden dan gebruikelijk.

Een hoge plantbelasting in combinatie met het uitvallen van de CO_2 -dosering kan leiden tot een tijdelijk grote productiederving.

6.2 Aanbevelingen

Regainunit en schermen

- De belangrijkste energiebesparing wordt gerealiseerd door het gebruik van meer schermen. Het intensieve schermgebruik wordt mogelijk gemaakt door een alternatieve ontvochtiging met gedoseerde buitenlucht. De regainunit moet worden gezien als een extraatje om nog meer energie te kunnen besparen, maar lijkt pas rendabel bij hoge energieprijzen.
- Beter rendementen voor de regainunit zijn mogelijk door de toepassing van een ander, beter geleidend, materiaal dan PVC in de warmtewisselaar. Echter een warmtewisselaar vervaardigd uit een beter geleidend materiaal met eenzelfde mate van chemische bestendigheid, zal een veelvoud van kosten met zich meebrengen, en kan zichzelf niet binnen een acceptabele periode met de teruggewonnen energie terugverdienen.
- De regainunit presteert efficiënter bij lage buitentemperaturen, maar kan alleen worden ingezet als er wordt ontvochtigd. Aangezien bij lage buitentemperaturen de ontvochtigingsbehoefte laag is (met name door condensatie tegen het scherm), wordt de regainunit vooral ingezet tijdens hogere buitentemperaturen, wanneer de efficiëntie lager is. Een beter isolerend scherm zal de ontvochtigingsbehoefte bij lage buitentemperaturen verhogen, zodat de regainunit vaker kan worden ingezet bij een hogere efficiëntie.

Kasluchtcirculatie

- Aangezien kasluchtcirculatie niet leidt tot energiebesparing noch ontvochtiging en er geen aanwijzing is dat het leidt tot productieverhoging, zou kunnen worden overwogen om de kasluchtcirculatie achterwege te laten. Dit scheelt ongeveer 75% op elektriciteitskosten. Een nieuw te bouwen systeem zonder kasluchtcirculatie zal goedkoper zijn in verband met het ontbreken van een kleppenregister. Om de 75% op elektriciteit te behalen is wel een extra CO₂-doseersysteem nodig en moet de verwarming van de buitenlucht ingericht zijn op een frequent wisselende ventilatorstand en op een wijde temperatuurrange van op te warmen buitenlucht.

Klimaatinstellingen

- Gezien de ontvochtigingsacties bij een relatief lage RV (in eerste instantie door te veel aangezogen buitenlucht en later mogelijk door een foutieve RV-meter) is meer ontvochtigd dan strikt noodzakelijk. Verder kan de inzet van de luchtbehandelingskasten nog worden verbeterd door een rustiger regeling die afgestemd is op de ventilatieregeling van de luchtramen.

7 **Literatuur**

Nederhoff, E.M. (1994)

Effects of CO₂ concentration on photosynthesis, transpiration and production of greenhouse fruit vegetable crops., Wageningen.

Bijlage I Het ClimecoVent-concept

1.1 Het ClimecoVent-concept in vogelvlucht

Het ClimecoVent-concept is een concept waarmee fors kan worden bespaard op de energiekosten. Het grootste deel van de besparing wordt behaald, omdat het (door de LBK) mogelijk wordt, meer gebruik te maken van scherminstallaties.

Tuinders zijn in het algemeen huiverig om de scherminstallatie lang gesloten te houden, omdat de conditie van de lucht onder het scherm met het verloop van de tijd verslechtert en/of de lucht te vochtig wordt. Om de luchtconditie onder het scherm op peil te houden, en/of van het overtollige vocht af te komen, wordt “een kier getrokken”, al dan niet in combinatie met het openen van de luchtramen.

De hoeveelheid ventilatie is hier eigenlijk niet mee te regelen, en gebeurt min of meer “op goed geluk”. Dit heeft tot gevolg dat de hoeveelheid ventilatie vaak òf te weinig òf te veel zal zijn. Een te weinig aan ventilatie laat het gewas in een slecht en/of vochtig klimaat, en een teveel aan ventilatie laat teveel warmte en/of CO₂ verloren gaan. Een ander negatief effect dat bij het openen van luchtramen sterk kan optreden, is koudeval op het gewas.

ClimecoVent biedt dé oplossing omdat onder het scherm op maat wordt geventileerd, met een buiten de kas opgestelde ventilatie-unit met warmteterugwinnings-mogelijkheid (de regainunit). De hoeveelheid ventilatie wordt geregeld op basis van de gewenste relatieve vochtigheid. Het scherm kan nu worden geopend op basis van energieoverwegingen.

Met het ClimecoVent-concept kan energie worden bespaard omdat:

- een dubbel, zeer goed isolerend schermstelsel toegepast kan worden,
- de schermen lang(er) gesloten kunnen blijven,
- de schermen pas geopend zullen worden als de zon de kas, al dan niet gedeeltelijk de kas kan opwarmen,
- in de eerste fase van de teelt tijdens de dag een anti-condensfolie kan worden gebruikt, zonder dat problemen verwacht mogen worden m.b.t. een te hoge RV in de kas,
- er, instelbaar naar behoefte, op maat geventileerd kan worden, waardoor altijd een minimale, maar voldoende, hoeveelheid ventilatie, en daarmee een minimaal verlies van warmte en CO₂,
- de ventilatielucht wordt voorverwarmd, met warmte uit de af te voeren lucht,
- er luchtbeveiliging in de kas ontstaat, waardoor gebruik van de minimum buis geminimaliseerd zal worden.

De technische haalbaarheid van het ClimecoVent-concept wordt groot geacht, omdat de belangrijkste installatiecomponenten in de praktijk beproefd zijn, en door hun relatief oncomplexiteit, als weinig storingsgevoelig kunnen worden aangemerkt.

1.2 De hoofdcomponenten binnen het ClimecoVent-concept

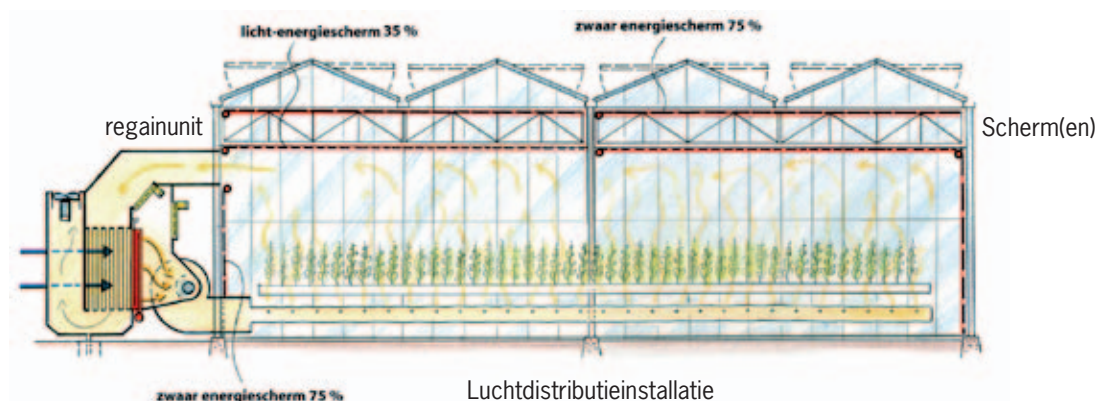


Fig. 1. Principe van het ClimecoVent-concept

1.2.1 De LBK met regainunit

Met de LBK(s) wordt naar behoefte verse buitenlucht aangezogen en in de kas gebracht, terwijl af te voeren kaslucht naar de buitenomgeving wordt getransporteerd.

Hiervoor zijn binnen de LBK één toevoerventilator en één of twee afvoerventilator(en) geplaatst.

De toe te voeren lucht wordt met behulp van een lucht-lucht warmtewisselaar voorverwarmd met warmte uit de af te voeren lucht. Het rendement waarmee de toe te voeren lucht wordt voorverwarmd zal, afhankelijk van de buitenluchttemperatuur, tot meer dan 60% bedragen.

De in de kas te brengen lucht zal in de meeste gevallen op het niveau van gewenste kastemperatuur worden ingebracht. Om de frisse, drogere en door de regainunit voorverwarmde lucht verder op de gewenste temperatuur te brengen zijn na de regainunit één of een tweetal, op de verwarmingsinstallatie aan te sluiten, verwarmingsbatterijen geplaatst.

Indien gewenst is het mogelijk de toe te voeren lucht een aantal graden boven de kaslucht te verwarmen. Afhankelijk van de buitentemperatuur ca. 2 à 4°C. Als de temperatuur van de in de kas te brengen lucht hoger is dan de kastemperatuur, wordt een gering extra verwarmingsvermogen in de kas gebracht.

