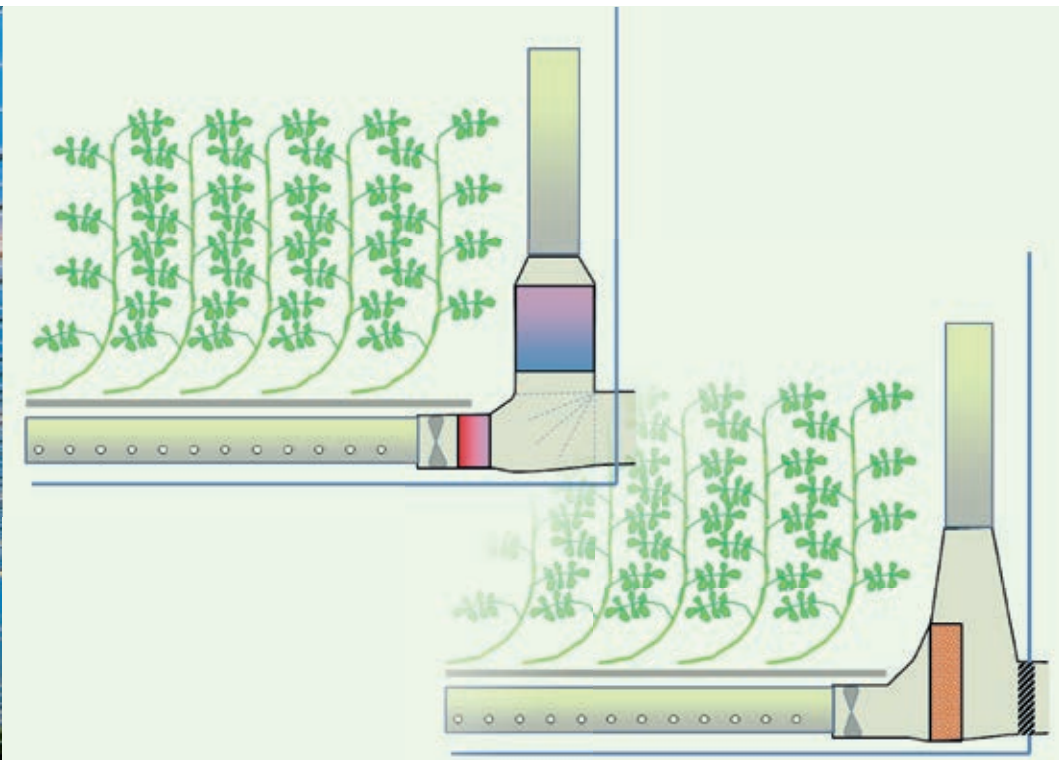




De Next Generation Semigesloten Kas

Perspectief van een ontvochtigingssysteem op basis van een koeloppervlak en op basis van hygroscopisch zout.

H.F. de Zwart en B. Speetjens



Referaat

Het nieuwe concept Next Generation Semigesloten kas is met recht een opvolger van eerdere generaties (semi)gesloten kassen. Het systeem realiseert een substantiële invulling van de verwarming van kasteelten met duurzame warmte. Het concept is gebaseerd op een kleine aanpassing van de luchtbehandelingskasten die met de opkomst van Het Nieuwe Telen in steeds meer kassen te zien zijn. Door deze luchtbehandelingskasten naast een verwarmend blok ook met een koelblok uit te rusten kan met een beperkte luchtcirculatie ($10 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \text{ uur})$) de kas in de winter meer gesloten gehouden worden door de kas intern te ontvochtigen. In de zomer kan dezelfde installatie worden gebruikt om, net als in de eerdere generaties (semi) gesloten kassen, energie te verzamelen uit het zomerse warmteoverschot ten behoeve van de voeding van een warmtepomp in de winter.

Het systeem is in de praktijk getest in een kasafdeling van 3680 m^2 . Uit deze proef bleek dat in de gegeven kas de warmtebehoefte van $40 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \text{ jaar})$ voor 25% met duurzame warmte kon worden ingevuld. De benodigde investeringen leiden bij de huidige gasprijs tot een simpele terugverdientijd van ruim $7\frac{1}{2}$ jaar.

Behalve het Next Generation systeem op basis van een koelblok is ook gekeken naar de perspectieven van een hygroscopisch ontvochtigingssysteem op basis van een CaCl_2 -oplossing. Het energiebesparingspotentieel van hygroscopische ontvochtiging ligt waarschijnlijk iets hoger dan dat van een systeem op basis van een koelblok.

Het economische perspectief hangt voornamelijk af van de prijs van de regenerator, de machine die de verdunde zoutoplossing weer moet indikken met terugwinning van de latente warmte.

Abstract

The Next Generation Semi Closed Greenhouse is an improved version of earlier generations of (semi) closed greenhouses. The system provides renewable energy for the heating of greenhouses. The concept is based on an optimised utilisation of the air treatment units that have become widespread with the 'New Cultivation' in greenhouses. In this New Cultivation greenhouses, dehumidification is performed by a well-controlled inlet and even distribution of outside air. In the Next Generation Semi Closed greenhouse, the air treatment units are furnished with a cooling heat exchanger in the upstream air flow next to the heating block. The air circulation capacity is around $10 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \text{ h})$. With the cold heat exchanger, the greenhouse can be internally dehumidified. This enables to keep the windows shut during the cold period of the year, which prevents losses of sensible and latent heat. In summer, the same system can be used for gathering heat from the summertime heat surpluses to provide energy for wintertime use of a heat pump. These summertime heat surpluses are stored in an aquifer system, just like the common practice in previous generations of (semi) closed greenhouses.

The system was tested on 3680 m^2 of a commercial greenhouse and compared in terms of energy consumption with a standard greenhouse operation. The experiments showed that at the system could provide a 25% contribution of sustainable energy in the heat demand. At current energy prices the simple payback time of the investments for a Next Generation Semi Closed greenhouse will be around $7\frac{1}{2}$ years. Besides this system, the study also analysed the perspectives of hygroscopic dehumidification. It showed to be a realistic dehumidification system for modern greenhouses. The energy saving potential of hygroscopic dehumidification is likely to be even higher than that of a system based on condensation on a cold surface. The economic outlook depends largely on the price of the regenerator, the machine that extracts the water out of the desiccant solution.

© 2013 Wageningen, Wageningen UR Glastuinbouw. Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Wageningen UR Glastuinbouw

Wageningen UR Glastuinbouw

Adres : Droevendaalsesteeg 1, 6708 PB Wageningen
: Postbus 16, 6700 AA Wageningen
Tel. : 0317 - 48 60 01
Fax : 0317 - 41 80 94
E-mail : glastuinbouw@wur.nl
Internet : www.glastuinbouw.wur.nl

Inhoudsopgave

	Voorwoord	5
	Samenvatting	7
	Summary	9
1	Inleiding	11
2	Van First, naar Next Generation Semigesloten Kas	13
	2.1 Inleiding	13
	2.2 Eerste generatie gesloten kassen	13
	2.3 Buitenluchtaanzuiging	14
	2.4 De rol van WKK	14
	2.5 De Next Generation Semigesloten Kas	15
3	Ontwerp van de installatieonderdelen	17
4	Experimentele resultaten	21
	4.1 Proefopzet	21
	4.2 Resultaten met betrekking tot het kasklimaat	22
	4.3 Energieprestaties	25
	4.4 Inpassing van de WKK en warmtepomp	28
	4.5 Gewaswaarnemingen	31
	4.6 Conclusies van het praktijkexperiment	32
5	Economische kentallen van de Next Generation Semigesloten kas	33
6	Hygroscopische ontvochtiging als alternatief	35
	6.1 Inleiding	35
	6.2 Hygroscopische ontvochtiging	35
	6.2.1 Eigenschappen van een waterige oplossing van Calciumchloride	36
	6.2.2 Overdracht van waterdamp in de pad wall	38
	6.2.3 Regeneratie	38
	6.3 Efficiëntie van verschillende pad-materialen	40
	6.3.1 Proefopzet	40
	6.3.2 Resultaten	42
	6.3.3 Conclusies van de proeven aan alternatieve padmaterialen	45
	6.4 Hygroscopische ontvochtiging versus Next Generation	46
7	Conclusies	49

Voorwoord

Voorliggend verslag van het uitgebreide experiment met een nieuw concept voor de verduurzaming van de invulling van de warmtevraag van tuinbouwkassen is mogelijk gemaakt door de financiële ondersteuning van het Ministerie van Economische zaken en het Productschap tuinbouw in het kader van het onderzoeksprogramma Kas Als Energiebron. Daarnaast heeft het DIT-fonds van de Rabobank Midden-Westland een belangrijke financiële bijdrage geleverd en hebben de participanten van de Stichting Innovatie Nederlandse Tuinbouwtechniek (SINT) het project financieel ondersteund. Naast deze financiële bijdrage is de inzet van het tomatenbedrijf Lans onmisbaar geweest voor de uitvoering van dit project. Ook is een woord van dank op zijn plaats voor de inzet van Priva, ArendSosef en de Bom group voor de bereidwillige ondersteuning die zij hebben gegeven bij het oplossen van problemen die zich vooral in het begin van het experiment voordeden.

De auteurs zijn dankbaar voor de mogelijkheden die hiermee geschapen zijn om inzicht en ervaring te kunnen verkrijgen in twee ontvochtigingstechnieken en het perspectief daarvan via dit rapport te kunnen verspreiden binnen de sector.

Samenvatting

De ontwikkeling van de (semi)gesloten kas die in de afgelopen 10 jaar heeft plaatsgevonden heeft laten zien dat het mogelijk is om kassen met inzet van overtollige warmte uit de zomer voor een belangrijk deel met duurzame energie te verwarmen een besparing van zo'n 30% is goed mogelijk. Toch heeft de techniek niet doorgezet, behalve bij de gewasgroepen waar echt gekoeld moet worden, zoals phalaenopsis en freesia. Tuinders geven als reden hiervoor de hoge kostprijs van een semigesloten kas en het feit dat er in de oudere varianten van het gesloten kas concept altijd sprake was van een gesloten, en een niet gesloten fractie. Daarom waren er steeds twee teeltstrategieën nodig, wat als onwenselijk werd bestempeld.

Een groep tuinbouwtoeleveranciers, verenigd in de "Stichting Innovatie Nederlandse Tuinbouwtechnologie" (SINT) is daarom samen met Wageningen UR Glastuinbouw aan de slag gegaan met de formulering van de Next Generation Semigesloten Kas. Uiteraard moest dit concept een oplossing bieden aan de twee hoofd-problemen van de eerste generaties (semi) gesloten kassen. Dit heeft invulling gekregen door uit te gaan van een installatie met een kleine koelcapaciteit over het hele bedrijf.

In de ontwerpfase bleek dat het verkleinde koelvermogen het mogelijk maakt om de installatie vooral als ontvochtigingsinstallatie te gebruiken; een ontwikkelingspad dat in de vorige generaties (semi) gesloten verlaten was vanwege de mismatch tussen capaciteit voor koeling en capaciteit voor ontvochtiging. De Next Generation Semigesloten Kas richt zich dan ook vooral op het gesloten houden van de kas in de winter, in plaats van het sluiten van de kas in de zomer. Het koelvermogen in de Next Generation Semigesloten Kas ligt rond de 50 W/m².

Om dit concept te beproeven is een innovatieve tuinder bereid gevonden om een deel van zijn kas als Next Generation Semigesloten Kas in te richten. De klimaatregeling van dat gedeelte is (grotendeels) ontkoppeld van de rest van het bedrijf zodat er gedurende anderhalf jaar gemeten kon worden aan het kasklimaat en de werking van de installatie.

Uit deze meetperiode is een jaarrondperiode van oktober 2012 t/m september 2013 als basis voor de analyse van het potentieel genomen. In deze periode heeft de installatie niet altijd op de beoogde wijze kunnen werken, maar er waren verschillende aaneengesloten weken in deze periode waar alles volgens plan verliep. Hierdoor kon er toch een goede karakterisering van de werking van de installatie gemaakt worden.

Met de kennis over de werking, de mogelijkheden en de onmogelijkheden van de luchtbehandelingskast die het hart vormt van het Next Generation Semigesloten Kas systeem kon worden berekend hoe de invulling van de warmtevraag van de kas door toedoen van dit gesloten kas concept kon worden verduurzaamd.

De berekeningen laten zien dat de warmtevraag van 40 m³ aardgas per m² per jaar (Slochteren kwaliteit) vanwege de inzet van de warmtepomp kon worden teruggebracht naar 30 m³/(m² jaar). Deze 10 m³/(m² jaar) energiebesparing is vergelijkbaar met de prestaties van eerdere generaties (semi)gesloten kassen waarmee kan worden gesteld dat het voorliggend concept met recht de volgende generatie uitvoeringsvorm daarvan genoemd kan worden.

De kleine koelcapaciteit die toegepast is leidt tot een groot aantal equivalente vollast draaiuren. Alle componenten in het systeem worden dan ook intensief gebruikt, waardoor de kapitaalkosten voor die componenten afnemen.

De betreffende tuinder kon ook vrijwel direct met de installatie werken, zonder zich andere teeltstrategieën te hoeven aanleren. Ook het tweede doel van de Next Generation Semigesloten Kas is hiermee gerealiseerd.

De totale kosten voor warmtepomp, aquifer, koelers en een kleine WKK (vooral vanwege de CO₂) blijven echter aanzienlijk, zodat de berekening van de simpele terugverdientijd (investering/(jaarlijkse revenuen)) bij de huidige gasprijs van 30 cent per m³ op ruim 7½ jaar uitkomt.

Naast het onderzoek aan het Next Generation Semigesloten Kas concept is ook een alternatieve technologie waarmee de kas in de winter zoveel mogelijk gesloten gehouden kan worden bestudeerd. Dit is een systeem gebaseerd op hygroscopische ontvochtiging, waarvan Lans tomaten al in 2012 een prototype in één van hun kasafdelingen had gebouwd. Bij hygroscopische ontvochtiging wordt de kaslucht gedroogd door deze in contact te brengen met een hygroscopische zoutoplossing, in dit geval CaCl₂. Hiervoor wordt lucht langs een oppervlak geleid, waarbij dit oppervlak continu bevochtigd wordt met de hygroscopische vloeistof. Bij Lans gebeurt dit door een pad&fan systeem, wat in dit geval de lucht niet koelt en bevochtigt, maar juist ontvochtigt en verwarmt.

Dit systeem was in 2012 al bestudeerd, waarbij geconcludeerd werd dat de installatie niet aan de verwachtingen voldeed. In het kader van voorliggend project is opnieuw naar de installatie gekeken om de problemen nauwkeuriger vast te kunnen stellen. Hieruit bleek dat de als tegenvallend beschreven resultaten uit de proeven van 2012 niet zozeer veroorzaakt werden door een slechte prestatie, maar vooral door de onrealistisch hoge verwachtingen die eraan gesteld waren. Het lag in ieder geval niet aan de eenvoudige uitvoeringsvorm waarmee het hygroscoopisch ontvochtigingssysteem was aangelegd, want dit bleek toch een behoorlijk goede vocht- en warmte-uitwisseling op te leveren. Alternatieve pad-materialen, waarvan betere overdrachtseigenschappen werden verwacht, bleken geen verbetering op te leveren. Er kwam wel duidelijk naar voren dat het van groot belang is om de hygroscoopische vloeistof te kunnen koelen. Het daarvoor benodigde koelvermogen (50 kW wanneer de 1000 m² waar het systeem is aangelegd met de beoogde capaciteit ontvochtigd zou worden) was in deze opstelling onvoldoende aanwezig. Wanneer de vloeistof onvoldoende gekoeld kan worden loopt de ontvochtigingscapaciteit sterk terug.

Indien de hygroscoopische vloeistof wél naar lagere temperaturen (orde grootte 10 tot 15 °C) gekoeld wordt lever het hygroscoopische ontvochtiging via het eenvoudige systeem waarmee Lans geëxperimenteerd heeft bij een luchtcirculatie debiet van 10 m³/ (m² uur) een prima passende capaciteit voor de ontvochtiging van een niet belichte groententeelt. Daarmee is deze vorm van ontvochtiging een serieus alternatief voor ontvochtiging en energieverzameling met een koelblok, zoals in de Next Generation Semigesloten Kas. Voor teelten waar lagere temperaturen of lager luchtvochtigheden worden nagestreefd is hygroscoopische ontvochtiging zelfs de enige reële mogelijkheid om enige ontvochtiging van betekenis te kunnen realiseren. Het energiebesparingspotentieel van hygroscoopische ontvochtiging is voor een teelt zoals de onbelichte tomatenteelt bij Lans 11 of misschien 12 m³ aardgas equivalenten per m² per jaar ten opzichte van de daar nu geldende referentie. De energiebesparing is daarmee iets groter dan dat van de Next Generation Semigesloten Kas.

Qua kosten zullen bij hygroscoopische ontvochtiging de kosten voor de warmtepomp en de luchtbehandelingskast lager zijn dan die bij de Next Generation Semigesloten Kas, maar komt er een extra apparaat bij die de zoutconcentratie van de hygroscoopische vloeistof op peil moet houden. Het zal van de kosten van deze regenerator afhangen of de hygroscoopische ontvochtiger ondanks het grotere besparingspotentieel aantrekkelijk zal worden als middel om de duurzaamheid van de invulling van de verwarming in Nederlandse kassen te verbeteren.

Summary

The development of the (semi) closed greenhouse that has occurred in the past 10 years has shown that it is possible to save around 30% on primary for greenhouse heating by harvesting energy from the excess in summer to be used, after storage in an aquifer system, by a heat pump in winter.

However, the technique has not become widespread, except for crop which really have to be cooled like phalaenopsis and freesia. Questionnaires among growers showed that besides the high costs of the for a semi- closed greenhouse, the fact that the former generations of closed greenhouses always constituted of a closed and a non-closed was very disliked.

A group of horticultural suppliers, united in the "Foundation for Innovative Dutch Horticultural Technology" (SINT) has joined forces with Wageningen UR Greenhouse Horticulture and started to work on a concept for the Next Generation Semiclosed greenhouse. Of course, this concept was to provide a solution to the two mentioned main problems of the first generation (semi) closed greenhouses. This implies a system with a small cooling capacity (order of magnitude of 50 W/m²) to be installed in the entire company.

In the design phase, it was found that the reduced cooling capacity enables to use the cooling system as primarily as a dehumidifier, a functionality left out of practice in the previous generations of closed greenhouses due to the mismatch between capacity for cooling and dehumidification capacity. Due to the possibility of dehumidification, the Next Generation Semi Closed Greenhouse focuses on keeping the greenhouse closed in winter, instead of closing the greenhouse in summer.

To test this concept an innovative grower was found to participate. A 3680 m² section of his greenhouse was converted according to the Next Generation Semi- closed greenhouse concept. The climate in this section of the greenhouse could be controlled independently from the rest of the greenhouse and measurements were carried out for one and a half year. From this measurement period a year-round period from October 2012 till September 2013 was used as a basis for the analysis of the potential. During this period, the system had not always worked as intended, but there were also longer periods of consecutive weeks where everything worked according to plan. Thus, a good characterization of the operation of the installation could be made.

With the experience of the operation, the characteristics of the air treatment unit that forms the heart of the Next Generation Semi- closed greenhouse system could be obtained and calculations could be made on how such a system would work when fully implemented.

The calculations show that due to the use of a heat pump, the heat demand of 40 m³ of natural gas per m² per year (Slochteren quality) could be reduced to 30 m³/(m² year). These 10 m³/(m² year) of energy saving is comparable to the performance of previous generations (semi) closed greenhouses. Therefore it was stated that the present concept is truly the successor of earlier implementations of (semi) closed greenhouses.

The small cooling capacity leads to a large number of equivalent full load operating hours. The other investments, such as the heat pump and the combined heat and power unit are also used extensively, which lowers the cost of capital for these components. In the experiment, it showed that the grower could almost directly work with the installation and did not had to apply a different cultivation strategy. This met the second goal of the Next Generation Semi- closed greenhouse, namely that it should be ready applicable.

However, the additional costs for the heat pump, aquifer, coolers and small CHP (mainly to provide CO₂) are still significant in comparison to the relevant reference. With the current gas price of 30 cents per cubic meter the simple payback time (which is the investment divided by the annual revenues) appeared to be around 7½ year.

In addition to research on the Next Generation Semi- closed greenhouse concept with a cooling surface, an alternative technology to keep the greenhouse closed in winter was studied, namely a system based on hygroscopic dehumidification. Already in 2012, Lans tomatoes (the grower where the experiments have been carried out) has built a prototype of such a system in a part of one of their greenhouse compartments. When using hygroscopic dehumidification, the greenhouse is dried by bringing the air in contact with a hygroscopic salt solution, in this case CaCl₂. In the system installed, air is led through a porous surface, which is continuously wetted with the hygroscopic fluid. The system looks like an ordinary pad & fan system, but in this case, after passing, the air is not cooled and moistened, but dehumidified and increased in temperature.

The prototype was studied in 2012 but the results didn't meet the expectations. As part of the current project this prototype hygroscopic dehumidification system was re-studied to address the problems more accurately. This second study showed that it were rather the expectations too high that caused the disappointing results than the performance of the prototype. The design as present turned out to be quite a good moisture and heat exchanger. Alternative pad materials, which were expected to improve the transfer characteristics, were found to give no improvement. The additional study also made clear that cooling the hygroscopic fluid is of major importance for a good dehumidification capacity. The required cooling capacity of around 50 W/m^2 (not accidentally the same as the cooling capacity of the Next Generation Semiclosed greenhouse) was insufficiently present in this prototype setup. Without sufficient cooling power, the dehumidification capacity of this hygroscopic dehumidification concept is declining dramatically.

If the hygroscopic fluid could have been cooled to temperatures around 10 to 15 °C, the simple system as built by Lans Tomatoes could have provided an excellent dehumidification capacity with an air flow rate of $10 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \text{ h})$. Thus, this way of dehumidification must be considered as a serious alternative for dehumidification and energy collection with a cooling surface like used in the Next Generation Semi- closed greenhouse. For crops grown at lower temperatures and/or lower humidities hygroscopic dehumidification is even the only real opportunity to achieve an energy conserving dehumidification system.

The energy saving potential of hygroscopic dehumidification for a crop like tomato crop like grown at Lans Tomatoes is show to be 11 to 12 m^3 of natural gas equivalents per m^2 per year.

Thus the energy saving potential of hygroscopic dehumidification is slightly larger than that of the Next Generation Semi-closed greenhouse.

In terms of costs, the costs for the heat pump and air conditioning unit are lower for the hygroscopic dehumidification system than in the Next Generation Semi- closed greenhouse, but there will be an additional device for the regeneration of the hygroscopic fluid. It will depend on the cost of this regenerator whether or not a hygroscopic dehumidification system will become economically more viable than other means of reducing the energy consumption of greenhouses in the Netherlands.

1 Inleiding

Er is nu zo'n 10 jaar ervaring met allerlei uitvoeringsvormen van gesloten kassen. Het idee achter de gesloten kas is gebaseerd op het feit dat er in de zomer ruimschoots voldoende warmte is dat nu als overschot wordt weggeventileerd dan dat er in de winter nodig is voor de verwarming van de kas. Oogsten van die warmte in de zomer, opslag van die energie in een seizoensbuffer en het gebruik ervan voor de voeding van een warmtepomp in de winter, biedt dan ook de mogelijkheid om de kas substantieel met duurzame energie te verwarmen.

Ofschoon het concept eenvoudig is blijken er aan de technische invulling van dit idee allerlei technische en teelttechnische problemen te kleven. Hierdoor is het concept na een onstuimige start met een tiental bedrijven die in drie jaar tijd met gesloten kassen begonnen in de periode daarna niet meer doorontwikkeld. Alleen in teelten met een duidelijke koelbehoefte worden afgeleide vormen van dit systeem nog regelmatig gebouwd. In hoofdstuk 2 wordt een analyse van deze ontwikkeling gegeven, als aanloop naar het concept dat in dit rapport onder de naam Next Generation Semigesloten Kas wordt besproken. De essentie van dit nieuwe concept wordt in hoofdstuk 3 behandeld. De Next Generation Semigesloten Kas betekent kort samengevat dat gezocht is naar een systeem dat over het hele bedrijf hetzelfde is en dat uitgaat van een hoge benuttingsgraad van een koelinstallatie met een kleine capaciteit. Dit in tegenstelling tot de traditionele gesloten kas waar grote koelvermogens op een klein deel van het kascomplex werden geïnstalleerd die weinig uren op volle capaciteit werkten.

Dit nieuwe concept is beproefd op een afdeling van 3680 m² op het bedrijf van Lans Tomaten in Rilland, Zeeland. Deze kleine kasafdeling kon los van de andere afdelingen worden geregeld en de metingen laten zien dat er een grote vermindering van het primaire energieverbruik kan worden gerealiseerd. Deze vermindering komt voor een deel uit de vermindering van het gebruik van de minimumbuis en voor het grootste deel uit het feit dat de verwarming door het Next Generation Semigesloten kasconcept voor een substantieel deel door duurzame energie kon worden ingevuld. Dit tweede en grootste deel van de besparing vormt de kern van het next Generation Systeem. In hoofdstuk 4 wordt uitgebreid ingegaan op de uitvoering en resultaten van dit praktijkexperiment en in hoofdstuk 5 wordt kort op de economische implicaties daarvan ingegaan.

Behalve ontvochtiging op een koud oppervlak kan lucht ook ontvochtigd worden met hygroscoopische vloeistoffen. Ook hierbij kan voelbare en latente warmte worden verzameld voor benutting door een warmtepomp. In 2012 is hier, ook op het bedrijf van Lans, verkennend onderzoek naar gedaan. De conclusies uit dat onderzoek gaven aan dat er nog veel aan het systeem verbeterd zou moeten worden eer het als praktijkrijp zou kunnen worden aangemerkt. Omdat hygroscoopisch ontvochtigen de direct concurrerende techniek voor het Next Generation concept vormt is binnen het kader van het voorliggend project ook gekeken naar die verbeteringsmogelijkheden. De analyse van de installatie voor droging met behulp van zouten en de conclusies ten aanzien van het perspectief daarvan worden besproken in hoofdstuk 6.

Hoofdstuk 7 behandelt tenslotte de algemene conclusies die uit dit praktijkexperiment getrokken kunnen worden.

2 Van First, naar Next Generation Semigesloten Kas

2.1 Inleiding

Er is nu zo'n 10 jaar ervaring met allerlei uitvoeringsvormen van gesloten kassen. De mogelijkheden en beperkingen van dit soort kassen zijn verkend en er kan geconstateerd worden dat de doorbraak die hier rond 2005 algemeen van verwacht werd niet heeft plaatsgevonden. De analyse die toeleveranciers onder tuinders en andere betrokkenen hierover gemaakt heeft laat zien dat de kostprijs te hoog is tegen de achtergrond van de nu gangbare energieprijzen. Ook het feit dat er in dit concept met twee verschillende teeltstrategieën moest worden gewerkt, één voor de gesloten en één voor de niet-gesloten fractie, werd als belangrijk nadeel genoemd. Om beide redenen is dit transitiepad naar een hogere benutting van duurzame energie vrijwel stil komen te staan. Uitzondering hierop is de teelt van *Phalaenopsis*, waar een duidelijke koudebehoefte speelt en waar de koelinstallatie gekoppeld is aan een specifiek teeltstadium.

Dit hoofdstuk beschrijft de geschiedenis van de (semi-)gesloten kassen, de omgeving waarin deze systemen moeten functioneren en de redenering achter de Next Generation Semigesloten Kas.

2.2 Eerste generatie gesloten kassen

De eerste gesloten kas(afdelingen) waren zoveel mogelijk dicht om zo min mogelijk warmte te verliezen. De gesloten kas(afdeling) functioneerde daarbij als zonne-energie oogster. In het gesloten gedeelte van zo'n kas kan gemakkelijk een hoge CO₂-concentratie worden gerealiseerd en daarmee ook een hogere productie. De volledig gesloten kasafdeling geeft echter een groot warmte-overschot zodat er een drie tot vier keer zo grote standaard 'open' kasafdeling nodig is om al de warmte die verzameld werd weer te gebruiken. De aquifer die in de zomer opgewarmd is moet immers weer koud gemaakt worden om in de volgende zomer weer voldoende koelvermogen te kunnen leveren. Zonder zo'n niet gesloten afdeling moet het warmteoverschot van de gesloten kas direct, of later in de winter, worden weggekoeld. Dit kost extra stroom en reduceert de energiebesparing.

De belangrijkste drijfveer voor tuinders die met gesloten kassen gingen werken was de toename van de productie, hoewel de energiebesparing die gerealiseerd kon worden ook een belangrijke pijler onder het concept vormde. Die productiestijging wordt echter alleen in het gesloten deel behaald en dat is, zoals gezegd, slechts een beperkt deel van het bedrijf. Een grote warmteproductie uit de gesloten is dan dus een nadeel. De gemakkelijkste manier om die warmteproductie te verlagen zonder in te leveren op het productie-effect was het afstappen van mechanische ontvochtiging¹. Mechanische ontvochtiging was regeltechnisch niet gemakkelijk in de hand te houden en als er toch al een warmte-overschot is ligt het voor de hand om niet langer moeite te doen om de kas in de winter en het voorjaar gesloten te houden. In die periode van het jaar kunnen kleine kiertjes lucht immers al voldoende vocht afvoeren. Hiermee werd het gesloten kasconcept in feite een semigesloten kasconcept, maar bleef de kas uitgerust met een groot koelvermogen.

In de vervolgentwikkelingen werd er behalve het loslaten van het sluiten van de kas in de winter ook steeds minder vastgehouden aan het sluiten van de kas in de zomer. Koelvermogen is duur, zodat een koelcapaciteit waarmee de kas bij volle instraling in de zomer dicht kan blijven kostbaar is. Bovendien is juist in de zomer de waarde van het product gemiddeld laag, dus het bleek economisch gunstiger om bewust een kleinere capaciteit te plaatsen en bij volle zonbelasting te accepteren dat de kas niet langer gesloten is. Natuurlijk kan dan op die momenten niet langer de CO₂-concentratie hoog gehouden worden, maar de derving aan inkomsten uit de productie is kleiner dan de besparingen op installatiekosten.

1 Met mechanische ontvochtiging wordt in dit document de ontvochtiging van de kaslucht bedoeld door de lucht eerst langs een koude warmtewisselaar te leiden en dan weer na te verwarmen.

De semigesloten kas kreeg door deze ontwikkeling dus een veel kleiner koelvermogen (100 tot 200 W/m²). De economische prestatie was hiermee ook niet meer gebaseerd op het realiseren van een grote productietoename, maar vooral op verlaging van het gasverbruik en op verbetering van de productkwaliteit. Dit kwaliteitsaspect wordt gerealiseerd door op 'moeilijke momenten' (warme nachten in het najaar, aftoppen van hete perioden) het klimaat nét een beetje te helpen met kleine koelvermogens en luchtcirculatiecapaciteiten.

2.3 Buitenluchtaanzuiging

Op dezelfde innovatie-golf als waarin semi-gesloten kassen werden ontwikkeld kwam het gebruik van buitenluchtaanzuiging in beeld. Kassen werden altijd al ontvochtigd met buitenlucht, maar tuinders en onderzoekers zijn zich op grond van de ervaringen in de semi-gesloten kassen goed bewust geworden van de positieve effecten van een heel nauwkeurige en gerichte ontvochtiging met actief ingeblazen buitenlucht. In verschillende proeven en bij praktijktuinders bleek dat bij gebruik van buitenluchtaanzuiging het schermgebruik flink kan worden verhoogd. Daardoor, maar ook door het goed gedistribueerde inblazen van de buitenlucht wordt een homogeen kasklimaat verkregen waardoor er met een acceptabel risico een hogere luchtvochtigheid kan worden aangehouden. Intensivering van het schermgebruik en een betere beheersing van het klimaat kunnen tot forse energiebesparing leiden. Het samenspel van buitenluchtaanzuiging, intensiever schermgebruik en het bewust omgaan met het klimaat ten dienste van de plant wordt vaak aangeduid met de term 'Het Nieuwe Telen'. Voor veel potplantengewassen hoort ook het gebruik van verneveling en het verminderd gebruik van schaduwschermen bij deze nieuwe teeltbenadering.

2.4 De rol van WKK

In de jaren waarin Het Nieuwe Telen tot ontwikkeling kwam vond er ook een grote verandering plaats in de rol de WKK. Waar in de periode van 2004 tot 2007, maar vooral in 2008 grote marges konden worden behaald met de handel in elektriciteit is over de laatste 5 jaar de handelswaarde van stroom op de dagmarkt sterk verlaagd. Onderstaande grafiek toont het verloop van de sparkspread zoals die door het vakblad voor de bloemisterij wordt weergegeven.



Figuur 2.1. Het verloop van de sparkspread zoals gerapporteerd door het vakblad van de bloemisterij over de afgelopen 7 jaar.

De sparkspread is de marge die wordt behaald tussen de verkoop-waarde van de stroom en de inkoopwaarde van gas, rekening houdend met de waarde van de restwarmte uit de WKK voor de verwarming. Met deze marge moeten de kapitaalkosten en het onderhoud van de machine worden gefinancierd.

De voortschrijdende integratie van Europese elektriciteitsnetten, de kabelverbindingen met Engeland en Noorwegen en de ruime productiecapaciteit maken dat het onwaarschijnlijk is dat de sparkspread weer op het oude niveau zal terugkeren.

De tijd dat warmte voor de tuinbouw vaak bijna gratis was (omdat de gaskosten al ruimschoots gecompenseerd werden door de elektriciteitsverkoop) is daarmee voorbij. Een WKK-installatie is voor de tuinbouw dan ook alleen interessant in geval er een duidelijke eigen elektriciteitsvraag is, de machineveeldraaiuren kan maken en als de warmte voor 100% nuttig kan worden ingezet. Gegeven het feit dat een moderne groentekas met een moderne teeltwijze gedurende een groot deel van het jaar niet meer dan 0.2 m³ aardgas equivalenten aan warmte per m² per week nodig heeft betekent dat de WKK-capaciteiten waarmee voor de toekomst gerekend moet worden rond de 150 kWe per ha zullen liggen.