Ondanks deze mogelijkheid moet niet uit het oog worden verloren dat het ClimecoVent-concept is gestoeld op een basis van energiebesparing, dat werkt door meer en zwaarder schermen, dat met de LBK mogelijk wordt gemaakt doordat onder de scherminstallatie op maat kan worden geventileerd. ClimecoVent is in zoverre een extra verwarmingssysteem, dat de ingeblazen ventilatielucht wordt verwarmd. Het doel is hierbij niet de kastemperatuur te handhaven of te verhogen, maar om verse en droge lucht onder het gewas aan te voeren.

Ventilatie van kassen wordt traditioneel met de luchtramen gerealiseerd. Een nadeel hiervan is dat de hoeveelheid ventilatielucht, door het fluctueren van de windsnelheid en -richting, niet goed te regelen is. Dit resulteert erin dat in de meeste gevallen meer wordt geventileerd dan noodzakelijk, waarmee tevens meer warmte en CO₂ verloren gaat dan nodig.

Om onder een gesloten scherm te kunnen ventileren moeten kieren worden getrokken, al dan niet in combinatie met het openen van de luchtramen, hetgeen buiten de hierboven beschreven problematiek ook problemen geeft inzake koudeval op het gewas.

Met de LBK kan op maat worden geventileerd. Door het aansturen van een recirculatieluchtkleppenregister is het mogelijk om de buitenlucht te mengen met te recirculeren kaslucht. Door meer lucht te recirculeren kan het buitenluchtaandeel in de toe te voeren lucht worden verkleind. De afvoerventilator(en) wordt/worden in dat geval met behulp van een frequentieregelaar teruggeregeld om te voorkomen dat de kas op onderdruk wordt gebracht. De mate van ventileren, dus de grootte

van het buitenluchtaandeel in de in de kas te brengen lucht, wordt geregeld op basis van gewenste relatieve vochtigheid. Het ventilatiesysteem van het ClimecoVent concept veroorzaakt geen ongewenste over- of onderdruk in de kas.

Het beoogde voordeel is om zo min mogelijk luchtcirculatie door het schermstelsel te realiseren, zodat de scherminstallatie(s) optimaal kunnen functioneren en dus maximaal energie kunnen besparen.

In de zomersituatie kan met de LBK een basis warmtelast worden afgevoerd, door het in de kas brengen van koudere buitenlucht die niet of weinig wordt voorverwarmd in de lucht-lucht warmtewisselaar (regainunit). Om deze situatie te genereren, moet de af te voeren lucht niet via de regainunit worden afgevoerd, maar zullen de luchtramen op een kier moeten worden geopend om de af te voeren lucht, door een lichte overdruk in de kas, in de buitenomgeving te brengen.

De af te voeren vervuilde/vochtige lucht zal door de lichte overdruk in de kas langs het scherm via de luchtramen naar buiten worden afgevoerd. Koudeval zal hierbij niet optreden.

De regainunit wordt tevens aangesloten op een condensafvoerleidingnet, om de condens, die bij lage buitenluchttemperaturen in de lucht-lucht warmtewisselaar ontstaat, af te voeren.

De regainunit wordt voorzien van een aansluiting waardoor CO₂, gevat in de gezuiverde rookgassen de WKK-installatie, of de rookgassen van de c.v.-ketel, de unit in kan worden gevoerd, die dan, vermengd met de in de kas te voeren lucht, met behulp van het luchtdistributiesysteem, gelijkmatig in de kas kan worden verdeeld. Dit betekent wel dat het hele systeem in ieder geval overdag vrijwel continu moet draaien om CO₂ te kunnen doseren.

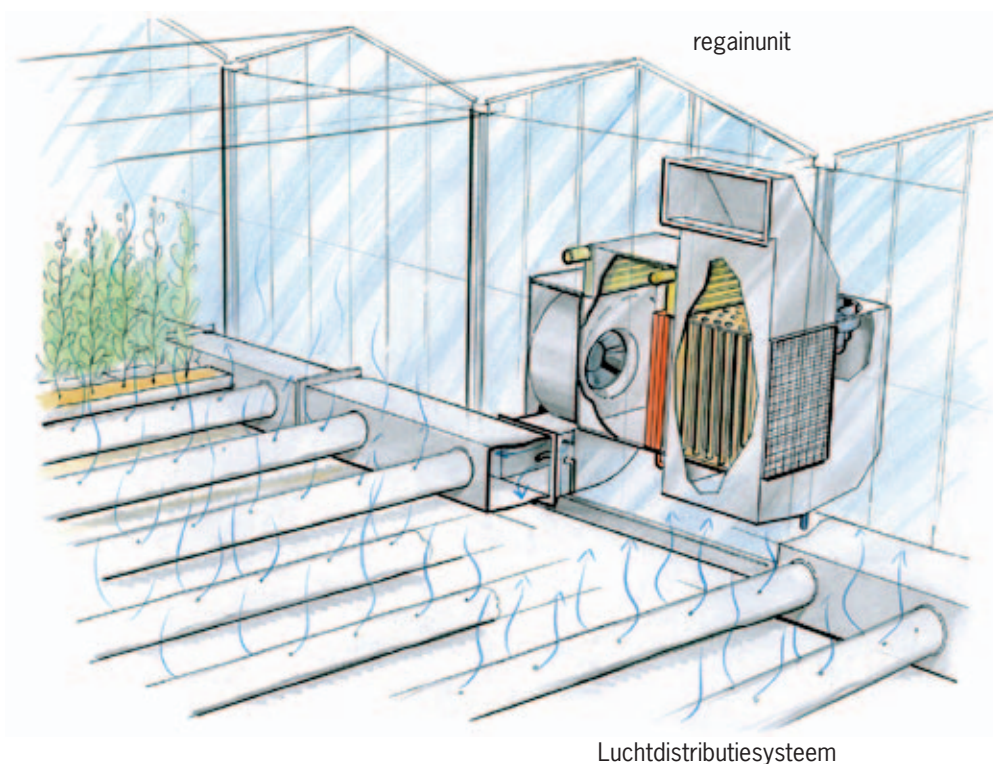


Fig. 2. Principe van regainunit en luchtdistributiesysteem

1.2.2 Het luchtdistributiesysteem

Met het luchtdistributiesysteem wordt de in de kas te voeren lucht gelijkmatig over het kasoppervlak verdeeld. Het luchtdistributiesysteem bestaat uit een binnen of buiten de kas op te stellen kanalsysteem waar enerzijds de LBK op wordt aangesloten, en anderzijds de folieslurven voor luchtverdeling. De folieslurven worden onder de teeltgoten aangebracht.

De folieslurven zijn geperforeerd. De gaatjes worden gebruikt om de in de kas te brengen lucht in de kas te laten toetreden. Het aantal gaatjes en het perforatiepatroon worden geënt op een juiste luchtverdeling over het gehele kasoppervlak. Temperatuurverschillen in de luchtslangen zullen niet merkbaar optreden, omdat de temperatuur van de in te blazen lucht nagenoeg gelijk is aan de kaslucht.

1.2.3 De scherminstallatie

De scherminstallatie is sinds jaar en dag een bekend fenomeen in de tuinbouwwereld.

Elke teelt geeft specifieke wensen ten aanzien van de scherminstallatie. Het doel van de gebruikte schermdoeken is een combinatie van zonwering en energiebesparing, waarbij de keuzerichting, afhankelijk van de teelt, verschuift naar zonwering of energiebesparing. Bij belichte teelten is overigens ook de beperking van de nachtelijke uitstoot van licht van belang.

Ten aanzien van het ClimecoVent-concept is het energiebesparingpotentieel van de te kiezen scherminstallatie van groot belang, aangezien het grootste deel van de energiebesparing, dat met het ClimecoVent-concept wordt gegenereerd, hier mee behaald wordt.

Normaliter zal worden gekozen voor een scherminstallatie met een dubbel scherm, een tomatenteler bijvoorbeeld kan dan de volgende keuze maken:

- onderste dekscherm bestaande uit een anti-condensfolie doek met een energiebesparing -potentieel van ca. 45% en lichtdoorlatendheid van ca. 94%. (*),
- bovenste dekscherm bestaande uit een zonweringdoek met een energiebesparingpotentieel van ca. 70% en een lichtdoorlatendheid van ca. 85% (*).