2.5 De Next Generation Semigesloten Kas

Doordat WKK minder belangrijk is geworden is de effectieve prijs van warmte op niet belichtende bedrijven in de afgelopen jaren gestaag gestegen en hebben bedrijven dus meer belang bij een verlaging van de warmtevraag. De stappen 1 t/m 5 van Het Nieuwe Telen kunnen hiervoor worden ingezet en impliceren dat een toekomstige onbelichte groententeelt:

- o een ketel gebruikt voor de verwarming, eventueel ondersteund met een kleine WKK-installatie
- o buitenluchtaanzuiging gebruikt voor de ontvochtiging, in de regel zonder warmteterugwinning;
- o teelt zonder minimumbuis temperatuur en zonder minimumraamstand;
- o hoge luchtvochtigheden aanhoudt, tussen 85 en 90%;
- o is uitgerust met twee schermen (twee beweegbaar of een transparant scherm en een permanent folie).

Wanneer zo'n kas wordt gebruikt voor de teelt van tomaat ligt het warmteverbruik rond de 30 m³/(m² jaar) en gebruiken de ventilatoren 7 kWh per m² per jaar voor de buitenluchtaanzuiging.

Een eerste generatie semigesloten kas zou dit energieverbruik kunnen terugbrengen naar 20 m³ per m² per jaar door te verwarmen met een warmtepomp waarvan de verdamper gevoed wordt vanuit een aquifer die in de voorafgaande zomer is opgewarmd. Die opwarming heeft dan plaatsgevonden door een deel van het bedrijf in de zomer gesloten te houden. Voor de Next Generation Semigesloten Kas geldt de ambitie dat deze zelfde energiebesparing wordt gerealiseerd middels een goedkoper systeem wat ook over het hele bedrijf gelijk is. De invulling van deze ambitie is gezocht in een zodanige verbouwing van de luchtbehandelingskast dat de ontvochtiging niet langer plaatsvindt door het inblazen van buitenlucht, maar door het ontvochtigen van de lucht op een koelblok. In feite grijpt de Next Generation semigesloten kas daarmee weer terug op de eerste ontwerpen van gesloten kassen waar de kas in de winter zoveel mogelijk dicht werd gehouden. Het aanvankelijke bezwaar van de moeilijke regelbaarheid van de mechanische ontvochtiging speelt in de Next Generation semigesloten kas nauwelijks een rol omdat de geïnstalleerde koelcapaciteiten veel kleiner zijn. Dit maakt een rustige regeling eenvoudig en doeltreffend.

Doordat de Next Generation Semigesloten Kas juist in de winter gesloten blijft neemt het warmteverlies af en is de uitkoeling van de aquifer in de winter minder. Dit heeft weer tot gevolg dat er in de zomer minder warmte hoeft te worden verzameld om het warmte/koude opslagsysteem aan te vullen en dat leidt tot een verkleining van de benodigde capaciteit. Het kernpunt van de Next Generation semigesloten kas is dus dat de mechanische ontvochtiging terug is weggeweest, maar in een veel beter beheersbare vorm. Praktisch gesproken betekent het dat luchtbehandelingskasten, zoals die nu ook gebruikt worden voor buitenluchtaanzuiging, voorzien moeten worden van twee in plaats van één warmtewisselaarblok en dat deze luchtbehandelingskasten moeten kunnen kiezen uit het rondblazen van binnenlucht of het inblazen van buitenlucht. Daarnaast moet de luchtcirculatiecapaciteit van de luchtbehandelingskasten wat hoger zijn dan gebruikelijk bij buitenluchtaanzuigsystemen, namelijk 10 m³/(m² uur). Dit is echter nog steeds drie tot vier keer zo laag als de circulatiecapaciteiten in de eerste gesloten kas experimenten werden gebruikt dus de toe te passen slangdiameters blijven beperkt tot zo'n 40 cm. en hoeven ook niet onder iedere goot te worden geplaatst.

Verder heeft een Next Generation Semigesloten Kas een warmtepomp, een kleine WKK en een ruim bemeten etmaalbuffer voor koude. De Next Generation Semigesloten kas kan met en zonder aquifer worden toegepast, waarbij de optie met aquifer natuurlijk tot een grotere energiebesparing leidt dan de optie zonder aquifer.

3 Ontwerp van de installatieonderdelen

In de Next Generation Semigesloten Kas wordt gestreefd naar een zoveel mogelijk gesloten energiekringloop rond de verdamping van de plant. Verdamping is essentieel voor gewasgroei omdat met het vochttransport nutriënten vanuit het wortelmilieu naar de bovengrondse delen worden getransporteerd zodat de plant kan groeien en vruchten kan maken.

Bij de verdamping onttrekken de verdampende delen warmte aan de kaslucht of gebruiken ze energie uit het zonlicht. Verreweg het grootste deel van de verdampingsenergie komt uit het zonlicht. Simulatieberekeningen aan een energiezuinig geteeld tomatengewas laten zien dat van de ongeveer 750 liter die de plant jaarlijks per m² verdampt er 630 worden verdampt in perioden zonder verwarming en 120 liter tijdens perioden met verwarming.

Het vocht dat uit die 120 liter verdamping per m² per jaar ontstaat verdwijnt deels uit de kas door lek, deels door condensatie en moet voor het overige gedeelte via ventilatie worden afgevoerd. Modelberekeningen geven aan dat de afvoer via ventilatie 90 liter per m² per jaar betreft. Wanneer we veronderstellen dat dit in 4500 uur plaatsvindt, dan betekent dit een gemiddelde ontvochtigingsbehoefte van 20 gram/(m² uur).

Deze 20 gram per m² per uur ontvochtigingscapaciteit is daarom als ontwerprichtlijn gehanteerd.

Aangenomen dat er wordt gestreefd naar een maximale luchtvochtigheid van 85% dan heeft kaslucht van 18 °C een absolute luchtvochtigheid van 13.2 gram/m³. Een koeler met een gemiddelde koelertemperatuur van 9 °C (water van 7 °C in en water van ongeveer 11 °C uit) kan de vochtinhoud van die lucht terugbrengen naar ongeveer 11 gram/m³ zodat voor een ontvochtigingscapaciteit van 20 gram/m² uur een luchtcirculatie-debiet van 10 m³ per m² per uur nodig is. Wanneer deze 10 m³/(m² uur) via slurven in een pad van 100 meter moet worden verdeeld en als wordt uitgegaan van één slurf per 4 meter kap is het luchtdebiet aan het begin van de slurf 4000 m³/uur en komt de stroomsnelheid aan het begin van de slurf bij een slurfdiameter van 400 mm op 8.8 m/s. Deze snelheid is hoog, maar nog net acceptabel.

Ten behoeve van het experiment aan het Next Generation Semigesloten Kas concept op een kasoppervlak van 3680 m² is er een luchtbehandelingssysteem gemaakt dat de benodigde 36800 m³ per uur kan ontvochtigen door kaslucht vanuit de hoek van de kas aan te zuigen, door een koelblok te trekken, daarna te verwarmen en tenslotte via 8 slurven in de 8 kappen van de Next Generation afdeling te distribueren. Het feit dat er in dit experiment gebruik is gemaakt van één centrale luchtbehandelingsunit heeft te maken met de praktische beperkingen van de installatie van meerdere decentrale units in een bestaande kas. In een definitief ontwerp zal hier waarschijnlijk gekozen worden voor één luchtbehandelingsunit per slurf of één unit per twee slurven.

Onderstaande foto's tonen enkele onderdelen van de installatie.



Figuur 3.1. Het experimentele luchtbehandelingssysteem is in een container naast de kas gebouwd. De lucht wordt via één punt aangezogen.



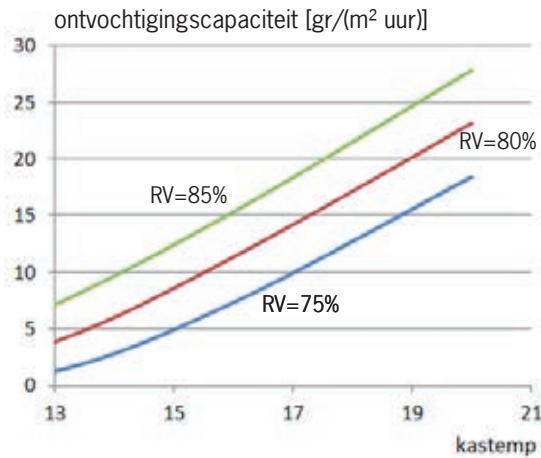
Figuur 3.2. De gedroogde lucht wordt onder de kasvoet door aangevoerd naar de slurven.



Figuur 3.3. Er zijn twee slurven per 8 meter tralie onder de hangende goot geplaatst. Omdat er 5 goten per tralie hangen is de verdeling niet helemaal evenredig.

In de luchtbehandelingskast is een groot koelblok geplaatst. Dit koelblok beslaat bijna 4 m² en heeft dus omgerekend een oppervlak van 0.5 m² per slurf. Het koelblok heeft een dikte van 40 cm.

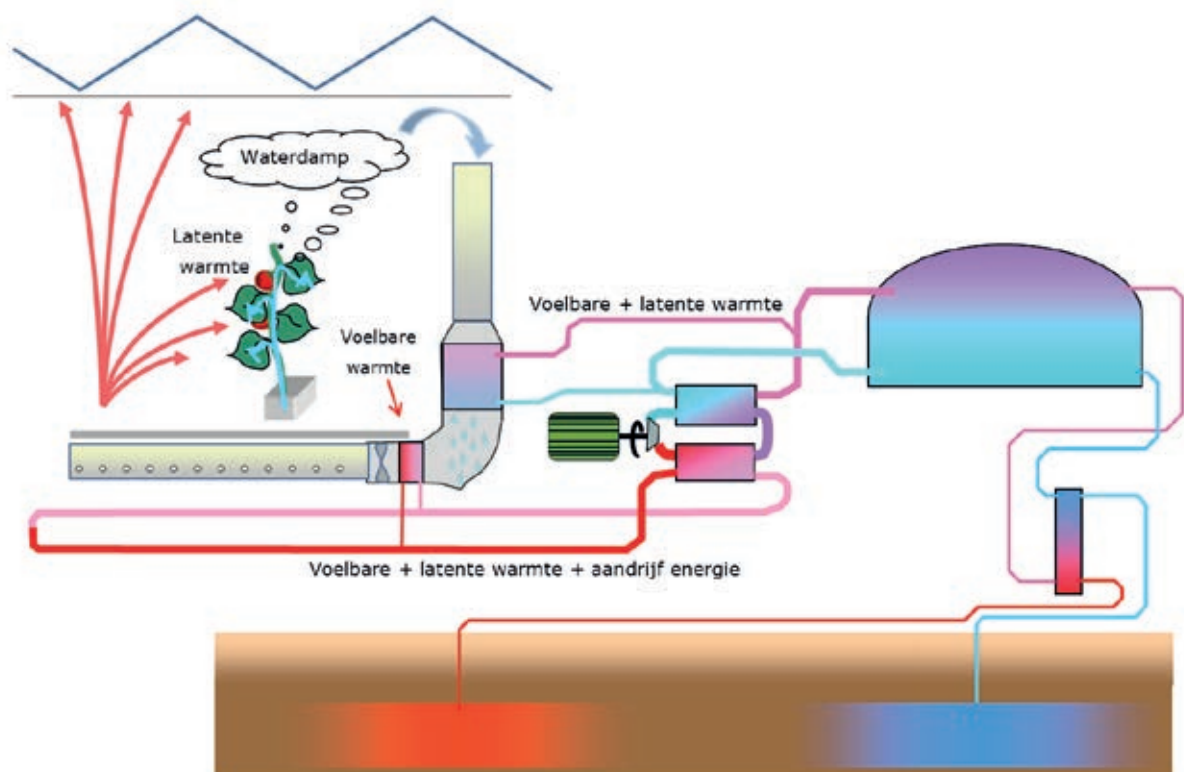
Van koelers is het bekend dat de ontvochtigingsprestatie sterk afhangt van de temperatuur en luchtvochtigheid. Onderstaande Figuur toont dit verband die berekend zijn uit de specificaties van het koelblok.



Figuur 3.4. Relatie tussen kasluchtcondities en ontvochtigingscapaciteit van het koelblok op grond van de specificaties. De getoonde curves gelden bij een aanvoerwatertemperatuur van 6 °C, een waterdebiet van 50 m³/(ha uur) en een luchtdebiet van 10 m³/(m² uur).

Aangezien de ervaringen die bij de proeven rond Het Nieuwe Telen opgedaan zijn laten zien dat het goed mogelijk is om te telen bij luchtvochtigheden tussen de 85 en 90% en met de verwachting dat de teelttemperaturen in de winter tussen de 17 en 19 °C zouden liggen zijn de capaciteiten die met het geplaatste luchtbehandelingskast gerealiseerd zouden kunnen worden als voldoende bestempeld. De luchtbehandelingskast was voorzien van een mogelijkheid om buitenlucht bij te mengen voor het geval de ontvochtigingscapaciteit ontoereikend zou zijn.

Figuur 3.5. toont een schematisch overzicht van de componenten in het Next Generation Semigesloten Kas concept.



Figuur 3.5. In het Next Generation Semigesloten Kasconcept wordt tijdens het ontvochtigen voelbare en latente warmte aan de kaslucht onttrokken. De benodigde koude komt uit een koudwaterbuffer die koud gehouden wordt door een warmtepomp. De energie die bij het afkoelen van de koudwaterbuffer vrijkomt wordt benut voor de verwarming van de kas. In de uitvoering mét aquifer kan de koudwaterbuffer in de winter ook worden opgewarmd met warmte uit de aquifer in plaats van met warmte die aan het koelblok is onttrokken.

Net zoals het geval zou zijn geweest wanneer een Next Generation Semigesloten kas in een echte praktijksituatie zou worden gebouwd werd het koude blok in de proefopstelling bij Lans gevoed met koud water vanuit de koudwaterbuffertank van het tuinbouwbedrijf. In de winter, wanneer de warmtepomp van het bedrijf wordt ingezet om de aquifer te koelen en de kas te verwarmen is de watertemperatuur in deze buffer 6 °C. In de zomer komt de koude uit de aquifer en zit er water van 8 a 9 °C in deze koudwaterbuffer.

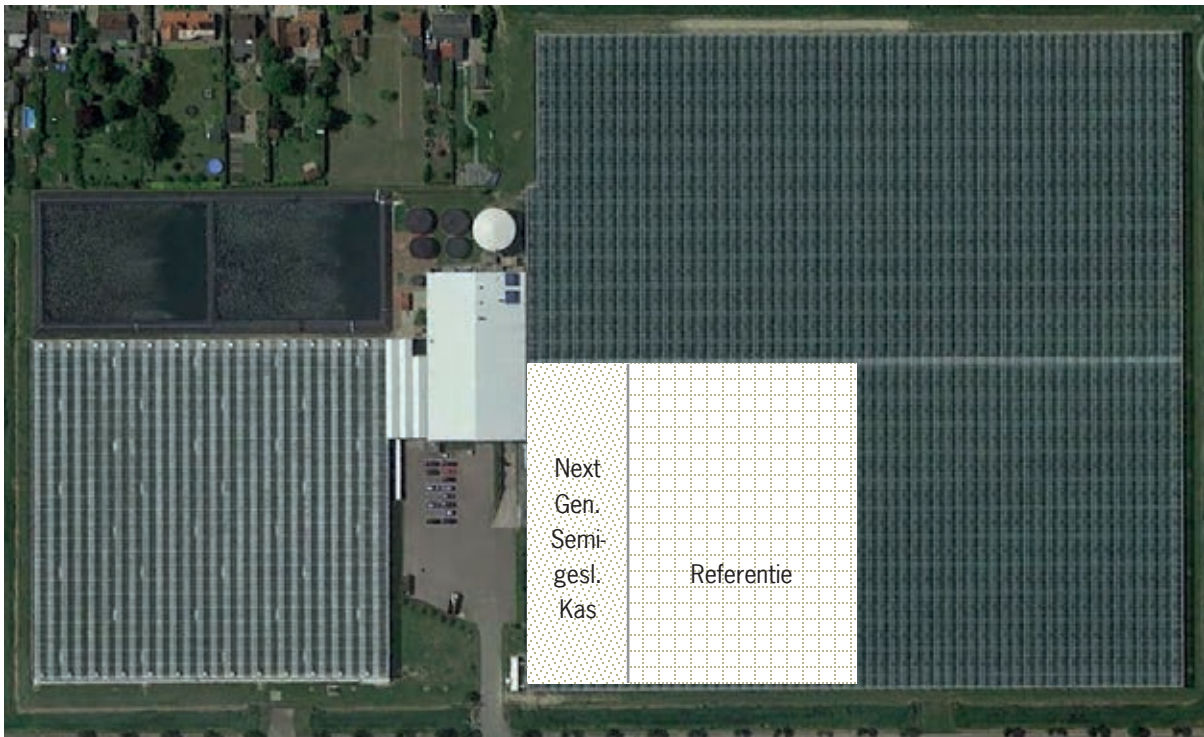
Achter het koelblok zit een verwarmingsblok die de gedroogde, maar koud geworden lucht weer op kasluchttemperatuur brengt. In de proefopstelling werd het verwarmingsblok gevoed met warmte uit het ketelhuis, waar de warmte wordt geproduceerd met de ketel en de WKK. In een full-scale Next Generation Semigesloten kas zal het de warmtepomp zijn die de benodigde warmte levert, omdat de ontvochtiging waarvoor het systeem wordt ingezet per definitie gepaard gaat aan een periode met warmtevraag. Is er geen warmtevraag dan wordt de kas immers verwarmd door eenvoudigweg de ramen open te zetten.

Watertemperaturen, luchtdebiet en het inschakelen van pompen is in het project geregeld door de Luchtbehandelingskastmodule van de Priva Computer. Deze module had alle daarvoor benodigde regelalgoritmes en zorgde voor een voldoende stabiele regeling.