Het totale energiebesparingpotentieel van de hierboven genoemde dekscherminstallatie bedraagt 85% als beide schermen dichtgetrokken zijn. (Onderste scherm 45%, bovenste scherm 70% van 55%, te vermeerderen met ca. 1,5% door de stilstaande luchtlaag tussen de beide schermen.)

Met een energiebesparingpotentieel van bijvoorbeeld 85% wordt bedoeld dat het gesloten doek en het kasdek 85% minder warmte doorlaten dan alleen een kasdek. Deze waarde kan niet worden aangehouden bij de berekening van de (reductie in) warmtebehoefte van de kas, omdat zich ter plaatse van de vloer en de kaswanden geen schermdoeken bevinden, en er ter plaatse van de schermdoeken rekening moet worden gehouden met kieren en naden, stalen constructies die als koudebrug fungeren, etc.

De werkelijke reductie in warmtebehoefte, c.q. energieverbruik is te allen tijde minder dan het energiebesparingpotentieel van de schermen. Bovendien reduceren de schermen alleen de warmtebehoefte op het moment dat ze getrokken zijn.

Indien de scherminstallatie uit het voorbeeld zou worden aangehouden, dan zou de energiebesparing kunnen oplopen tot 75% op momenten dat de scherminstallatie volledig getrokken is.

De beide scherminstallaties zijn onafhankelijk van elkaar te sturen.

1.3 De voor- en nadelen van het ClimecoVent-concept

1.3.1 De voordelen van het ClimecoVent-concept

Belangrijke voordelen van het ClimecoVent-concept zijn:

- Een fors energiebesparingpotentieel, bijvoorbeeld een traditioneel aardgasverbruik van 39 (m³/m²)/jaar, dat gereduceerd wordt tot 25,9 (m³/m²)/jaar,
- De te plegen meerinvestering is relatief laag (meerinvestering ca. € 25,00/m²),
- De kans op falen van de technische componenten is klein; zowel de toe te passen technische componenten, als de principes waarop zij gebaseerd zijn, zijn niet complex en reeds in de praktijk bewezen,
- In de basisrange kan op maat worden geventileerd, zonder dat het openen van de luchtramen noodzakelijk is; hierdoor gaat minder CO₂ verloren, en kunnen minder gewasbeschermingsmiddelen gebruikt worden, omdat de invlieg van schadelijke, en de uitvlieg van nuttige insecten kleiner is,
- Verse lucht wordt vanonderuit langs het gewas gebracht waardoor minder kans op ziekten, veroorzaakt door “koude” plantvoet en “warme” plantkop,
- Tijdens het doseren van CO₂ is er te allen tijde sprake van een basisventilatie, waardoor minder tuindersstress, inzake slechte luchtkwaliteit in de kas tijdens het doseren van CO₂ die gevat is in de gereinigde rookgassen van de WKK-installatie,
- Teelttechnisch is het concept niet zwaar ingrijpend.

1.3.2 De nadelen van het ClimecoVent-concept

Het ClimecoVent -concept vergt een aantal voor de tuinder nieuwe klimaatcomputer instellingen. Bij verschillende teelten en omstandigheden zal er op een (teelt)specifieke wijze mee om moeten worden gegaan. Net zoals het efficiënt telen van een tomaat, zal voor een efficiënte omgang met het systeem, handelen met beleid en inzicht noodzakelijk zijn. De tuinder bepaalt met zijn handelen, de mate van succes ten aanzien van de energiebesparingen en mogelijke teeltverbeteringen van het ClimecoVent-concept.

Bijlage II Specificaties van het ClimecoVent-systeem

De opbouw van het concept, en haar achtergronden, worden omschreven in de notitie "Het ClimecoVent-concept in vogelvlucht", d.d. 26 april 2010, die als bijlage I. is toegevoegd aan deze rapportage. De belangrijkste ontwerpspecificaties van het ClimecoVent-concept, zoals dat in bij Steegh is gerealiseerd, zijn als volgt:

LBK's (per LBK; in het totaal 8 stuks)

Luchtdebiet toevoerventilator:	30.000	m ³ /h
Opvoerhoogte toevoerventilator:	500	Pa
Vermogen toevoerventilator (HRZ 710; 1 stuks):	7,5	kW
Vermogen afvoerventilator (4D63Q; 2 stuks):	1,5	kW
Afmetingen recirculatieluchtkleppenregister (L × B):	1.000 × 800	mm
Warmteterugwinningssectie 9 modules (L × B × H):	500 × 500 × 1.400	mm
Vermogen warmwaterbatterij 2 stuks:	40	kW

Luchtdistributie-installatie

Geïsoleerd kunstst. luchtkanaal PUR/POL50 (D × H)	350 .. 1.100 × 900	mm
Aantal luchtslurven:	146	stuks
Lengte luchtslurven:	160	m
Diameter luchtslurven:	400	mm
Diameter gaatjes:	8	mm
Aantal rijen gaatjes per luchtslang:	2	stuks
Aantal secties per luchtslang met eigen gatafstand:	4	stuks

(24m met in het totaal 188 gaatjes, 17,6m met in het totaal 146 gaatjes, 24m met in het totaal 214 gaatjes en 94,4m met in het totaal 900 gaatjes)

Scherminstallaties

Scherf 1	AC-folie	
Lichtdoorlating direct scherm 1:	88	%
Lichtdoorlating diffuus scherm 1:	81	%
Energiebesparing scherm 1:	43	%
Scherf 2; fabrikaat/type	Svensson XLS17 Firebreak	
Lichtdoorlating direct scherm 2:	25	%
Lichtdoorlating diffuus scherm 2:	24	%
Energiebesparing scherm 2:	67	%

De totale ontwerpcapaciteit van de LBK's bedraagt 240.000 m³/h. Bij een kasareaal van 3,7 ha. bedraagt het specifieke ontwerpluchtversingspotentieel ca. 6,5 (m³/h)/m².

Bijlage III Meetapparatuur

Voor het verrichten van de technische metingen is gebruik gemaakt van de volgende meetapparatuur:

- een klimaatmeter van het fabrikaat Testo, type T435-4, voorzien van een:
- interne drukverschilsonde met een meetbereik van 0 .. 25 hPa en een nauwkeurigheid van +/- 0,02 hPa over het meetbereik 0 .. 2 hPa en een nauwkeurigheid van 1% van de meetwaarde over het overige meetbereik,
- een IAQ-sonde van het fabrikaat Testo, type 0632 1535, voor de beoordeling van de omgevingsluchtkwaliteit met een:
- temperatuuropnemer met een meetbereik van 0 .. 50 °C en een nauwkeurigheid van +/- 0,3°C,
- relatieve vochtigheidsopnemer met een meetbereik van 0 .. 100% en een nauwkeurigheid van +/- 2% van de meetwaarde over het meetbereik 2 .. 98%,
- CO₂ opnemer met een meetbereik van 0 .. 10.000 ppm CO₂ en een nauwkeurigheid van +/- 50 ppm CO₂ te vermeerderen met 2% van de meetwaarde over het meetbereik 0 .. 5.000 ppm en een nauwkeurigheid van +/- 100 ppm CO₂ te vermeerderen met 3% van de meetwaarde over het meetbereik 5.001 .. 10.000 ppm CO₂,
- een hittedraadanemometer van het fabrikaat Testo, type 0635 1025, met:
- luchtsnelheidsmeting met een meetbereik van 0 .. 20 m/s en een nauwkeurigheid van +/- 0,03 m/s te vermeerderen met 5% van de meetwaarde,
- temperatuurmeting met een meetbereik van -20 .. 70°C en een nauwkeurigheid van +/- 0,3°C,
- een vleugelradanemometer van het fabrikaat Testo, type 0635 9335 met een meetbereik van 0,25 .. 20 m/s en een nauwkeurigheid van +/- 0,1 m/s te vermeerderen met 1,5% van de meetwaarde.

Bijlage IV Metingen rendement van de regainunit

Metingen 7 december

Onderstaande meting is verricht op 7 december 2009. Gemeten luchtcondities:

Buitenluchttemperatuur 2,0°C met een relatieve vochtigheid van 61%, (lucht in - primaire zijde van de warmtewisselaar),
Kasluchttemperatuur 19,4°C met een relatieve vochtigheid van 70%, (lucht in - secundaire zijde van de warmtewisselaar),
Ablaasttemperatuur 12,6°C met een relatieve vochtigheid van 100%, (lucht uit - secundaire zijde van de warmtewisselaar).

De temperatuur waarmee de opgewarmde buitenlucht de lucht/lucht warmtewisselaar verlaat (lucht uit - primaire zijde van de warmtewisselaar) kan niet worden gemeten vanwege de verwarmingsbatterij die in de weg zit. Voor het bepalen van het rendement is dit echter geen beletsel.

Berekeningen 7 december (met Mollierdiagram)

De regainunit zuigt aan twee zijden buitenlucht aan. Beide zijden zijn voorzien van een lucht/lucht warmtewisselaar. De lucht die aan de kas wordt onttrokken wordt over de beide lucht/lucht warmtewisselaars verdeeld, en aan twee zijden, elk voorzien van een afzuigventilator, afgeblazen.

Beide luchtstromen kunnen worden aangenomen als even groot. Voor de berekeningen wordt één lucht/lucht warmtewisselaar beschouwd.

De massastroom buitenlucht bedraagt 4,70 kg/s en de massastroom af te blazen lucht bedraagt 4,29 kg/s.

De kaslucht heeft een warmte-inhoud van 44,3 kJ/kg en de afgeblazen lucht heeft een warmte-inhoud van 35,5 kJ/kg. Deze luchtstroom verliest 8,8 kJ/kg ofwel 37,75 kJ/s.

Het kan niet anders dan dat dit vermogen wordt overgedragen op de toe te voeren lucht. Aangezien dit een droog proces is zal de massastroom buitenlucht met 8,0K worden opgewarmd van 2,0°C naar 10°C.

Als de warmtewisselaar een rendement van 100% zou hebben, dan werd de buitenlucht met 17,4K van 2,0°C opgewarmd naar de temperatuur van de kaslucht, zijnde 19,4°C. Het rendement van de warmtewisselaar bedraagt in deze situatie $(8,0/17,4) \times 100\% = 46\%$

Metingen 9 december

9 December 2009 kende een koude nacht. Om het effect van een wat forsere condensatie te kunnen meten, zijn opnieuw metingen verricht.

Gemeten luchtcondities:

- Buitenluchttemperatuur -2,4°C met een relatieve vochtigheid van 84%, (lucht in - primaire zijde van de warmtewisselaar),
- Kasluchttemperatuur 19,2°C met een relatieve vochtigheid van 74%, (lucht in - secundaire zijde van de warmtewisselaar),
- Ablaasttemperatuur 11,9°C met een relatieve vochtigheid van 100%, (lucht uit - secundaire zijde van de warmtewisselaar).

De temperatuur waarmee de opgewarmde buitenlucht de lucht/lucht warmtewisselaar verlaat (lucht uit - primaire zijde van de warmtewisselaar) kan niet worden gemeten vanwege de verwarmingsbatterij die in de weg zit. Voor het bepalen van het rendement is dit echter geen beletsel.

Berekeningen 9 december (met Mollierdiagram)

De regainunit zuigt aan twee zijden buitenlucht aan. Beide zijden zijn voorzien van een lucht/lucht warmtewisselaar. De lucht die aan de kas wordt onttrokken wordt over de beide lucht/lucht warmtewisselaars verdeeld, en aan twee zijden, elk voorzien van een afzuigventilator, afgeblazen.

Beide luchtstromen kunnen worden aangenomen als even groot. Voor de berekeningen wordt één lucht/lucht warmtewisselaar beschouwd.

De massastroom buitenlucht bedraagt 4,70 kg/s en de massastroom af te blazen lucht bedraagt 4,29 kg/s. De kaslucht heeft een warmte-inhoud van 45,5 kJ/kg en de afgeblazen lucht heeft een warmte-inhoud van 33,2 kJ/kg. Deze luchtstroom verliest 12,3 kJ/kg ofwel 52,75 kJ/s. Het kan niet anders dan dat dit vermogen wordt overgedragen op de toe te voeren lucht. Aangezien dit een droog proces is zal de massastroom buitenlucht met 11,2K worden opgewarmd van -2,4°C naar 8,8°C.

Als de warmtewisselaar een rendement van 100% zou hebben, dan werd de buitenlucht met 21,6K van -2,4°C opgewarmd naar de temperatuur van de kaslucht, zijnde 19,2°C. Het rendement van de warmtewisselaar bedraagt in deze situatie $(11,2/21,6) \times 100\% = 52\%$.

Conclusie

Met theoretische modellen is berekend dat het rendement van de lucht/lucht warmtewisselaars, bij condensatie in de wisselaar, en onder gebruikelijke omstandigheden op zou kunnen lopen naar een waarde rond de 50%.

Hoe kouder de buitenlucht en hoe vochtiger de kaslucht, hoe hoger het rendement van de warmtewisselaar. Rendementen van rond de 60% moeten kunnen worden gehaald bij extreme weersomstandigheden. Aangezien deze niet vaak voorkomen is toen ter tijd een rendement van rond de 50% opgegeven.

Betere rendementen zijn mogelijk door de toepassing van een ander, beter geleidend, materiaal dan PVC. Echter een warmtewisselaar vervaardigd uit een beter geleidend materiaal met eenzelfde mate van chemische bestendigheid, zal een veelvoud van kosten met zich meebrengen, en kan zichzelf niet binnen een acceptabele periode met de teruggewonnen energie terugverdienen.

De PVC lucht/luchtwisselaars in de regainunit presteren volgens ontwerp.

Bijlage V Metingen temperatuurgradient

In de kas zijn een aantal meetboxen geplaatst waarmee onder andere de temperatuur binnen de desbetreffende kasafdeling nauwkeurig kan worden gemeten.

Kasafdeling 1 bevindt zich direct aan de zijde van de serviceruimten, kasafdeling 2 bevindt zich aan de langszijde (achterkant) van de kas. Beide kasafdelingen zijn even groot; de denkbeeldige scheidslijn staat dus haaks op het betonpad.

In beide kasafdelingen zijn twee Priva meetboxen geplaatst waarmee specifiek de horizontale temperatuurgradiënt kan worden bepaald.

Deze vier, op de tuinbouwcomputer uitleesbare, meetboxen bevinden zich op een hoogte van 1,5 meter, buiten de directe gevelzone.

De plaatsing is parallel aan de folieslangen, in de nabijheid van de middelste folieslang in de desbetreffende afdeling, en op een afstand van 1/3 resp. 2/3 van de folieslang(en).

Nummer en locatie van de meetboxen voor meting van horizontale temperatuurgradiënt:

- Meetbox 1: in kwadrant gelegen aan zijde serviceruimten/zijde LBK's,
- Meetbox 2: in kwadrant gelegen aan zijde serviceruimten/padzijde,
- Meetbox 3: in kwadrant gelegen aan langszijde kas/zijde LBK's,
- Meetbox 4: in kwadrant gelegen aan langszijde kas/padzijde.

Indien tussen meetbox 1 en 2 een denkbeeldige rechte lijn wordt getrokken bevinden zich in het midden van deze lijn de boven elkaar geplaatste meetboxen 5 en 6.

Indien tussen meetbox 3 en 4 een denkbeeldige rechte lijn wordt getrokken bevinden zich in het midden van deze lijn de boven elkaar geplaatste meetboxen 7 en 8.

De meetboxen 5 en 7 bevinden zich op een hoogte van 1,5 m en de meetboxen 6 en 8 bevinden zich op een hoogte van 3 meter.

1.1 Metingen

De toevoerventilator in de regainunits heeft altijd een vast toerental. Het debiet dat verplaatst wordt fluctueert tussen 27.234 m³/h in de recirculatiestand en 28.213 m³/h in de ventilatiestand. Eén en ander wordt veroorzaakt door een verschil in interne luchtweerstand in de regainunits tussen de beide genoemde uiterste standen.

De beide afzuigventilatoren zijn met behulp van een frequentieregelaar in toeren te regelen. Gezamenlijk kunnen deze ventilatoren een luchtdebiet verplaatsen van 25.750 m³/h.

1.1.1 Verticale temperatuurgradiënt in de 100% ventilatiemodus

Per regainunit wordt 28.213 m³/h lucht aan de kas onttrokken en opnieuw in de kas gebracht. In de 100% ventilatiemodus staan de beide afzuigventilatoren 100% ingeschakeld en verplaatsen een luchtdebiet van 25.750 m³/h. Het voorgaande houdt in dat de kas onder een lichte overdruk staat (ca. 9% meer lucht toevoeren dan afvoeren).

De metingen zijn gelijktijdig uitgevoerd met de metingen aangaande de horizontale temperatuurgradiënt in deze modus.

Tijdens de meetperiode (buitentemperatuur 5,0°C, scherm open, bewolkt weer) zijn de volgende waarden gemeten:

- Meetbox 5: 20,5°C,
- Meetbox 6: 20,7°C,
- Meetbox 7: 20,5°C,
- Meetbox 8: 20,7°C.