4 Experimentele resultaten

4.1 Proefopzet

Ten behoeve van de analyse van het effect van de Next Generation Semigesloten Kas is op het tomatenbedrijf van de firma Lans in Rilland (Zeeland) een kasafdeling van 3680 m² afgescheiden van de rest van de kas. Het betreft een onbelichte kas met een goothoogte van 6 meter, hangende teeltgoten, een beweegbare scherminstallatie en een standaard verwarmingssysteem, hoewel de buisrailverwarming wat dunner is dan gebruikelijk (45 mm in plaats van 51 mm) en het groeinet wat dikker dan gebruikelijk (ook 45 mm in plaats van 28 of 32 mm).



Figuur 4.1. Bovenaanzicht van het bedrijf van Lans Tomaten waar de metingen hebben plaatsgevonden.

Het buisrailnet van de Next Generation Semigesloten Kas kan onafhankelijk van de rest van de kas geregeld worden, net als de luchtramen. Het schermstelsel, de CO₂-dosering en de groeibuis kunnen niet onafhankelijk van de rest van de kas worden geregeld.

Naast de kas is een luchtbehandelingskast geplaatst die de lucht in de hoek van de Next Generation Semigesloten Kas afzuigt, droogt en zondig verwarmt en daarna weer via een slurvensysteem gedistribueerd in de kas inblaast. In principe kan de luchtbehandelingskast ook buitenlucht bijmengen, maar van deze mogelijkheid is geen gebruik gemaakt.

De installatie is in de zomer van 2012 gereed gekomen en vanaf die tijd zijn er metingen beschikbaar ten aanzien van:

- o De kasluchttemperatuur en luchtvochtigheid in de NGSGK-afdeling en de referentie
- o Raamstanden voor loef en lij in de NGSGK-afdeling en de referentie
- o buistemperatuur (aanvoer en retour) in de NGSGK-afdeling en de referentie
- o cumulatieve verwarmingsenergie (met een resolutie van 1 GJ) naar de buisrail van de NGSGK
- o groeibuistemperatuur (aanvoer en retour), voor beide afdelingen gelijk
- o schermstand (voor beide afdelingen gelijk)
- o Frequentie van de luchtcirculatieventilator van de luchtbehandelingskast (deze wordt gebruikt voor de bepaling van het luchtcirculatiedebiet)
- o Temperatuur en luchtvochtigheid van de ingaande lucht naar de luchtbehandelingskast

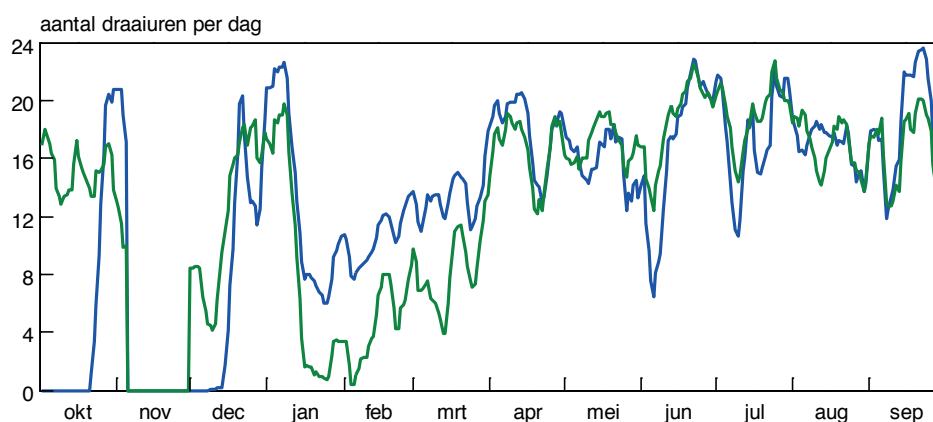
- o Aanvoer- en retourtemperatuur van het koelblok en de koelenergie (met een resolutie van 1 GJ)
- o Aanvoer- en retourtemperatuur van het verwarmingsblok en de verwarmingsenergie (met een resolutie van 1 GJ)
- o Temperatuur en luchtvochtigheid van de behandelde lucht (uitgangsconditie van de luchtbehandelingskast)
- o Voor een korte periode de exact gemeten hoeveelheid condensaat uit het koelblok (van 16 juli 2013 tot 10 september 2013)
- o De buitenomstandigheden qua licht en temperatuur

Deze data zijn door de Priva-computer verzameld en dagelijks automatisch doorgestuurd voor verdere verwerking. In de navolgende paragrafen wordt een analyse van deze meetdata gegeven.

4.2 Resultaten met betrekking tot het kasklimaat

In de zomer van 2012 was de installatie technisch klaar, maar door onduidelijkheden over het gebruik en tijdelijke problemen rond de koud water voorziening heeft de machine in die periode heel veel stil gestaan. Augustus en september 2012 zijn daarom niet in de beschouwingen opgenomen.

De analyse van de resultaten beslaat de periode van 1 oktober 2012 tot 1 oktober 2013. Onderstaande Figuur toont het werkelijke aantal draaiuren en het aantal draaiuren dat de installatie gedraaid zou hebben indien hij zou zijn ingeschakeld bij het criterium dat in de loop van het project als wenselijke gebruikswijze is geformuleerd, namelijk: ontvochtiging aan bij $RV > 83\%$ of $TKas > 25$ °C. Bij het tweede criterium, inschakelen bij $TKas > 25$, werkt de installatie als duurzame-energie oogster. In deze tweede gebruiksmodus werkt Next Generation Semigesloten kas een beetje vergelijkbaar met de eerste generatie semigesloten kassen waar vanuit het zomerse warmteoverschot energie werd verzameld ten behoeve van de winter.

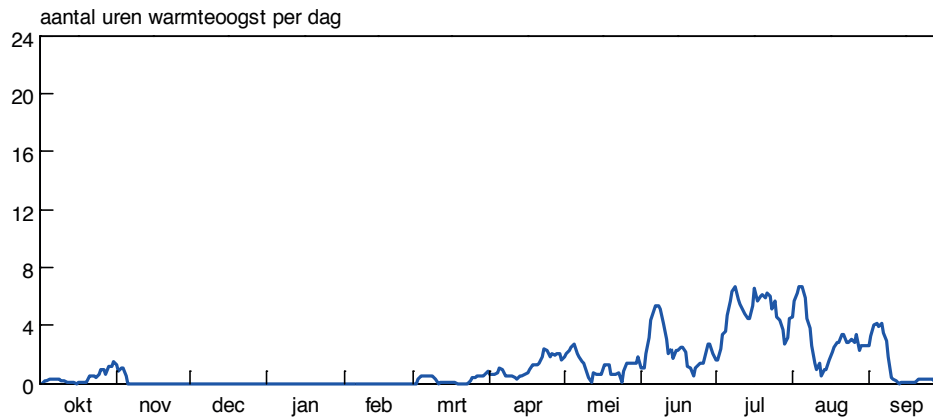


Figuur 4.2. Aantal draaiuren van het luchtcirculatiesysteem zoals gerealiseerd (blauw) en zoals dat zou zijn geweest als consequent dezelfde criteria zouden zijn gebruikt (aan bij $RV > 83$ of $TKas > 25$) (groen).

Figuur 4.2. laat zien dat het luchtcirculatiesysteem begin oktober niet heeft gedraaid, terwijl de installatie dat op grond van de inschakelcriteria wel had moeten doen. In deze periode was de koudwatervoorziening kapot en kon er dus niet gekoeld en ontvochtigd worden. Daarna is er een periode geweest waar de installatie meer gedraaid heeft dan bij de genoemde criteria zou zijn gebeurd, behalve gedurende de eerst twee weken van december. In die eerste twee weken van de nieuwe teelt (de nieuwe plant ging er 29 november in) was er nog geen foliescherm tussen de Next Generation Semigesloten Kas afdeling en de referentiekas. Het grotere aantal draaiuren dat de installatie van januari t/m maart heeft gemaakt komt doordat in die periode het luchtcirculatiesysteem al werd aangezet bij een RV van 80%.

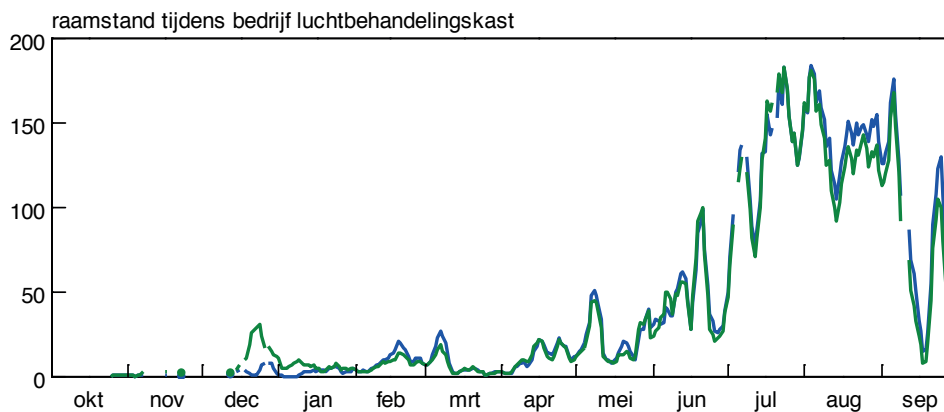
Vanaf april lopen de gerealiseerde en verwachte draaiuren goed met elkaar in de pas. Over het hele jaar heeft de installatie 4720 draaiuren gemaakt en zou de installatie 4730 draaiuren gemaakt hebben wanneer altijd hetzelfde criterium zou zijn aangehouden.

Het overgrote deel van de draaiuren vindt plaats ten behoeve van de ontvochtiging. Figuur 4.3. toont het aantal uren dat de kasluchttemperatuur 25 °C of hoger is, terwijl de luchtvochtigheid kleiner dan 83% was. Dit blijkt 480 uur te zijn, ofwel 10% van de tijd.



Figuur 4.3. Aantal draaiuren van het luchtcirculatiesysteem in warmte-oogst modus ($T_{kas} > 25$, maar de RV lager dan het ontvochtigingssetpoint). (Voor een betere leesbaarheid zijn de lijnen afgevlakt met een 5-daags voortschrijdend gemiddelde filter)

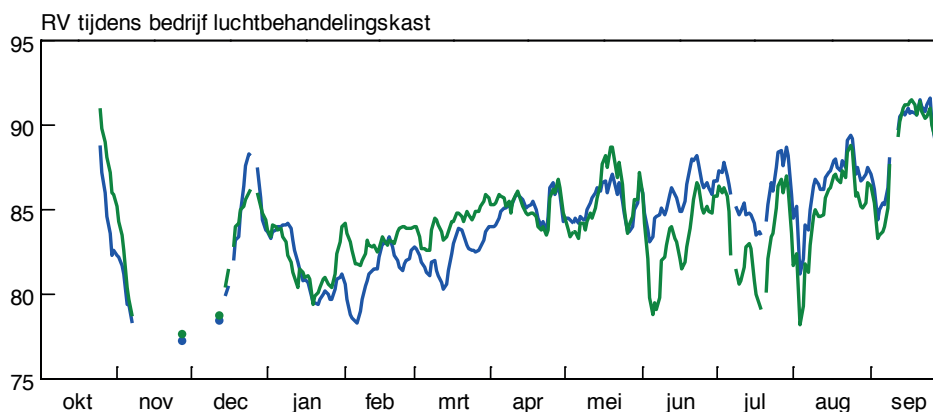
De verwachting van het gebruik van de Next Generation Semigesloten Kas was dat de ramen in de winter gesloten zouden kunnen blijven om daarmee het warmteverlies naar buiten te beperken. Onderstaande grafiek laat de gemiddelde raamstand zien op de momenten dat de luchtbehandelingskast in de Next Generation Semigesloten Kas in werking was, tezamen met de raamstanden die op datzelfde moment in de naastgelegen kas gemeten werd. De raamstand van de loef- en de lijzijde zijn hierbij bij elkaar opgeteld.



Figuur 4.4. Totale raamstand (loef+lij) in de Next Generation Semigesloten Kas tijdens bedrijf van de luchtbehandelingskast (blauwe lijn) en dezelfde grootte (raamstand) in de referentiekas (groene lijn). (Voor een betere leesbaarheid zijn de lijnen afgevlakt met een 5-daags voortschrijdend gemiddelde filter)

Uit deze Figuur kan gemakkelijk geconcludeerd worden dat het effect van de ontvochtiging op de raamstand zeer gering is geweest. Alleen in december en januari kon een duidelijk effect op de raamstand worden waargenomen. In de rest van het jaar was de raamstand tijdens gebruik van de installatie gelijk, of soms zelfs groter.

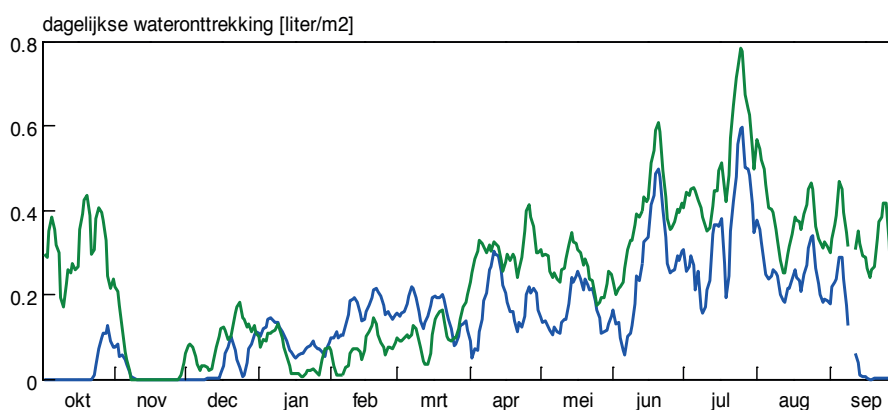
Waar de luchtbehandelingskast in december en januari vooral tot een kleinere raamopening leidde, zorgde deze in februari, maart en april vooral voor een lagere luchtvochtigheid in de kas. Dit is te zien in Figuur 4.5, waar de dagelijks gemiddelde RV tijdens de bedrijfsuren van de luchtbehandelingskast wordt getoond. Uit Figuur 4.2, kan worden afgelezen dat in deze periode de luchtbehandelingskast ongeveer de helft van de dag aan stond.



Figuur 4.5. RV in de Next Generation Semigesloten Kas tijdens bedrijf van de luchtbehandelingskast (blauwe lijn) en in de referentiekas (groene lijn). (Voor een betere leesbaarheid zijn de lijnen afgevlakt met een 5-daags voortschrijdend gemiddelde filter)

In juni, juli en augustus is de RV in de kas bij gebruik van de luchtbehandelingskast zelfs gemiddeld hoger dan in de referentiekas, ondanks de vochtonttrekking van 300 tot 400 cc per m² per dag (zie Figuur 4.6.) en ondanks de gelijke of soms zelfs grotere raamstand (zie Figuur 4.4.). Hiervoor is op dit moment geen duidelijke verklaring te geven. Mogelijk verdampte het gewas in de Next Generation afdeling wat meer of leverde de ramen bij een gelijke raamstand toch wat minder ventilatie in het Next Generation gedeelte van de kas. De kasluchttemperatuur in de Next Generation afdeling was op de momenten dat de luchtbehandelingskast in werking was gemiddeld 0.3 °C hoger dan in de referentieafdeling.

Figuur 4.6. toont naast de curve voor de wateronttrekking die in de actuele situatie heeft plaatsgevonden ook een lijn voor de wateronttrekking die de luchtbehandelingskast zou hebben laten zien wanneer deze gedraaid zou hebben bij een eenduidige instelling voor het gebruik en wanneer er geen problemen zouden zijn geweest met de aanvoerwatertemperatuur.

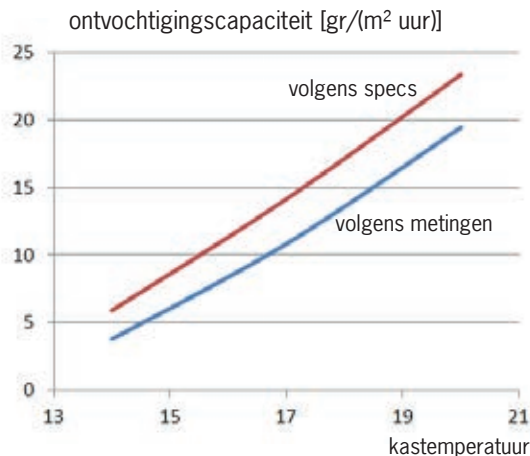


Figuur 4.6. Hoeveelheid ontvochtiging in de Next Generation Semigesloten Kas tijdens bedrijf van de luchtbehandelingskast in het afgelopen jaar (blauwe lijn) en indien de installatie het hele jaar zou hebben gewerkt zoals bedoeld. (Voor een betere leesbaarheid zijn de lijnen afgevlakt met een 5-daags voortschrijdend gemiddelde filter)

In grote lijnen heeft de installatie gewerkt zoals beoogd. Het grootste verschil tussen gerealiseerde werking en beoogde werking zit in de maand oktober. In deze periode is de installatie gewoon niet gebruikt omdat het het einde van de teeltperiode was en het belang van ontvochtiging voor het gewas klein is geworden. De installatie had hier echter veel draaiuren kunnen maken voor de verzameling van duurzame energie (zie par. 4.3). In januari, februari en maart heeft de installatie meer ontvochtigd dan verwacht. Dit komt omdat in die periode de koelwatertemperatuur vaak 6 of zelfs 5 °C was, terwijl de installatie is berekend op een watertemperatuur van 7 °C. Vanaf april is de omgekeerde situatie het geval.

Daar was de aanvoertemperatuur vaak hoger dan de beoogde 7 °C, waardoor er minder dan verwacht kon worden ontvochtigd. Begin september is de installatie uitgezet, maar had dagelijks nog zo'n 300 cc per m² kunnen ontvochtigen. De totale hoeveelheid water die de luchtbehandelingskast met een capaciteit zoals in deze proef is gebruikt had kunnen onttrekken is 85 liter per m² per jaar. De gerealiseerde ontvochtiging in de proef was 53 liter per m² per jaar.

Overigens was de capaciteit van het koelblok kleiner dan op grond van de specificaties van de leverancier kon worden verwacht. Onderstaande grafiek toont de gebleken capaciteit bij een koelwatertemperatuur van 7 °C en een luchtdebiet van 10 m³/(m² uur) in vergelijking met de verwachte capaciteit op grond van de specs.



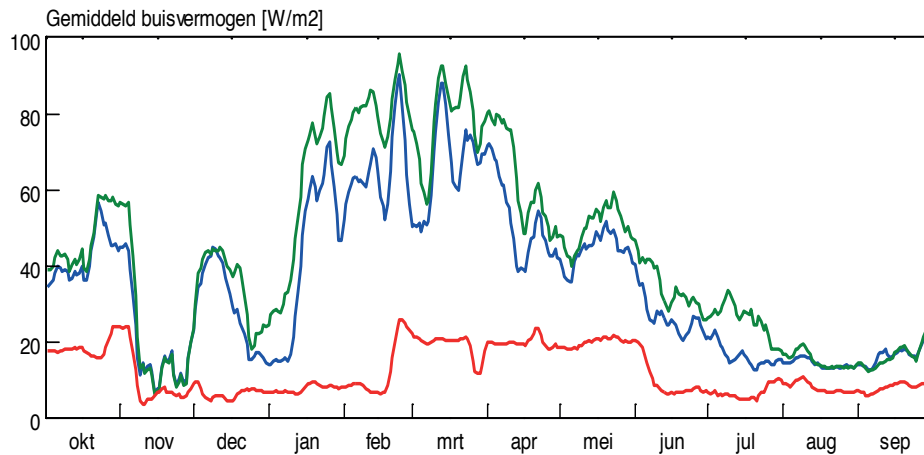
Figuur 4.7. Gebleken ontvochtigingscapaciteit volgens de metingen (blauwe lijn) en de capaciteit die verwacht mocht worden volgens de specs. De lijnen gelden voor kaslucht met 83% luchtvochtigheid.

Een geringere prestatie van warmtewisselaars in de praktijk dan de prestatie die op grond van de specificaties verwacht mag worden is een vaak terugkerende ervaring in de experimenten met betrekking tot (semi) gesloten kassen. Bij warmtewisselaars wordt de overdracht beïnvloed door vier, en bij condenserende of verdampende wisselaars zelfs door vijf factoren (de aanvoertemperaturen en de debieten aan beide zijden van de wisselaar en bij fase-overgangen de dampdrukverschillen). Dit maakt het moeilijk om bij implementatie vast te stellen of een warmtewisselaar inderdaad presteert zoals die zou moeten presteren. Er wijken altijd wel een paar van de grootheden af van de ontwerpcondities, waardoor het niet zonder meer mogelijk is om bij tegenvallende prestatie het onderscheid te kunnen maken tussen slechtere prestaties door tekortkomingen van het apparaat of door ongunstiger gebruikscondities.

In het proefproject bij Lans bleken beide factoren van invloed. Zoals te zien in Figuur 4.7. presteerde het koelblok dat voor de ontvochtiging moest zorgen minder dan op grond van de specificaties verwacht mocht worden, maar de belangrijkste reden voor het feit dat de 20 gram ontvochtiging per m² per uur waarop bij het ontwerp ingezet was meestal niet gehaald werd was toe te schrijven aan de lagere teeltemperatuur die met name in de nacht aangehouden werd. Ook de lagere luchtvochtigheid die door de tuinder nagestreefd werd beperkte de ontvochtigingscapaciteit.

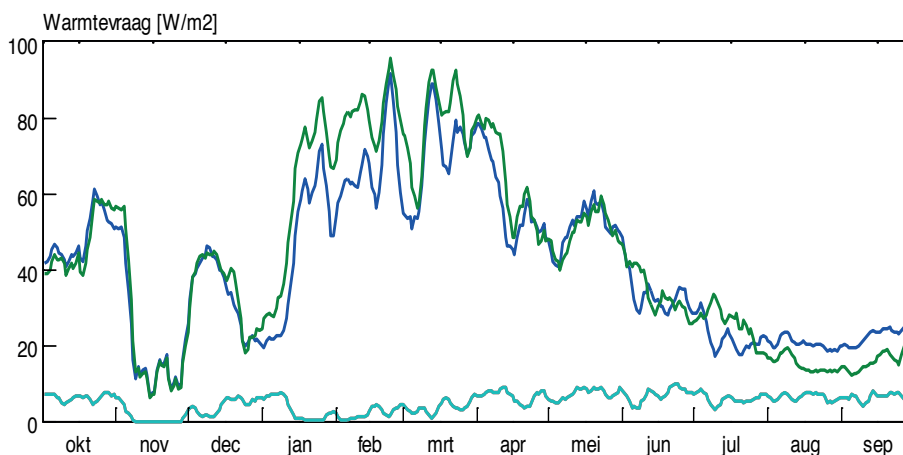
4.3 Energieprestaties

Zoals te zien in Figuur 4.4. is het in dit experiment lang niet gelukt om de ramen in de Next Generation Semigesloten Kas gesloten te houden door de kas intern te ontvochtigen. Alleen in december en januari was de Next Generation Semigesloten Kas duidelijk meer gesloten dan de referentiekas. Toch waren de buistemperaturen in de Next Generation kas gemiddeld lager dan in de referentiekas, zodat het benodigde verwarmingsvermogen in de Next Generation kas duidelijk lager was (zie onderstaande figuur).



Figuur 4.8. Gemiddeld verwarmingsvermogen voor de buisverwarming. De blauwe lijn (Next Generation) en de groene lijn (referentie) geven de warmtevraag van de buisverwarming. De rode lijn is de warmtevraag van de groeibuis, als onderdeel van de totale warmtevraag. Deze is voor beide kassen gelijk omdat dit verwarmingsnet niet per afdeling apart werd geregeld en de kasluchttemperaturen in beide kassen gelijk werd gehouden. De rode lijn vormt dus een onderdeel van de twee andere lijnen, die de totalen weergeven. (Voor een betere leesbaarheid zijn de lijnen afgevlakt met een 5-daags voortschrijdend gemiddelde filter)

De Next Generation kas gebruikt echter naast het verwarmingsvermogen voor de buisverwarming ook verwarming in de luchtbehandelingskast om de kaslucht die bij de ontvochtiging is afgekoeld weer op te warmen. Dit verwarmingsvermogen moet bij het buisvermogen worden opgeteld, waardoor het verschil in warmtegebruik kleiner wordt. Dit is te zien in Figuur 4.9, waar de twee bovenste lijnen de totale warmtevraag van de twee kassen weergeven. De lijn onderin de grafiek geeft de hoeveelheid warmte die in de luchtbehandelingskast nodig is om de ontvochtigde, en daardoor gekoelde kaslucht weer op te warmen. Dit is een substantiële hoeveelheid. In augustus en september was er hierdoor in de Next Generation kas zelfs méér warmte nodig dan de referentie.

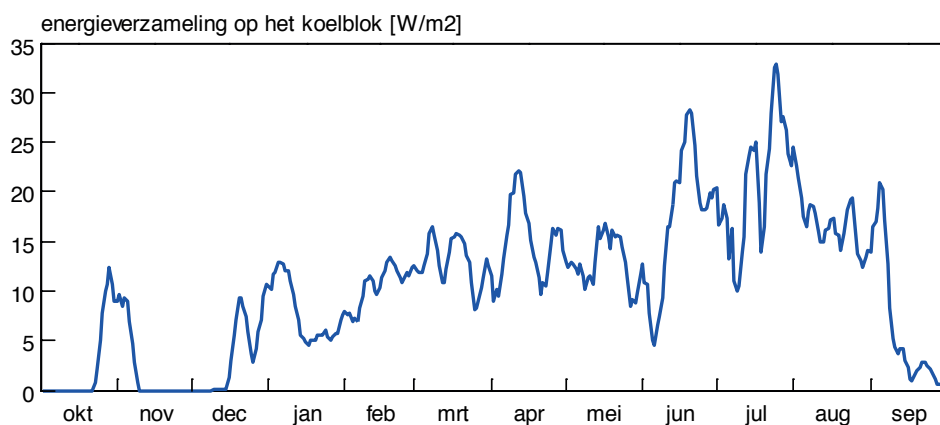


Figuur 4.9. Dagelijkse warmtevraag in de referentiekas (groen) en in de Next Generation kas (blauw). De warmtevraag van de Next Generation kas is de som van de warmte voor de naverwarming van lucht die gekoeld is bij de ontvochtiging (turquoise) en de warmte voor de buisverwarming (het stuk tussen de turquoise en blauwe lijn). (Voor een betere leesbaarheid zijn de lijnen afgevlakt met een 5-daags voortschrijdend gemiddelde filter)

De jaarlijkse warmtevraag voor de buisverwarming en opwarming in de luchtbehandelingskast was in de Next Generation Semigesloten Kas 1270 MJ/m². In de referentiekas is het alleen de warmtevraag van de buisverwarming waar verwarmingsvermogen voor nodig is en die kwam op 1360 MJ/(m² jr). Uitgedrukt in m³ aardgas (Slochteren kwaliteit met een onderste verbrandingswaarde van 31.65 MJ per m³) betekent dit een warmtevraag van respectievelijk 40.2 m³/(m² jr) en 42.9 m³/(m² jr).

Bovenstaande grafieken en jaartotalen laten zien dat de Next Generation Semigesloten Kas de totale warmtevraag van de kas niet zozeer laat dalen, en soms zelfs laat stijgen. Dit lijkt tegenstrijdig omdat in de koudste maanden van het jaar de ramen vaker dicht konden blijven. Echter, daar waar een standaard kas warmte verliest aan de buitenlucht wanneer de kas ontvochtigd moet worden, verliest de Next Generation Semigesloten kas voelbare warmte op het koelblok. Soms is het warmteverlies op het koelblok per eenheid afgevoerd vocht zelfs groter dan het warmteverlies dat de kas zou hebben wanneer het vocht via uitwisseling met buitenlucht wordt afgevoerd. De warmtevraag van een Next Generation Semigesloten kas is dus in het algemeen zeker niet kleiner dan die van een standaardkas. Dit was overigens ook bij de eerste generaties (semi)gesloten kassen het geval.

Dat de (semi)gesloten kas toch energiebesparend is komt doordat die warmte-onttrekking op het koelblok een bron van 'duurzame warmte' vormt. Onderstaande grafiek toont de gemeten warmteverzameling op dit koelblok.



Figuur 4.10. Dagelijkse warmteverzameling uit ontvochtiging en warmteoogst op het koelblok in de Next Generation kas (Voor een betere leesbaarheid zijn de lijnen afgevlakt met een 5-daags voortschrijdend gemiddelde filter).

In totaal heeft het koelblok over deze meetperiode 340 MJ/m² verzameld (ruim 10 m³ aardgas equivalenten per m²). Dit is warmte op een zeer laag temperatuurniveau (10 tot 14 °C), zodat die met een warmtepomp in temperatuur moet worden verhoogd om gebruikt te kunnen worden voor de kasverwarming. Indien de warmtepomp dit met een COP=4 realiseert wordt de totale warmteproductie die de Next Generation luchtbehandelingskast levert 450 MJ/(m² jr). De eerder genoemde warmtevraag van 1270 MJ/(m² jr) zou dus voor 35% door de warmtepomp kunnen worden ingevuld, zodat er dan nog slechts 820 MJ/(m² jr) met andere warmtebronnen hoeft te worden ingevuld.

Bovenstaande berekeningen onderstrepen weer dat het energiebesparingspotentieel van de Next Generation Semigesloten Kas niet zit in de verlaging van de warmtevraag, maar in de duurzame invulling van die warmtevraag.

De 450 MJ/(m² jr) die door de warmtepomp geleverd is voor driekwart afkomstig uit laagwaardige bron (voelbare en latente warmte die bij de droging van de kaslucht op het koelblok vrijkomt), maar komt voor een kwart uit zeer hoogwaardige energie, het elektriciteitsverbruik van de warmtepomp. Op jaarbasis gaat dit in het experiment zoals dat bij Lans heeft plaatsgevonden om 31.5 kWh/m².

Indien dit duurzaam opgewekte stroom betreft zou het aandeel duurzame energie in de verwarming van deze tomatenteelt gelijk zijn aan de bijdrage van de warmtepomp in de verwarming en dus op 35% uitkomen. Groene stroom is echter aanzienlijk duurder dan 'grijze' stroom of lokaal opgewekte elektriciteit zodat in de praktijk het elektriciteitsverbruik niet als duurzame energie zal worden ingekocht.

Wanneer het verbruik van 31.5 kWh/(m² jr) van de warmtepomp in het openbare net wordt opgewekt moet hiervoor

bij toepassing van het gemiddeld Nederlands centralerendement $250 \text{ MJ}/(\text{m}^2 \text{ jr})$ aan primaire energie worden ingezet. Hierdoor zou het toe te rekenen energieverbruik aan het systeem zoals dat in de meetperiode bij Lans heeft gefunctioneerd $820+250 = 1070 \text{ MJ}/(\text{m}^2 \text{ jr})$ zijn geweest. De besparing is dan slechts $(1360-1070)/1360 = 21\%$ wanneer de Next Generation kas met de referentiekas wordt vergeleken, maar eigenlijk nog minder wanneer wordt gesteld dat de verlaging van de warmtevraag van 1360 naar $1270 \text{ MJ}/(\text{m}^2 \text{ jr})$ niet op het conto van het Next Generation concept mag worden geschreven, maar op het conto van de vermindering van het gebruik van minimum buis. In dat geval zou de energiebesparing door het gebruik van interne ontvochtiging slechts op ongeveer 16% uitkomen $(1 - 1070/1270)$.

Een bekende oplossing voor het voorkomen van een hoog primair energieverbruik van een kas met een substantieel elektriciteitsverbruik is het gebruik van WKK. Hierdoor kan immers de restwarmte die bij de productie van elektriciteit vrij komt nuttig worden gebruikt. De energiezuinige uitvoeringsvorm van de Next Generation Semigesloten kas gaat daarom uit van de inzet van een kleine WKK ter compensatie van het elektriciteitsverbruik van de warmtepomp. De WKK en de warmtepomp zullen lang niet altijd tegelijkertijd draaien. Op sommige momenten zal er dus een overschot aan stroom zijn, wat op het openbare net zal worden afgezet, en op andere momenten zal er netto stroom worden ingekocht. Het openbare elektriciteitsnet vormt hiermee een virtuele buffer. Behalve dat hiermee de algemene efficiëntie van de elektriciteitsproductie wordt verbeterd kan het tuinbouwbedrijf hiermee ook een handelsvoordeel behalen (stroom inkopen bij relatief lage stroomprijzen en stroom verkopen bij relatief hoge prijzen).

De volgende paragraaf bespreekt de inpassing van de WKK in het concept.

4.4 Inpassing van de WKK en warmtepomp

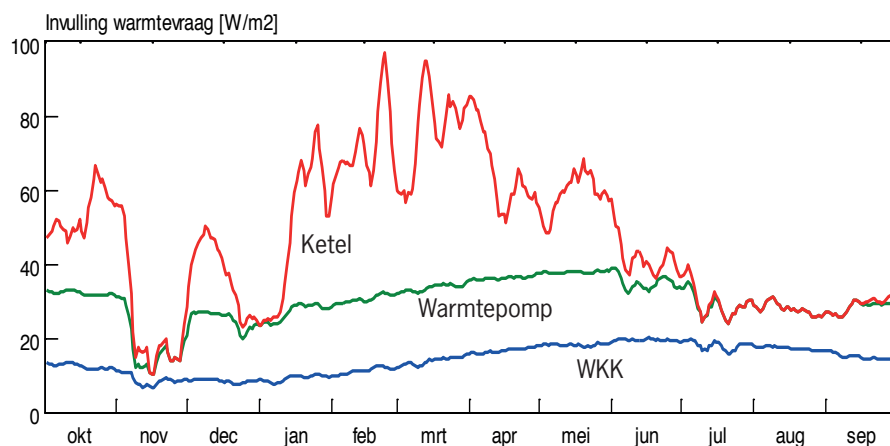
De Next Generation Semigesloten kas kan worden toegepast mét, en zonder seizoensopslagsysteem. Uiteraard zal een uitvoeringsvorm met lange termijn energieopslag (aquifer) tot een grotere energiebesparing leiden dan een uitvoeringsvorm zonder zo'n opslagsysteem. Beide uitvoeringsvormen worden hieronder uitgewerkt.

Met aquifer

Indien de kas de beschikking heeft over een seizoensopslagsysteem, zoals de kas bij Lans in Zeeland, dan leveren de warmtepomp en WKK samen de basis-invulling van de warmtevraag.