De gemiddelde waarde van alle metingen bedraagt: 20,6°C.

De laagst gemeten waarde bedraagt 20,5°C (-0,1K)

De hoogst gemeten waarde bedraagt 20,7°C (+0,1K)

De verticale temperatuurgradiënt bedraagt onder de hierboven geschetste omstandigheden +/- 0,1K. Tuinders zouden onder deze omstandigheden tevreden zijn geweest met een horizontale temperatuurgradiënt van +/- 1,0K; natslag van het gewas is dan onwaarschijnlijk.

Gezien het bijna fantastische resultaat is onder dezelfde omstandigheden nog een meting verricht, maar dan met de afzuigventilatoren uitgeschakeld en de luchtramen zodanig open dat de kas niet merkbaar onder overdruk staat.

De metingen zijn gelijktijdig uitgevoerd met de metingen aangaande de horizontale temperatuurgradiënt in deze modus.

Tijdens de meetperiode (buitentemperatuur 5,2°C, scherm open, bewolkt weer) zijn de volgende waarden gemeten:

- Meetbox 5: 20,5°C,
- Meetbox 6: 21,0°C,
- Meetbox 7: 20,5°C,
- Meetbox 8: 20,8°C.

De gemiddelde waarde van alle metingen bedraagt: 20,8°C.

De laagst gemeten waarde bedraagt 20,5°C (-0,3K)

De hoogst gemeten waarde bedraagt 21,0°C (+0,2K)

De verticale temperatuurgradiënt bedraagt onder de hierboven geschetste omstandigheden +/- 0,3K. Tuinders zouden onder deze omstandigheden tevreden zijn geweest met een horizontale temperatuurgradiënt van +/- 1,0K; natslag van het gewas is dan onwaarschijnlijk.

1.1.2 Verticale temperatuurgradiënt in de 100% recirculatiemodus

Per regainunit wordt 27.234 m³/h lucht aan de kas onttrokken en opnieuw in de kas gebracht. In de 100% recirculatiemodus staan de beide afzuigventilatoren uitgeschakeld. Het voorgaande houdt in dat de kas niet op onder- of overdruk staat.

De metingen zijn gelijktijdig uitgevoerd met de metingen aangaande de horizontale temperatuurgradiënt in deze modus.

Tijdens de meetperiode (buitentemperatuur 5,1°C, scherm open, bewolkt weer) zijn de volgende waarden gemeten:

- Meetbox 5: 20,6°C,
- Meetbox 6: 21,1°C,
- Meetbox 7: 20,5°C,
- Meetbox 8: 20,9°C.

De gemiddelde waarde van alle metingen bedraagt: 20,8°C.

De laagst gemeten waarde bedraagt 20,5°C (-0,3K)

De hoogst gemeten waarde bedraagt 21,1°C (+0,3K)

De verticale temperatuurgradiënt bedraagt onder de hierboven geschetste omstandigheden +/- 0,3K. Tuinders zouden onder deze omstandigheden tevreden zijn geweest met een horizontale temperatuurgradiënt van +/- 1,0K; natslag van het gewas is dan onwaarschijnlijk.

1.1.3 Horizontale temperatuurgradiënt in de 100% ventilatiemodus

Per regainunit wordt 28.213 m³/h lucht aan de kas onttrokken en opnieuw in de kas gebracht. In de 100% ventilatiemodus staan de beide afzuigventilatoren 100% ingeschakeld en verplaatsen een luchtdebiet van 25.750 m³/h. Het voorgaande houdt in dat de kas onder een lichte overdruk staat (ca. 9% meer lucht toevoeren dan afvoeren).

Tijdens de meetperiode (buitentemperatuur 5,0°C, scherm open, bewolkt weer) zijn de volgende waarden gemeten:

- Meetbox 1: 20,6°C,
- Meetbox 5: 20,5°C,
- Meetbox 2: 20,6°C,
- Meetbox 3: 20,5°C,
- Meetbox 7: 20,5°C,
- Meetbox 4: 20,4°C.

De gemiddelde waarde van alle metingen bedraagt: 20,5°C.

De laagst gemeten waarde bedraagt 20,4°C (-0,1K)

De hoogst gemeten waarde bedraagt 20,6°C (+0,1K)

De horizontale temperatuurgradiënt bedraagt onder de hierboven geschetste omstandigheden +/- 0,1K. Tuinders zouden onder deze omstandigheden tevreden zijn geweest met een horizontale temperatuurgradiënt van +/- 1,0K; natslag van het gewas is dan onwaarschijnlijk.

Gezien het bijna fantastische resultaat is onder dezelfde omstandigheden nog een meting verricht, maar dan met de afzuigventilatoren uitgeschakeld en de luchtramen zodanig open dat de kas niet merkbaar onder overdruk staat.

Tijdens de meetperiode (buitentemperatuur 5,2°C, scherm open, bewolkt weer) zijn de volgende waarden gemeten:

- Meetbox 1: 20,8°C,
- Meetbox 5: 20,5°C,
- Meetbox 2: 20,1°C,
- Meetbox 3: 20,7°C,
- Meetbox 7: 20,5°C,
- Meetbox 4: 20,3°C.

De gemiddelde waarde van alle metingen bedraagt: 20,5°C.

De laagst gemeten waarde bedraagt 20,1°C (-0,4K)

De hoogst gemeten waarde bedraagt 20,8°C (+0,3K)

De horizontale temperatuurgradiënt bedraagt onder de hierboven geschetste omstandigheden +/- 0,4K. Tuinders zouden onder deze omstandigheden tevreden zijn geweest met een horizontale temperatuurgradiënt van +/- 1,0K; natslag van het gewas is dan onwaarschijnlijk.

1.1.4 Horizontale temperatuurgradiënt in de 100% recirculatiemodus

Per regainunit wordt 27.234 m³/h lucht aan de kas onttrokken en opnieuw in de kas gebracht. In de 100% recirculatiemodus staan de beide afzuigventilatoren uitgeschakeld. Het voorgaande houdt in dat de kas niet op onder- of overdruk staat.

Tijdens de meetperiode (buitentemperatuur 5,1°C, scherm open, bewolkt weer) zijn de volgende waarden gemeten:

- Meetbox 1: 20,6°C,
- Meetbox 5: 20,6°C,
- Meetbox 2: 20,2°C,
- Meetbox 3: 20,7°C,
- Meetbox 7: 20,5°C,
- Meetbox 4: 20,4°C.

De gemiddelde waarde van alle metingen bedraagt: 20,5°C.

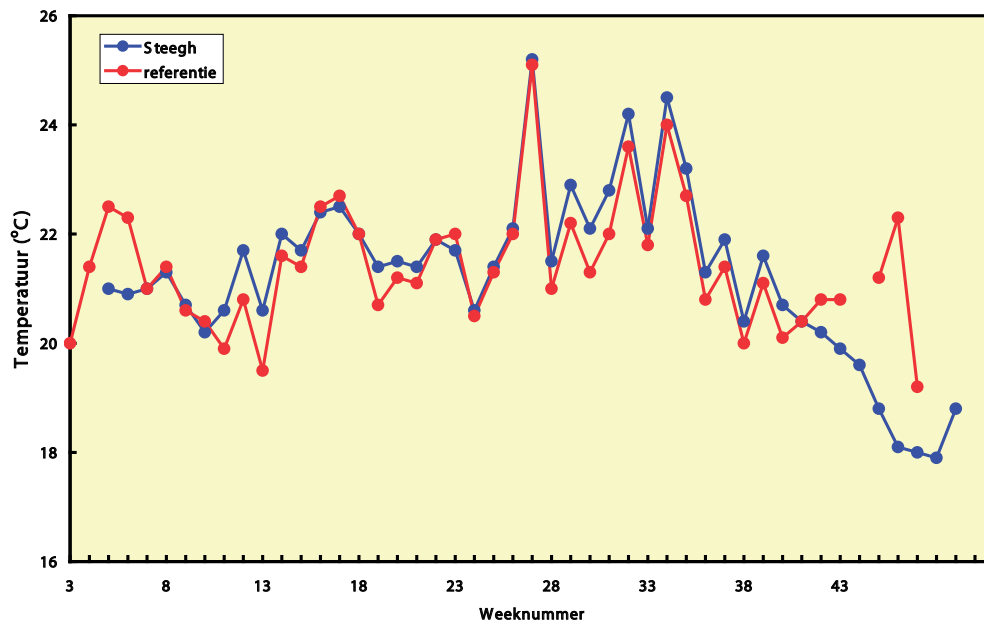
De laagst gemeten waarde bedraagt 20,2°C (-0,3K)