Overdag draait de WKK ten behoeve van de productie van CO_2 en de verkoop van stroom, die overdag meestal nog redelijk goed betaald wordt. 's Nachts is stroom in de regel goedkoop en in de verkoop weinig waard, zodat dan de warmtepomp relatief goedkope warmte kan leveren en de WKK niet zal draaien.

De strategie van de inzet van de WKK overdag, de warmtepomp als basis-warmteproducent en de ketel als piek-vermogen leverancier zou voor een teelt zoals die het afgelopen jaar bij Lans is gemonitord tot de onderstaande inzet van de verschillende warmtebronnen hebben geleid.



Figuur 4.11. Inbreng van de verschillende componenten in de invulling van de warmtevraag van de kas in geval er een

aquifer aanwezig is. Voor een betere leesbaarheid zijn de lijnen afgevlakt met een 5-daags voortschrijdend gemiddelde filter).

Het onderste gebied in Figuur 4.11. toont de bijdrage van de warmte uit de WKK. Het aantal draaiuren wordt bepaald door de daglengte omdat de daglengte van invloed is op de CO₂-doseer periode. Hierdoor is de hoeveelheid WKK-warmte in de zomer meer dan in de winter. Een belangrijk deel van de overdag geproduceerde WKK-warmte zal in de hoog-temperatuur buffer worden opgeslagen.

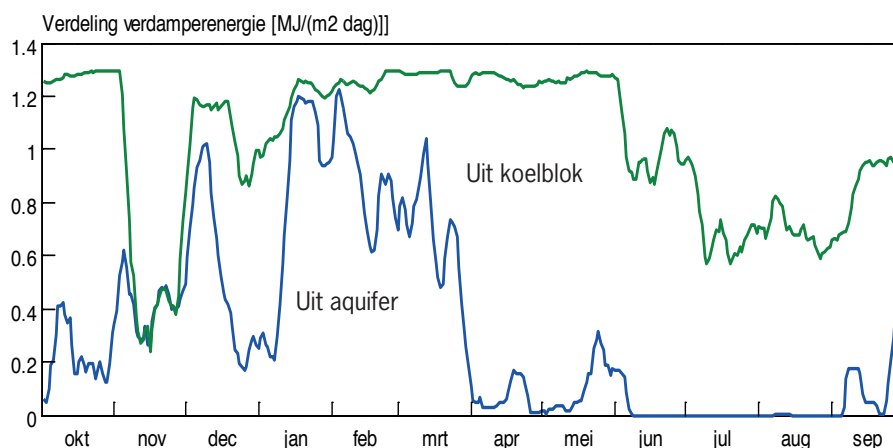
In de berekeningen bleek dat een WKK met een vermogen van 130 kW/ha die ruim 4000 draaiuren per jaar maakt voldoende elektriciteit produceert om het jaarlijkse stroomverbruik van de warmtepomp, de ventilatoren en de water-circulatiepompen te compenseren. Bij een rendement van 43% betekent dit dat de WKK 14 m³ aardgas per m² per jaar verbruikt.

Op momenten dat de warmteproductie van de WKK te klein is en ook de hoog-temperatuur buffer leeg is wordt de warmtepomp aangezet. In Figuur 4.11. is goed te zien dat in juli, augustus en september, een deel van november en een paar weken rond de jaarwisseling de warmteproductie van WKK en warmtepomp voldoende is om de volledige warmtevraag te dekken. De warmtepomp heeft een elektrisch vermogen van 50 kW/ha en levert bij een COP=4 een thermisch vermogen van 200 kWth/ha.

Het gezamenlijke vermogen van warmtepomp en WKK is in de koudere periode van het jaar (2013 had een opvallend koud voorjaar) onvoldoende om in de verwarmingsvraag van de kas te voorzien. Daarom moet in die periode de ketel regelmatig bijkomen als derde warmtebron. Op jaarbasis gebruikte de ketel 15.9 m³ per m² per jaar, zodat het gezamenlijk gasverbruik uitkomt op 30 m³/m² per jaar.

De referentiekas verbruikte $1370/31.65 = 43$ m³ per m² per jaar, maar dit had naar verwachting 40 m³/(m² jaar) kunnen zijn wanneer ook daar een luchtverdeelsysteem zou zijn gebruikt, waarbij dezelfde klimaatreguleringstrategie zou kunnen worden toegepast als in de Next Generation Semigesloten kas. De energiebesparing die gehaald kon worden is dus 10 m³ aardgas per m² per jaar; dezelfde hoeveelheid warmte als die op het koelblok is verzameld (zie bespreking van Figuur 4.10.).

Bij gebruik van een aquifer wordt een deel van de warmte die op het koelblok wordt verzameld diezelfde dag nog gebruikt en een deel van de warmte komt uit de aquifer. Onderstaande Figuur toont hoe de verdeling van de herkomst van de warmte over het jaar verdeeld is, waarbij voor de warmtelevering aan het koelblok gebruik gemaakt is van de warmte-oogst zoals die gerealiseerd had kunnen worden bij gebruik van de beoogde strategie en zonder de problemen met de koude-levering en besturing van de ontvochtiging zoals die zich in het experiment bij Lans hebben voorgedaan (zie bespreking van Figuur 4.6.).

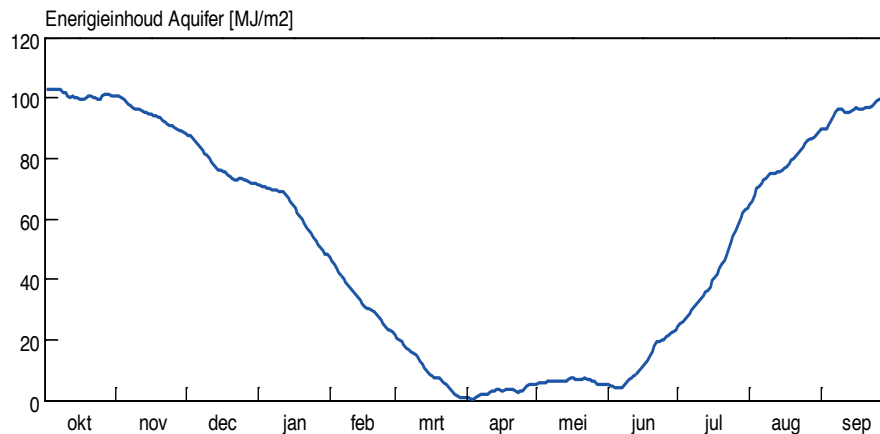


Figuur 4.12. Herkomst van de energie die door de verdamper wordt opgenomen. (Voor een betere leesbaarheid zijn de lijnen afgevlakt met een 7-daags voortschrijdend gemiddelde filter).

Het basis-last gedrag van de warmtepomp komt in Figuur 4.12. duidelijk naar voren. In de koude periode van het jaar onttrekt de verdamper elke dag zo'n 1.3 MJ/m² uit het koelwater. De koudwaterbuffertank moet daarom de meeste dagen

weer met eenzelfde hoeveelheid energie worden aangevuld. In perioden met weinig ontvochtiging komt die warmte uit de aquifer, en in perioden met veel ontvochtiging komt de warmte uit het koelblok. Op jaarbasis komt zo'n 70% van de verdamer-energie direct uit het koelblok en 30% via de aquifer (en dus indirect uit het koelblok).

In de periode van eind maart tot eind september is de hoeveelheid energie die dagelijks aan het koelblok wordt onttrokken in de regel groter dan de hoeveelheid warmte die de verdamer nodig heeft, waardoor in die periode de aquifer kan worden opgeladen. In het koude deel van het jaar wordt de aquifer dan weer ontladen.



Figuur 4.13. Energie-inhoud van de aquifer over het jaar. Vanaf november wordt er netto energie aan de aquifer onttrokken en vanaf april wordt er op de meeste dagen meer energie op het koelblok verzameld dan er door de warmtepomp wordt benut. Dit overschot wordt dan in de aquifer opgeslagen zodat de energie-inhoud daarvan oploopt.

De maximale hoeveelheid energie die per dag aan de aquifer wordt onttrokken is 1.2 MJ/(m² dag) (zie Figuur 4.12. en dit is ook te zien aan de neerwaartse hellingshoek in Figuur 4.13.). Bij een temperatuurverschil van 5 °C tussen de warme en de koude bron vereist dit een pompcapaciteit van 24 m³/(ha uur). Figuur 4.13. laat een steilere opgaande helling dan een neergaande helling zien. Het benodigde laadvermogen is dus groter dan het benodigde ontlad-vermogen. Toch zal dit grotere laadvermogen gemakkelijk met hetzelfde pompdebiet kunnen plaatsvinden omdat de opwarming van het aquiferwater bij het laden groter zal zijn dan de afkoeling van het water bij het ontladen.

Figuur 4.13. laat ook zien dat de aquifer thermisch in balans is; er wordt in de zomer evenveel warmte in de watervoerende laag gebracht als dat er in de winter weer aan onttrokken wordt.

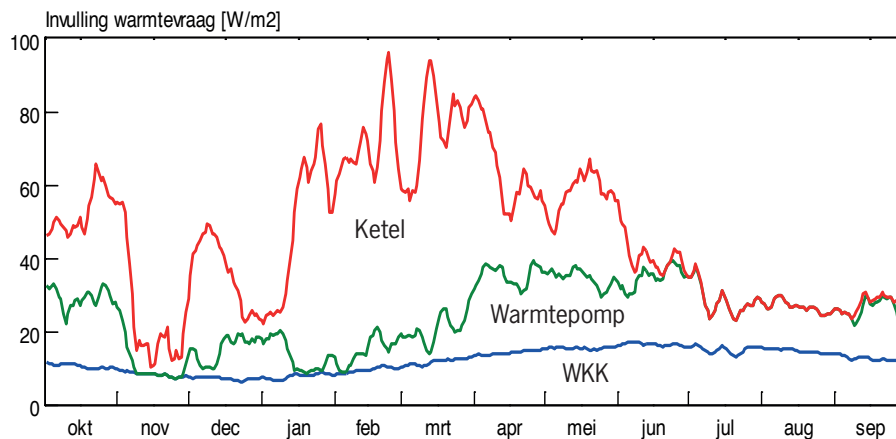
Een aquifer capaciteit van 24 m³/(ha uur) klinkt klein tegen de achtergrond van aquifer capaciteiten die voor de eerste generaties semigesloten kassen circuleerden. Daar werd meestal gesproken over aquifer capaciteiten van rond de 100 m³/(ha uur). Dit is echter geen eerlijke vergelijking omdat die grote capaciteiten waren uitgedrukt per ha gesloten kas en niet per ha tuinbouwbedrijf. In de eerste generaties gesloten kassen hoorden de gesloten, en de niet-gesloten fractie bij elkaar. Bij de gangbare verhoudingen van 1/3 gesloten tegen 2/3 niet gesloten komt 100 m³/(ha_{gesloten} uur) dus neer op 33 m³/(ha uur) voor het totale bedrijf.

De aquifer capaciteit die bij een Next Generation Semigesloten kas nodig is is dus relatief klein, maar zal toch nog een substantiele investering vergen (ongeveer €5 tot €6 per m²). Gegeven de bijdrage van 30% in de warmtetoever naar de verdamer is het dus de vraag of een systeem zonder aquifer geen werkbare vereenvoudiging zou kunnen zijn.

Zonder aquifer

In de uitvoeringsvorm van de Next Generation Semigesloten kas zonder aquifer heeft de verdamer van de warmtepomp alleen de warmte die bij de ontvochtiging wordt verzameld als warmtebron. Tijdens perioden waarin er weinig ontvochtigd kan worden kan de warmtepomp dan ook nauwelijks warmte leveren.

Dit is goed te zien in onderstaande figuur.



Figuur 4.14. Aandeel van de verschillende componenten in de invulling van de warmtevraag van de kas in een situatie zonder aquifer. Voor een betere leesbaarheid zijn de lijnen afgevlakt met een 5-daags voortschrijdend gemiddelde filter).

Ook hier draait overdag weer een WKK ter compensatie van het stroomverbruik van de warmtepomp. Doordat er echter geen aquifer is in deze situatie produceert de warmtepomp minder warmte en gebruikt de warmtepomp dus ook op jaarbasis minder stroom. De WKK is in deze situatie dan ook iets kleiner (110 kW/ha) en verbruikt daardoor ook minder gas, 11.9 m³/(m² jaar).

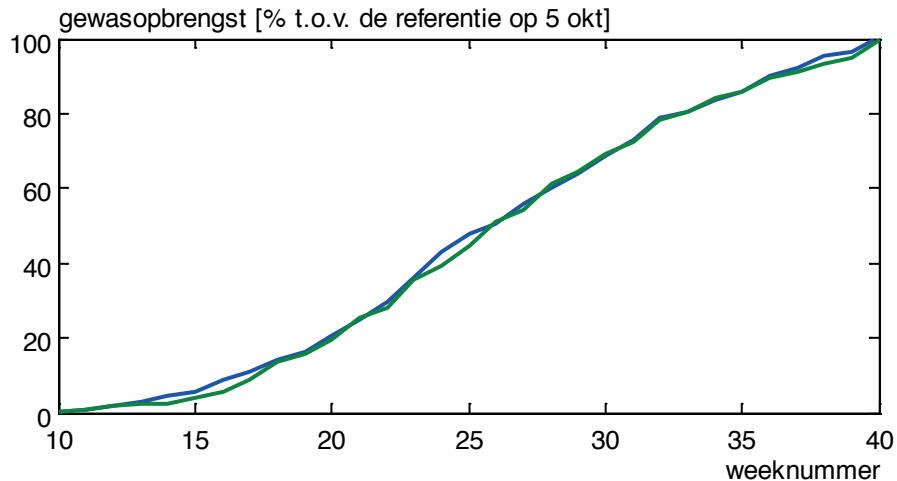
Door de kleinere warmtelevering van de WKK en de warmtepomp moet de ketel een aanzienlijk groter deel van de warmte leveren en verbruikt daarmee 20.5 m³/(m² per jaar).

Het gezamenlijke energieverbruik van ketel en WKK is met 32.4 m³/(m² jaar) en komt daarmee 2.5 m³/(m² jaar) hoger uit dan in de situatie met een aquifer. De toename van het gasverbruik is dus iets minder dan de verwachte 3 m³/(m² jaar), wat mogelijk is gemaakt door een iets grotere warmtepomp te gebruiken (80 kW elektrisch in plaats van 50 kW elektrisch).

4.5 Gewaswaarnemingen

De teelt die gedurende het experiment in de kas stond was een tomatenteelt van het ras Het was voor Lans de eerste keer dat zij dit gewas teelden. De teelt had een moeilijke start door bewortelingsproblemen. Het duurde tot eind januari eer de gewasmanagers tevreden waren over de groei en ontwikkeling.

Vanaf de 1^e week van maart is de oogst echter toch goed op gang gekomen. Zoals te zien in de onderstaande Figuur is er geen noemenswaardig verschil geweest tussen de gewasgroei in de Next Generation Semigesloten Kas en de referentiekas.



Figuur 4.15. Ontwikkeling van de gewasopbrengst in de Next Generation Semigesloten Kas (blauwe lijn) en de referentiekas (groene lijn), uitgedrukt als percentage van de opbrengst van de referentiekas in week 40.

4.6 Conclusies van het praktijkexperiment

Het experiment met de Next Generation Semigesloten kas bij Lans Tomaten heeft laten zien dat er een substantiele energiebesparing kan worden gerealiseerd door de toepassing van het Next Generation Semigesloten kas concept zonder dat daar gewaskundige of teelttechnische nadelen aan verbonden zijn. De teler kon tomaten blijven telen zoals hij dat gewend was, zij het dat er in de volgorde van regelingen in de kasklimaatregelaar een paar kleine aanpassingen moesten plaatsvinden. Vanuit het verleden was de kweker gewend zijn luchtvochtigheid vooral met een minimumbuis-instelling in de hand te houden en een ventilatielij die dicht op de stooklijn lag, maar om de luchtbehandelingskast de mogelijkheid te geven daadwerkelijk te kunnen regelen moest de minimumbuis-instelling weggehaald worden. Daarvoor in de plaats kwam, naast de acties die de luchtbehandelingskast nam, een minimumraam-instelling die bij een luchtvochtigheid boven de 85% de ramen open stuurde. Hierdoor werd ervoor gezorgd dat bij een ontoereikende capaciteit van de luchtbehandelingskast (die bij 83% RV in werking trad), de ramen alsnog geopend werden.

Toepassing van de Next Generation Semigesloten kas zou bij een onbelicht tomatenteelt zoals bij Lans tot een $10 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \text{ jaar})$ vermindering van het primaire energieverbruik kunnen leiden, gerekend ten opzichte van een referentiebedrijf waar wordt verwarmd met een ketel. Voor dit hoge besparingspercentage moet gebruik gemaakt worden van een seizoensopslagsysteem (aquifer), waardoor de kas in de winter gebruik kan maken van de warmte-overschotten van de zomer.

Uit de ervaringen van het afgelopen experiment bleek ook dat het systeem vereenvoudigd kan worden door de aquifer uit het systeem weg te laten. De rol van de warmtepomp in de warmtevoorziening van de kas wordt hierdoor kleiner en daardoor daalt de energiebesparing, maar de vermindering van de energiebesparing blijft beperkt tot $2.5 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \text{ per jaar})$, waardoor het besparingspotentieel nog steeds aanzienlijk blijft; $7.5 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \text{ jaar})$.