De hoogst gemeten waarde bedraagt 20,7°C (+0,2K)

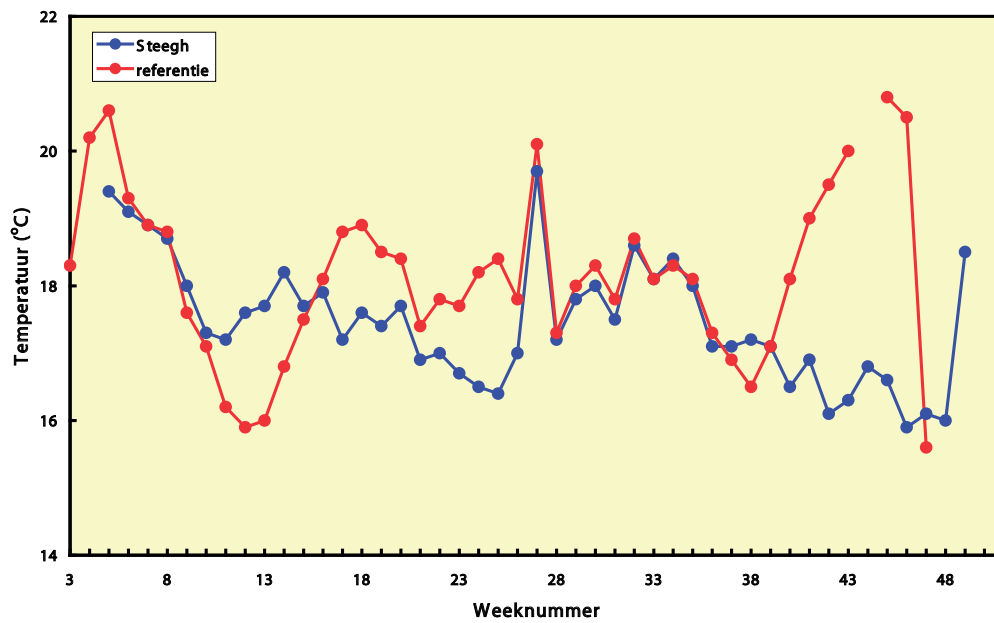
De horizontale temperatuurgradiënt bedraagt onder de hierboven geschetste omstandigheden +/- 0,3K. Tuinders zouden onder deze omstandigheden tevreden zijn geweest met een horizontale temperatuurgradiënt van +/- 1,0K; natslag van het gewas is dan onwaarschijnlijk.