5 Economische kentallen van de Next Generation Semigesloten kas

De Next Generation Semigesloten kas is een invulling van stap 6 (koelen) en 7 (warmtepompen) van het stappenplan van het nieuwe telen. Dit stappenplan geeft een opeenvolging van stappen, zodat gesteld kan worden dat bij het invulling geven van stap 6 en 7 de overige stappen reeds ingevuld zijn. Dit betekent dat in de referentiesituatie de tuinder reeds gebruik maakt van een (dubbele) scherminstallatie en een buitenlucht-aanzuigingssysteem, de tuinder bij een hoge luchtvochtigheid teelt en geen gebruik maakt van een standaard minimumbuis.

Indien een onbelichte tomatentuinder deze stappen voor de verbetering van zijn kas heeft ingezet en volgens de filosofie achter Het Nieuwe Telen teelt (dat wil zeggen: rustig opstoken en afkoelen, meebewegen met de buitenomstandigheden en veel schermuren inzetten zonder kier) komt het gasverbruik van zo'n teelt in een gemiddeld jaar uit op ongeveer 30 m³ aardgas equivalenten. In de referentiesituatie wordt deze warmte door de ketel geproduceerd. De ketel levert in dat geval in de warme maanden van het jaar slechts weinig CO₂, zodat de tuinder een deel van zijn CO₂ in de zomer zal inkopen.

Toepassing van het Next Generation Semigesloten Kas systeem zal ten opzichte van die referentie tot een verlaging van het gasverbruik met 10 m³/(m² jaar) kunnen leiden.

Om deze energiebesparing te kunnen realiseren moet het bedrijf investeren in luchtbehandelingskasten met een wat grotere luchtcirculatiecapaciteit en een extra warmtewisselaar, een warmtepomp, een aquifer en een kleine WKK-installatie ter compensatie van het extra stroomverbruik.

De meer-investeringen worden hierdoor:

5 €/m² voor de aquifer

3 €/m² voor de warmtepomp

9 €/m² voor de WKK + rookgasreiniger

6 €/m² voor de grotere luchtbehandelingskast met de extra warmtewisselaar

totaal: 23 €/ m².

De behoefte aan CO₂ blijft bij de hier voorgestelde invulling van het concept vrijwel ongewijzigd. De warmtevraag is in de zomer gelijk gebleven aan die van de referentie en hoewel deze warmtevraag in het Next Generation Semigesloten Kas-concept gedeeltelijk door de CO₂-vrije warmtepomp wordt ingevuld neemt de CO₂-beschikbaarheid niet af doordat de WKK twee keer zoveel CO₂ per eenheid warmte geeft als de ketel. In Figuur 4.11. is te zien dat de WKK in de zomer nog altijd de helft van de hoeveelheid warmte levert (overdag geproduceerd). De hoeveelheid CO₂ blijft hierdoor gelijk aan de hoeveelheid in de referentiesituatie.

Bij een gasprijs van 30 ct/m³ bedragen de jaarlijkse besparingen 3 euro per m² waarmee een simpele terugverdientijd kan worden berekend op ruim 7.7 jaar, waarbij nog moet worden opgemerkt dat deze korter kan worden als er met de WKK, ondanks de bescheiden afmetingen daarvan, nog duidelijke handelsvoordelen kunnen worden gerealiseerd bij de verkoop van stroom tijdens plateau-uren.

Zonder aquifer daalt de investering naar 18 €/m², maar dalen de revenuen ook en wordt de terugverdientijd iets langer.

Het perspectief van dit concept is sterk afhankelijk van de gasprijs. Als deze stijgt naar waarden boven de 40 cent per m³ zal het aantrekkelijk worden om te investeren in energiezuinige technologieën zoals de Next Generation Semigesloten kas.

6 Hygroscopische ontvochtiging als alternatief

6.1 Inleiding

Het gebruik van een koelblok om vocht te condenseren niet de enige wijze waarop de kas in de winter gesloten kan worden gehouden. Een in de industrie veel gebruikte manier om vocht te onttrekken is het gebruik van hygroscopische materialen. Hygroscopische materialen trekken vocht aan waardoor lucht die langs zo'n materiaal stroomt gedroogd wordt. Alledaagse hygroscopische materialen zijn de bekende vochtvretter en de zakjes silica gel die vaak aan emballageverpakkingen worden toegevoegd.

Hygroscopische materialen kennen we in vaste vorm, zoals de zojuist genoemde, maar ook in vloeibare vorm. Sinds enige jaren is er bijvoorbeeld de Eco Climate Converter (ECC), een luchtbehandelingssysteem voor de tuinbouw waar de kaslucht wordt gedroogd door middel van het versproeien van Lithiumbromide in een luchtbehandelingsruimte waar deze lucht doorheen geblazen wordt.

De ECC doet z'n werk als ontvochtigingsinstallatie, maar heeft in zijn standaard uitvoeringsvorm geen mogelijkheid om de gedroogde kaslucht netjes over een groot kasoppervlak te verdelen. Daarom is de firma Lans begonnen met de ontwikkeling van een ander systeem dat op hetzelfde fysische principe is gebaseerd (hygroscopisch ontvochtigen), maar helemaal geïntegreerd is met luchtslurven voor luchtdistributie in een tomatenkas. De ontwikkeling van deze luchtslurven is geïnitieerd met de opkomst van (semi) gesloten kassen en verder geëvolueerd in Het Nieuwe Telen. Het door Lans in samenwerking met Bom Kassenbouw ontwikkelde systeem maakt gebruik van Calciumchloride (CaCl_2) als hygroscopische vloeistof, wat een wat kleinere hygroscopische werking heeft dan lithiumbromide, maar veel goedkoper is en niet giftig.

In 2012 zijn de eerste ervaringen met dit nieuw ontwikkelde systeem opgedaan, waarvan de resultaten zijn beschreven in het rapport "Praktijkexperiment ontvochtigen met zouten" (Raaphorst, 2013) wordt verslag gedaan van deze ervaringen. Het rapport meldt dat de verwachtingen ten aanzien van de ontvochtigingscapaciteit en de te behalen energiebesparing niet konden worden gerealiseerd en in de aanbevelingen wordt vermeld dat de effectiviteit van de padwall waar de ontvochtiging plaatsvindt verhoogd moet worden. Ten aanzien van de ontvochtigingscapaciteit kan echter gesteld worden dat het niet zozeer de waargenomen capaciteit is die laag was. De gemeten $34 \text{ gr}/(\text{m}^2 \text{ uur})$ is aanzienlijk meer dan de capaciteiten die in de Next Generation Semigesloten kas gemiddeld genomen gerealiseerd werden. Veeleer was de verwachte $80 \text{ tot } 100 \text{ gram}/(\text{m}^2 \text{ uur})$ ontvochtigingscapaciteit erg hoog.

De conclusies over het systeem zijn dan ook niet negatief, maar de aanbevelingen geven aan dat er veel meer aandacht moet worden gegeven aan de besturing van het systeem een integraal onderdeel van de klimaat-installatie moet zijn, en dat de efficiëntie van het vocht- en warmteuitwisseld oppervlak verbeterd kan worden. Als mogelijkheden hiervoor wordt een betere dimensionering van de pad-wall, een andere padmateriaal keuze en een betere koeling van de hygroscopische vloeistof genoemd.

Aangezien de doelstelling van hygroscopische ontvochtiging en ontvochtiging volgens het Next Generation Semigesloten Kas concept gelijk zijn, namelijk het gesloten houden van de kas in de winter, zijn deze aanbevelingen in dit voorliggend project ter harte genomen.

Dit hoofdstuk beschrijft de metingen die uitgevoerd zijn aan de mogelijke verbeteringen van het padmateriaal en het systeem als geheel en presenteert een analyse van het potentieel voor deze techniek. Als eerste wordt echter de theorie rond hygroscopische ontvochtiging uitgelegd.

6.2 Hygroscopische ontvochtiging

Hygroscopisch ontvochtigen maakt gebruik van de vocht-aantrekkende werking een hygroscopische vloeistof wanneer deze vloeistof in contact met de kaslucht wordt gebracht. Als gevolg hiervan neemt de hygroscopische vloeistof het vocht uit de lucht op, onder afgifte van de latente energie in het vocht ($2500 \text{ kJ}/\text{kg}$). Deze energie wordt opgenomen door de vloeistof. De vloeistof wordt daardoor opgewarmd. Als de vloeistof op kasluchttemperatuur wordt aangevoerd zal de vloeistof door de condensatie van het water warmer worden dan de langsstromende kaslucht en die kaslucht dus verwarmen. Als de hygroscopische vloeistof onder de kasluchttemperatuur wordt aangevoerd kan het zijn dat de vloeistof

ook na opname van de latente warmte nog steeds kouder is dan de kasluchttemperatuur waardoor de langsstromende lucht zal afkoelen. Bij aanvoer van de hygroscopische vloeistof op een temperatuurniveau iets onder de kasluchttemperatuur zal de opname van latente warmte precies genoeg kunnen zijn om de hygroscopische vloeistof op kasluchttemperatuur te brengen en zal het drogen van de lucht geen effect op de uitblaastemperatuur hebben. In de praktijk moet de temperatuur van de hygroscopische vloeistof daarvoor zo'n 4 °C onder de kasluchttemperatuur worden aangevoerd (maar is natuurlijk sterk afhankelijk van kasluchtcondities en hygroscopisch vloeistofdebiet).

De hygroscopische vloeistof die in de experimenten bij Lans is gebruikt, was een oplossing van CaCl_2 in water. Voor een goede werking moet ongeveer 35 kg CaCl_2 worden opgelost in 65 kg water (verderop in deze paragraaf wordt dit uitgebreider beschreven).

Doordat de vloeistof vocht uit de lucht invangt, wordt de zoutoplossing verdund en wordt deze minder effectief. Dan is het nodig het vocht weer uit de vloeistof te verwijderen; de regeneratie.

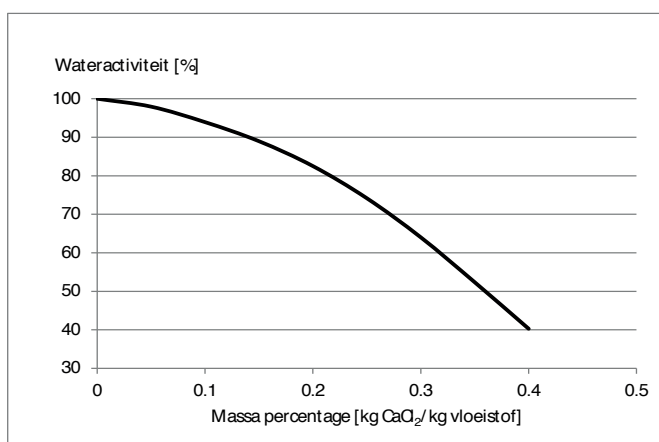
Hygroscopische ontvochtiging heeft dus 3 essentiële componenten die in de volgende paragrafen worden besproken; de eigenschappen van de hygroscopische vloeistof, het uitwisselende oppervlak en de regeneratie.

6.2.1 Eigenschappen van een waterige oplossing van Calciumchloride

Wateractiviteit

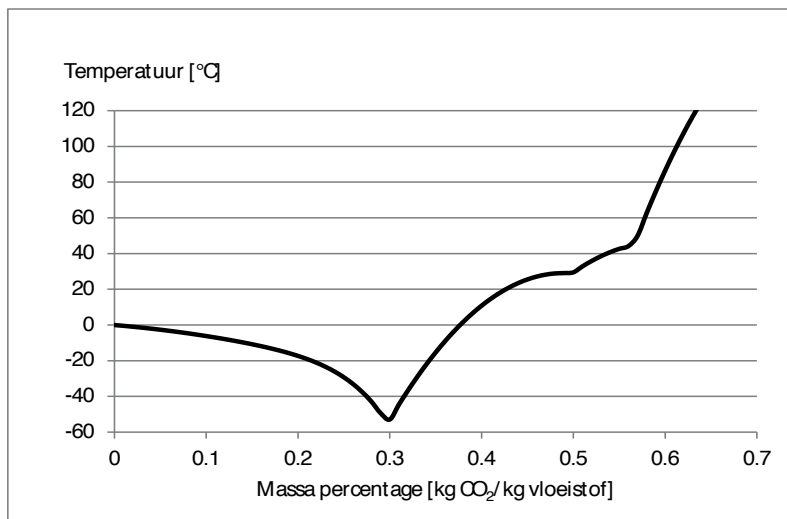
Als vochtige lucht in een afgesloten en geïsoleerde ruimte wordt gebracht waar op de bodem een hoeveelheid water ligt zal er een evenwicht ontstaan waarbij er een bepaalde hoeveelheid water in de vorm van damp in de lucht gaat zitten en de overige hoeveelheid in de vorm van water in de plas op de bodem. Bij lucht van 20 °C en 1 Atm zal er in zo'n evenwichtssituatie 17.5 gram waterdamp per m^3 lucht gaan zitten. Per definitie heeft die lucht dan een RV van 100%.

Is de vloeistof op de bodem van deze ruimte geen zuiver water, maar een hygroscopisch zout, dan zal er meer water in die plas met zout water gaan zitten en minder in de lucht. CaCl_2 is zo'n hygroscopisch zout. Als er een beetje zout in het water zit valt er weinig te merken van dat hygroscopisch effect, maar als er veel zout is opgelost, bijvoorbeeld 35 kg per 100 kg oplossing (dus een massapercentage van 35%) dan zal de evenwichtshoeveelheid waterdamp in de lucht boven zo'n plas zout water bij 20 °C geen 17.5 gram zijn, maar 9.1 gram/ m^3 . De RV van die lucht is dan dus $9.1/17.5 = 52\%$. Die 52% wordt de wateractiviteit van de hygroscopische vloeistof genoemd. De wateractiviteit is sterk afhankelijk van de zoutconcentratie, zoals blijkt uit onderstaande grafiek.



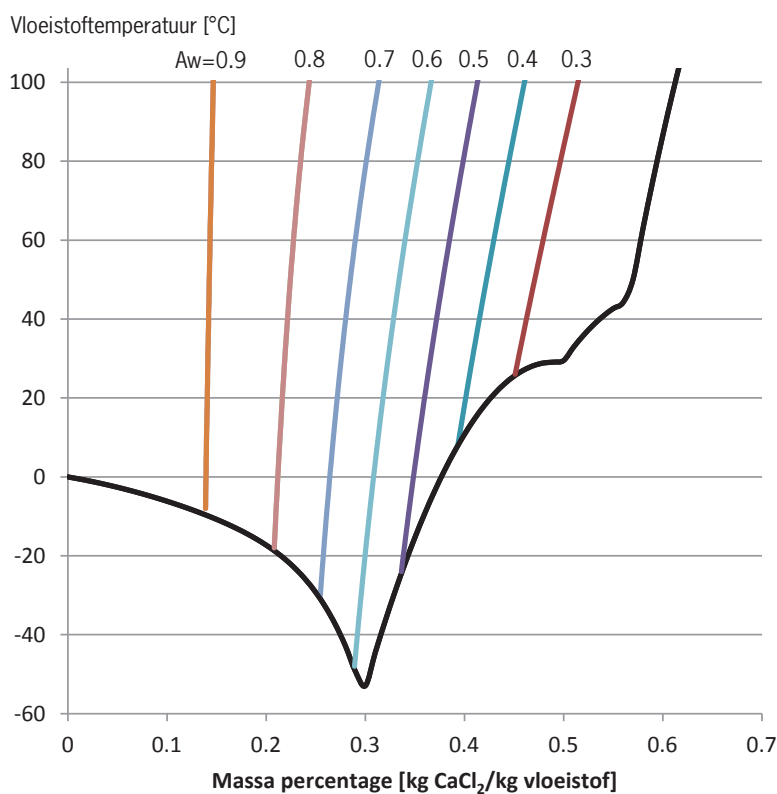
Figuur 6.1. Wateractiviteit van een CaCl_2 - water oplossing bij 20 °C

De lijn in Figuur 6.1. stopt bij een massapercentage van 40%. Veel meer zout kan er namelijk niet in een CaCl_2 -oplossing worden opgelost omdat er een duidelijke grens is aan de oplosbaarheid van dit zout. Deze oplosbaarheid is afhankelijk van de temperatuur, zoals te zien is in Figuur 6.2. In het gebied onder de getrokken lijn zal de CaCl_2 oplossing gaan kristalliseren.



Figuur 6.2. Temperatuur waarboven een oplossing van CaCl₂ vloeibaar is

De wateractiviteit is enigszins afhankelijk van de temperatuur, zoals in onderstaande samenvattende grafiek te zien is. De gekleurde lijnen lopen niet precies verticaal. In de kas-omstandigheden, dus in het gebied tussen 20 en 30 °C is het effect van temperatuur op wateractiviteit echter gering.