Bijlage VI Grafieken gewas, kasklimaat en energie

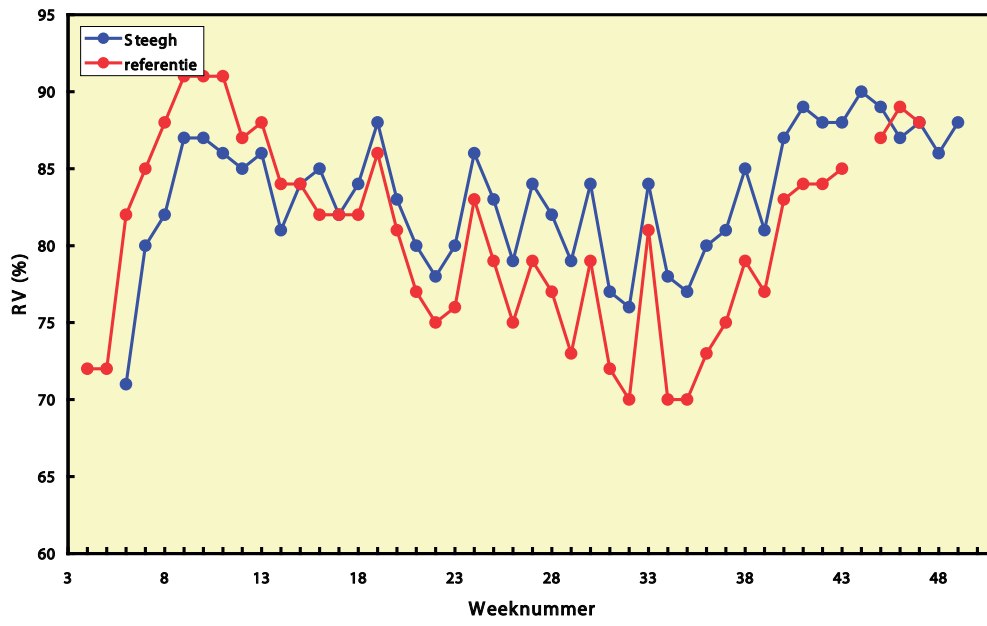
Gemiddelde dagtemperatuur



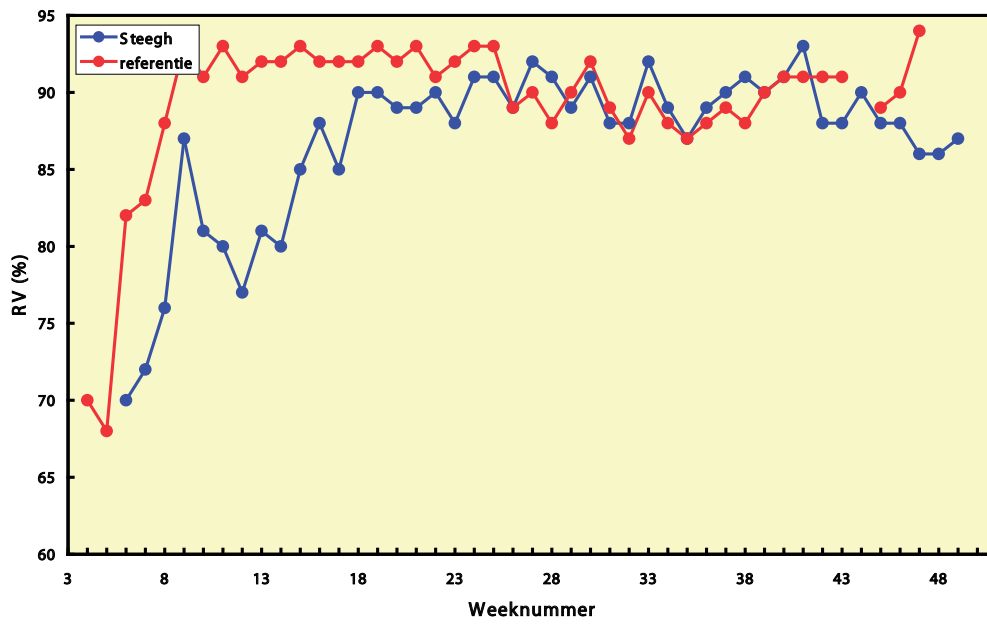
Gemiddelde nachttemperatuur



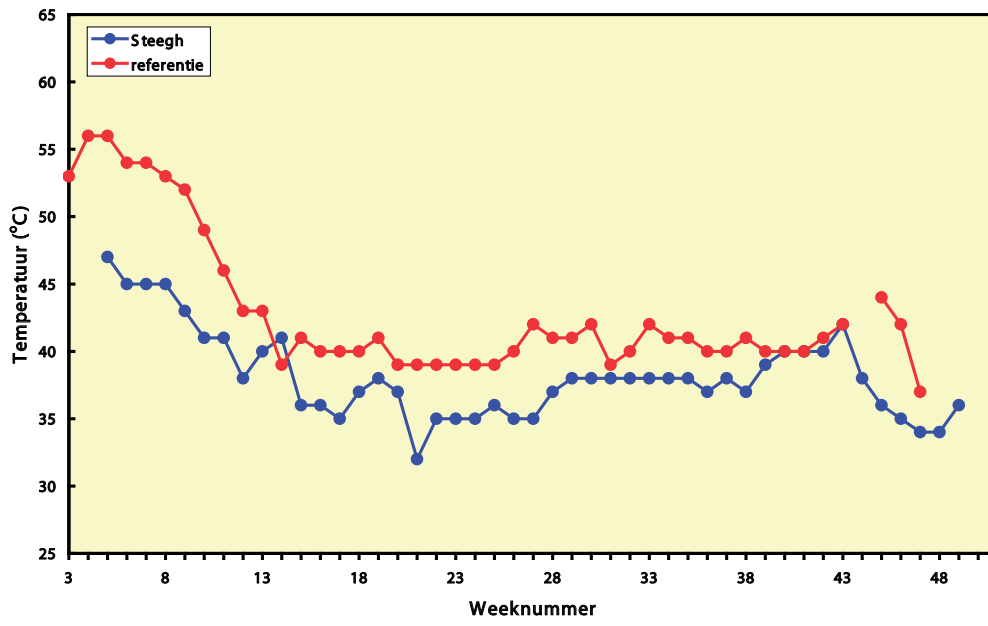
Gemiddelde RV overdag



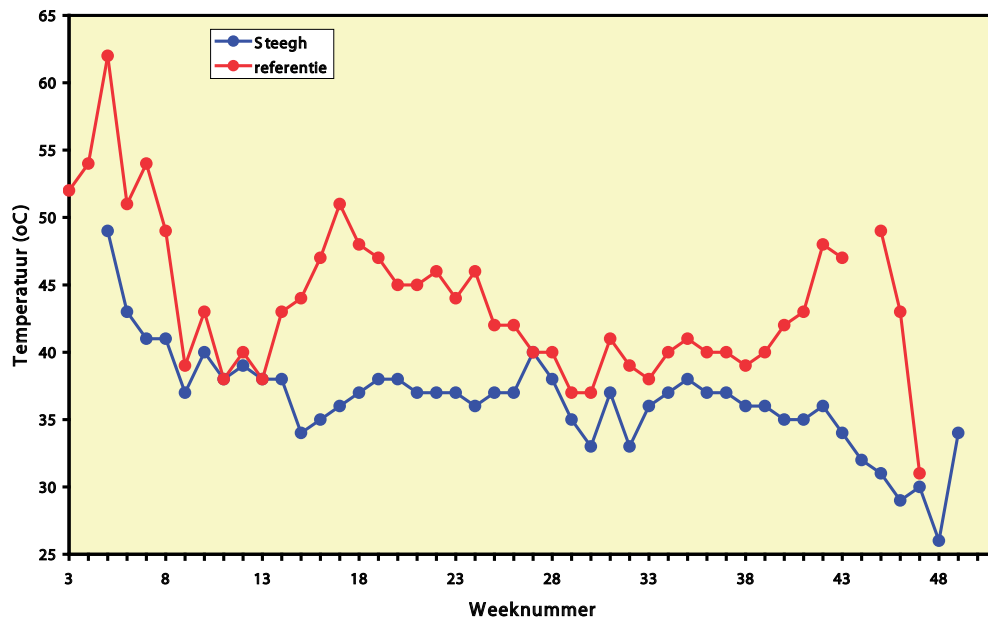
Gemiddelde RV nacht



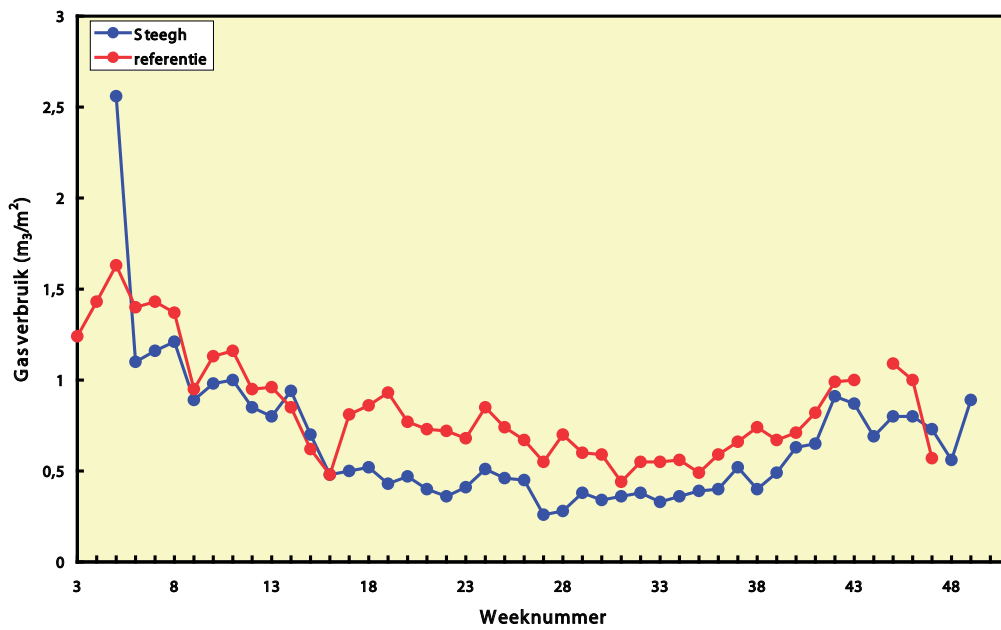
Buistemperatuur dag



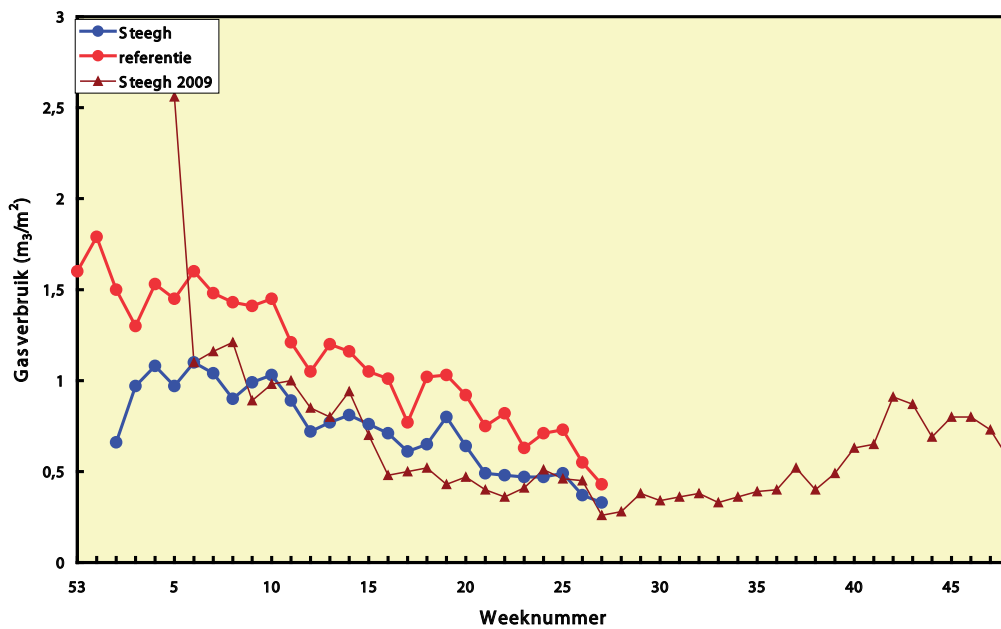
Buistemperatuur nacht



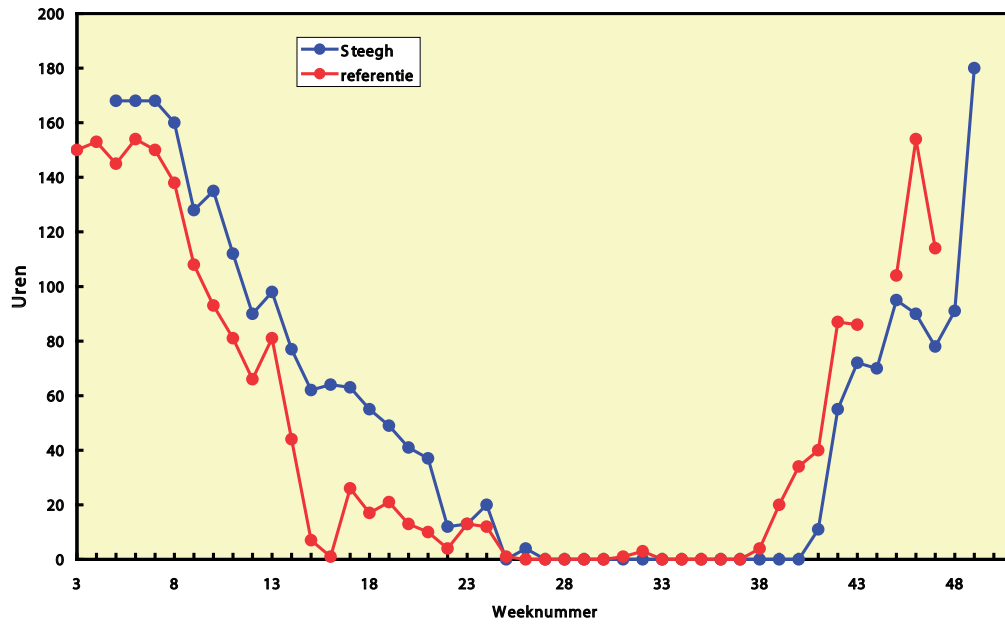
Gemiddeld gasverbruik



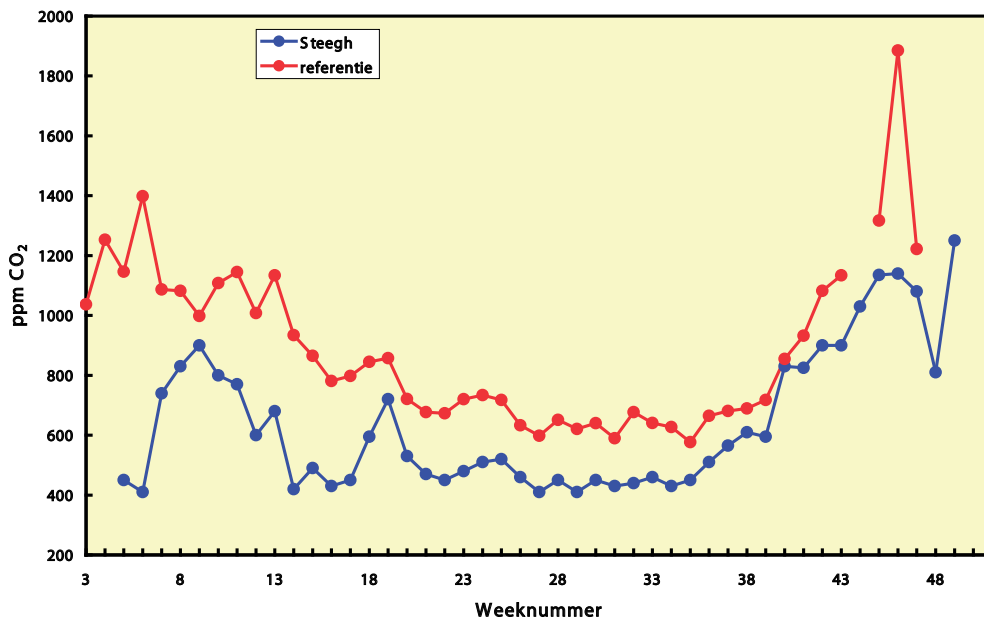
Gemiddeld gasverbruik



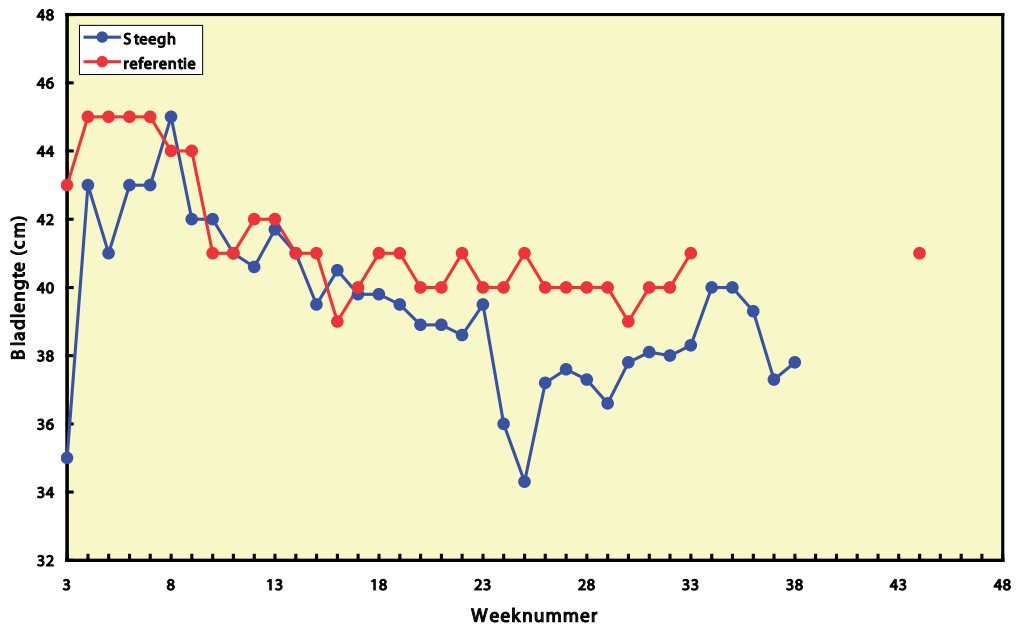
Schermuren



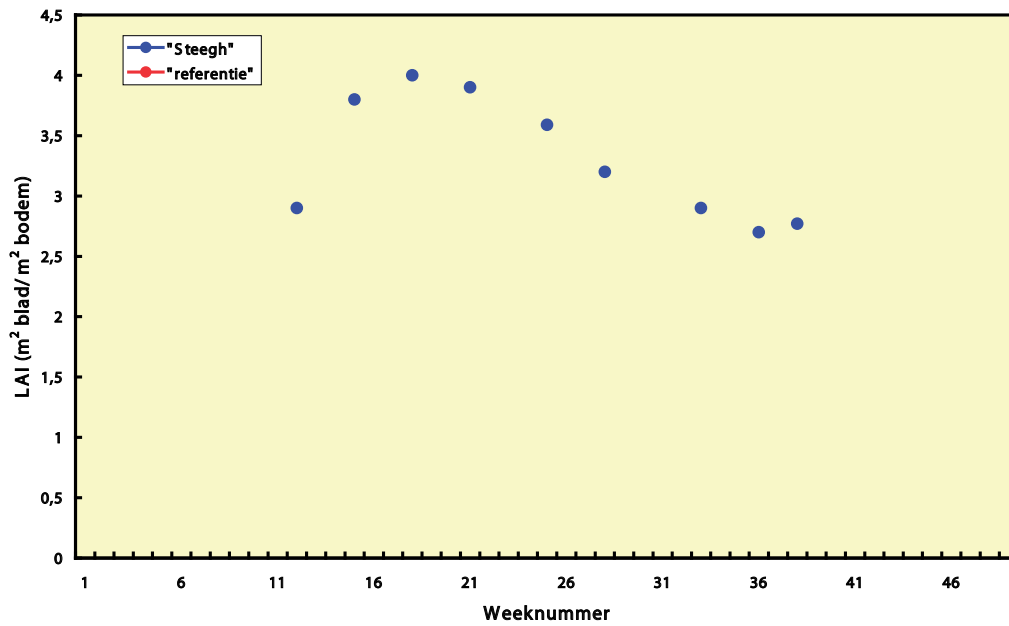
Gerealiseerde CO2 dag



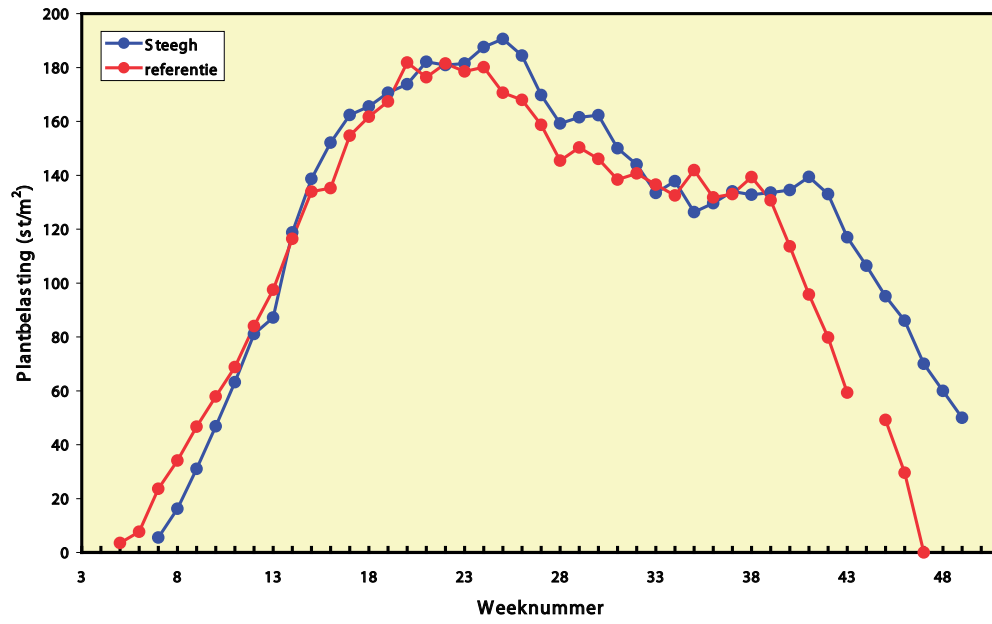
Bladlengte



LAI



Plantbelasting



Productie