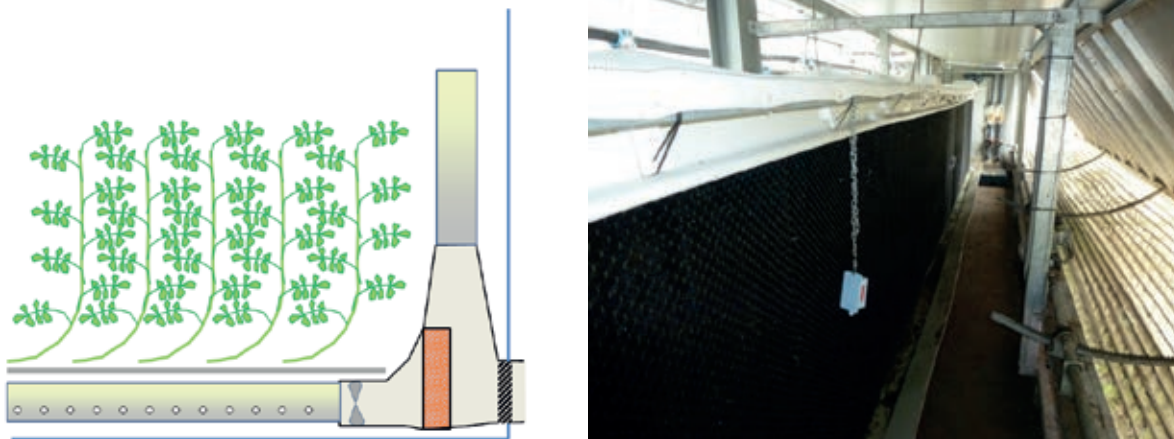


Figuur 6.3. Diagram met de wateractiviteit en oplosbaarheidsgrenzen van een oplossing van CaCl₂ (naar Conde, 2002)

In een praktische situatie op een tuinbouwbedrijf zal gewerkt worden bij een wateractiviteit van 50 tot 60%. Dit is een concentratie waarbij de hygroscopische werking hoog is en er geen risico's liggen op kristallisatie van de CaCl₂-oplossing.

6.2.2 Overdracht van waterdamp in de pad wall

Het hart van een hygroscopisch ontvochtigingssysteem wordt gevormd door het oppervlak waar lucht in contact wordt gebracht met de hygroscopische vloeistof. Onderstaande Foto en schets tonen de uitvoeringswijze van dit vocht- en warmtewisselende oppervlak in de proeflocatie bij Lans.



Figuur 6.4. Het vocht- en warmtewisselende oppervlak dat in de schets als rood blok wordt weergegeven is in de praktijk een open structuur waar de hygroscopische vloeistof langs het oppervlak van de structuur stroomt en de lucht door de open ruimten.

De overdracht van waterdamp via condensatie vanuit de lucht in de vloeistof heeft tijd nodig. In een ontvochtigingsinstallatie waar continu vochtige lucht langs de hygroscopische vloeistof wordt geblazen zal de lucht dus met een wat hogere RV uit het apparaat komen dan de wateractiviteit van de vloeistof. Dat verschil wordt groter naarmate de lucht met een groter volumedebiet langs het warmte- en vochtwisselende oppervlak wordt geblazen.

De snelheid waarmee de vloeistof over de padwall wordt verspreid is al gauw hoog genoeg. Als bijvoorbeeld zou worden gestreefd naar een verdunning van de zoutoplossing van 37 naar 35 massaprocent dan zou een ontvochtiging van 30 gram per m² per uur betekenen dat de vloeistof met $0.03 \cdot 0.35 / (0.37 - 0.35) = 0.53$ liter per m² per uur moet worden aangevoerd (5.3 m³ per ha per uur). Dit vloeistofdebiet is ongeveer vier maal zo klein als de hoeveelheid vloeistof die nodig is om het water mooi over de pads te verspreiden. In de praktijk zal de verdunning van de vloeistof tijdens het ontvochtigingsproces op de pads dus meestal minder dan 1 massaprocent zijn zodat er in de praktijk dus met een constante wateractiviteit op de pads kan worden gerekend.

Na afloop van het experiment dat in 2012 is uitgevoerd werd geconcludeerd dat de ontvochtigingscapaciteit zou kunnen worden verhoogd door “een hogere concentratie aan calciumchloride, een lagere temperatuur van de zoutoplossing of een langere weg die de lucht door de pads moet afleggen”. In plaats van een langere weg door de pads zou misschien ook de efficiëntie van de pads verbeterd kunnen worden. Met name dat laatste punt is in het huidige project bekeken door naast de eerder gebruikte gaas-pads twee alternatieven te installeren, een papieren pad en een kunststof equivalent van de papieren pad (zie paragraaf 6.3).

De ontvochtigingscapaciteit (in kg vocht per m² per uur) is afhankelijk van de efficiency van de pad, de heersende klimaatomstandigheden in de kas en de luchtstroom door de pad. De ontvochtigingscapaciteit volgt dan uit de vermenigvuldiging van de het luchtdebiet (in m³/(m² uur)) met de ingaande absolute luchtvochtigheid (in gr/m³) en de uitgaande luchtvochtigheid. Het ligt vervolgens aan de pad-efficiëntie hoe dicht de uitgaande luchtvochtigheid bij de luchtvochtigheid van de hygroscopische vloeistof ligt.

6.2.3 Regeneratie

De eenvoudigste manier van regenereren is de vloeistof te laten koken, waardoor het water als waterdamp wordt uitgekookt. Echter, als de energie in deze damp niet nuttig wordt gebruikt, bijvoorbeeld door de damp te condenseren tegen een warmtewisselaar, wordt een hygroscopisch ontvochtigingssysteem een dure installatie die energetisch zelfs nog minder efficiënt is dan de gebruikelijke wijze van ontvochtigen, namelijk het stoken met de ramen open. Het is dus belangrijk de regeneratie op een zo efficiënt mogelijke manier te doen.

Één van de manieren waarlangs dat kan plaatsvinden is het gebruik van een vacuumverdamper. In de vacuumverdamper zoals die bij Lans gebruikt is werd de druk boven de te regeneren CaCl_2 oplossing verlaagd tot 0.1 atm, waardoor de vloeistof al bij 40 °C ging koken. De waterdamp die bij dit kookproces vrijkomt werd in deze machine gecondenseerd tegen een condensor die bovenin dezelfde vacuumentank is geplaatst.

De condensor wordt koud gehouden door middel van een warmtepomp die een koelvloeistof door de condensor leidt. De energie die hierbij aan de condensor wordt onttrokken komt via warmtepomp op een hoger temperatuurniveau weer vrij. Met deze warmte wordt de te regenereren vloeistof aan de kook gehouden. Als de vloeistof eenmaal aan tot het kookpunt opgewarmd is (wat bij deze lage druk niet meer dan 40 °C is) hoeft in feite alleen nog maar de latente warmte toegevoerd te worden om het water in de zoutoplossing te laten verdampen tot waterdamp. Deze latente warmte komt op de condensor weer vrij en dient dan weer tot warmtebron voor de koude kant van de warmtepomp van de regenerator. Op deze manier ontstaat er een kringproces dat in feite vergelijkbaar met het proces wat in de Next Generation semigesloten kas plaatsvindt (zie Figuur 3.5.). Hier is het alleen niet de plant die verdampt, maar is het het hygroscopisch vloeistofoppervlak in de vacuumentank dat verdampt. Een tweede verschil is dat er in zo'n regenerator nauwelijks voelbare warmte door de condensor wordt opgenomen. Er zit immers (bijna) geen lucht in de vacuumentank, alleen waterdamp.

Net als in Figuur 3.5. is ook hier de energie-kringloop van verdamping en condensatie niet sluitend. De warmtepomp voegt elektrische energie aan het proces toe, en als dit overschot aan energie niet ergens wordt afgevoerd zou de vloeistof heter en heter worden. Daarom moet de regenerator ook worden gekoeld. In de opstelling bij Lans gebeurt dit door aquiferwater. De koelenergie wordt hierdoor dus niet weggegooid, maar wordt later benut als laagwaardige warmtebron voor het kasverwarmingssysteem.



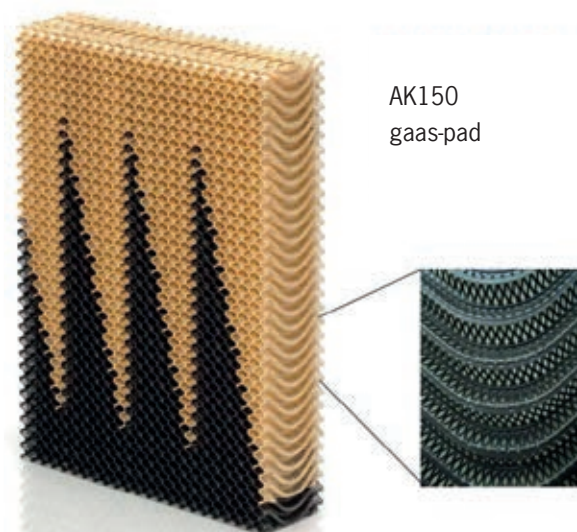
Figuur 6.5. De regenerator bij Lans.

In het experiment van 2012 is de efficiëntie van bovenstaande regeneratieunit vastgesteld. Het bleek dat de installatie 0.17 kWh elektriciteit verbruikte per liter water onttrekking uit de zoutoplossing. Deze efficiëntie is niet slecht, en bovendien wordt de elektrische energie niet weggegooid, maar later in de vorm van laagwaardige warmte benut. Bij grootschaliger, industriële vacuumindampers (mechanisch damprecompressie) kan deze efficiëntie echter gemakkelijk verdubbeld

worden, dus bij een uiteindelijke uitvoering van een hygroscopisch ontvochtigingssysteem kan een regeneratie-efficiëntie van 0.1 kWh per liter wateronttrekking aan de hygroscopische vloeistof als vuistregel gebruikt worden.

6.3 Efficiëntie van verschillende pad-materialen

Vanuit de praktijkmetingen die aan de proefinstallatie bij Lans in 2012 zijn uitgevoerd waren twijfels gerezen over de efficiëntie waarmee het vocht- en de warmteuitwisseling op de gebruikte pads plaatsvindt. Uit de metingen bleek immers dat er gemiddeld slechts 1.2 gram per m³ aan de kaslucht werd onttrokken, terwijl op zo'n 3 gram per m³ was gerekend. Daarom is in 2013 opnieuw naar de overdracht op het padmateriaal gekeken en beproefd of andere typen materiaal misschien een hogere efficiëntie zouden laten zien. In de volgende paragrafen wordt de opzet van deze proef uiteengezet en worden de resultaten en analyse daarvan besproken.



Figuur 6.6. De kunststof pad in de installatie bij Lans (de feitelijke uitvoeringsvorm is helemaal zwart).

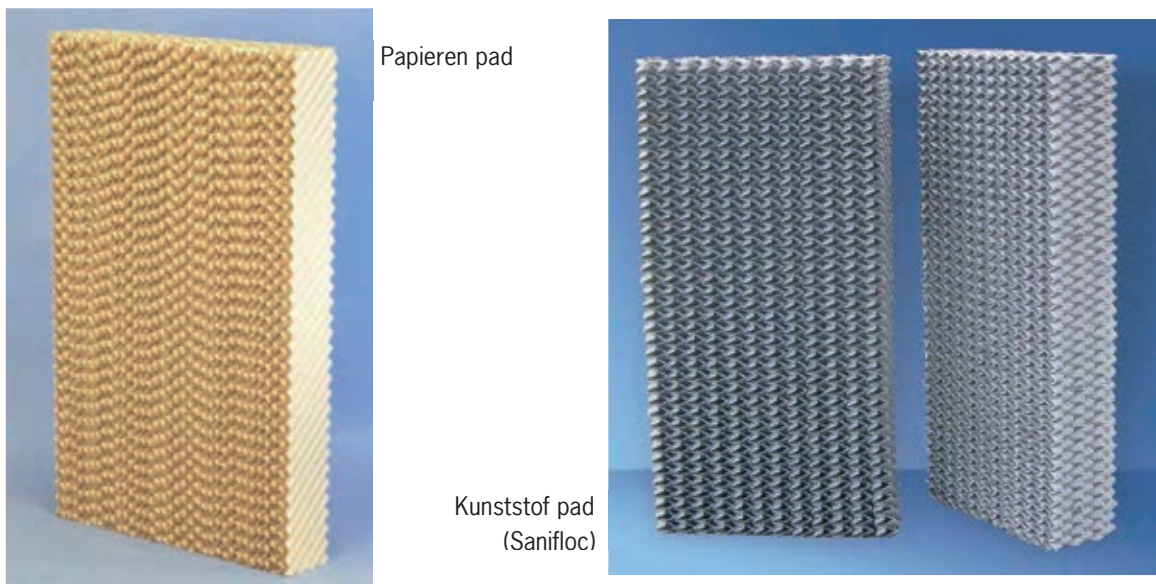
6.3.1 Proefopzet

Bij de bouw van de proefopstelling in 2012 in een 8 meter tralie van de gesloten kas van Lans Tomaten in rilland is gebruik gemaakt van een kunststof pad, de AK150 (zie Figuur 6.6.).

Deze pad was indertijd gekozen vanwege de goede specificaties. Het luchtzijdige drukverlies was laag en de waterverdamping in geval deze pad in een standaard pad&fan-installatie wordt gebruikt is hoog. Het vermoeden voor de oorzaak van de tegenvallende ontvochtiging in 2012, was dat dit pad-materiaal misschien de lucht té gemakkelijk liet passeren en dat daardoor de uitwisseling van vocht niet voldoende kans kreeg.

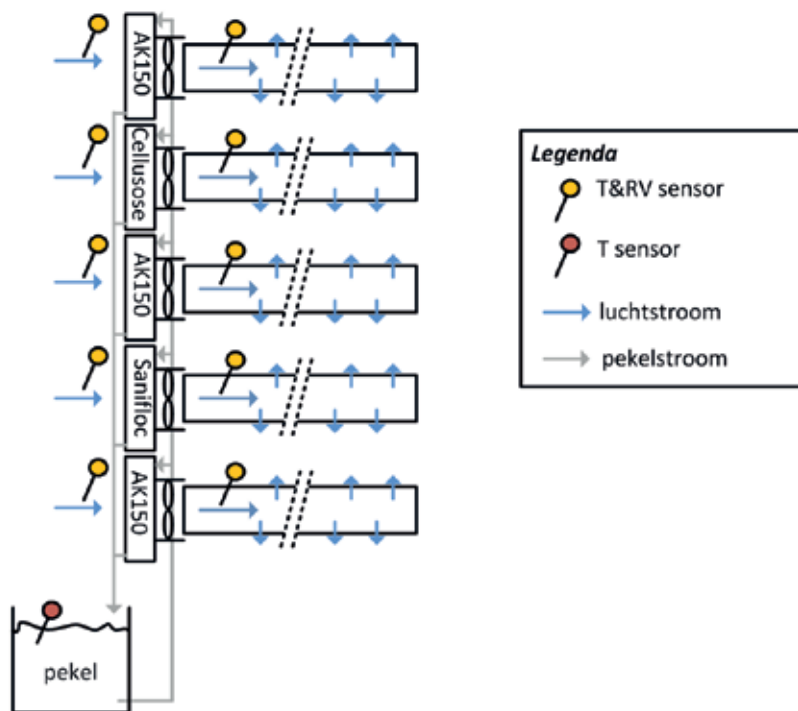
Om dit uit te zoeken is de prestatie van de AK150 pad vergeleken met de prestatie van twee andere pad-materialen. Hiervoor is gebruik gemaakt van een standaard papieren pad, het materiaal wat in het overgrote deel van de pad&fan systemen in de wereld wordt gebruikt, en van een kunststof variant van de papieren pad. Beide alternatieve materialen zijn in *Figuur 6.7.* getoond. Met name van de Sanifloc werd veel verwacht omdat het oppervlak van dit materiaal voorzien is van kleine kunststof haartjes die de vloeistof die over de pad gesproeid wordt heel goed zou moeten verdelen.

De installatie bij Lans bestaat uit 5 luchtslurven en ventilator in elke luchtslurf trekt de vochtige kaslucht via een pad van 1.20 meter hoog, 1.50 meter breed en 30 cm dik. Elke ventilator verplaatst 6080 m³ lucht per uur. Met een pad-oppervlak van 1.80 m² betekent dit een luchtsnelheid van 0.93 m/s door de pads. Dit is een zeer gebruikelijke luchtsnelheid voor de standaard pad&fan systemen.



Figuur 6.7. de twee alternatieve padmaterialen die zijn beproefd.

Ten behoeve van de bestudering van het verschil in ontvochtigingscapaciteit van de andere twee pad-materialen in vergelijking van de AK150 zijn twee van de 5 slurven voorzien van die alternatieve pads. Een schematische weergave van de proefopstelling is getoond in Figuur 6.8. en een Foto van de opstelling is afgebeeld in Figuur 6.9.



Figuur 6.8. Schematische weergave van de proefopstelling.

De opstelling kan beschouwd worden als 5 parallele luchtbehandelingskasten die lucht uit dezelfde ruimte aanzuigen (de linkerkant van het schema), waardoor de lucht via verschillende pads wordt ontvochtigd. In de analyse van de ontvochtiging is gekeken in welke mate de lucht van de 2^e, 3^e en 4^e slurf door de hygroscopische ontvochtiging gedroogd werd (de 1^e en 5^e slurf zijn als rand-slurf bestempeld en buiten beschouwing gelaten).

Onderstaande Foto toont in het midden de standaard AK150 gaas-pad. Aan de voorkant (links) is een stuk van de papieren pad te zien en rechts van de AK150 pad, het lichtgrijze deel, is de Sanifloc kunststof pad. In de verte is nog een donker stuk pad-wall te zien. Dat stuk hoort bij de 5e luchtslurf en is weer een AK150 -pad. Ter linker zijde naast de papieren pad (niet te zien op de foto) zit ook nog een AK150 -pad, behorend bij de 1e slurf.



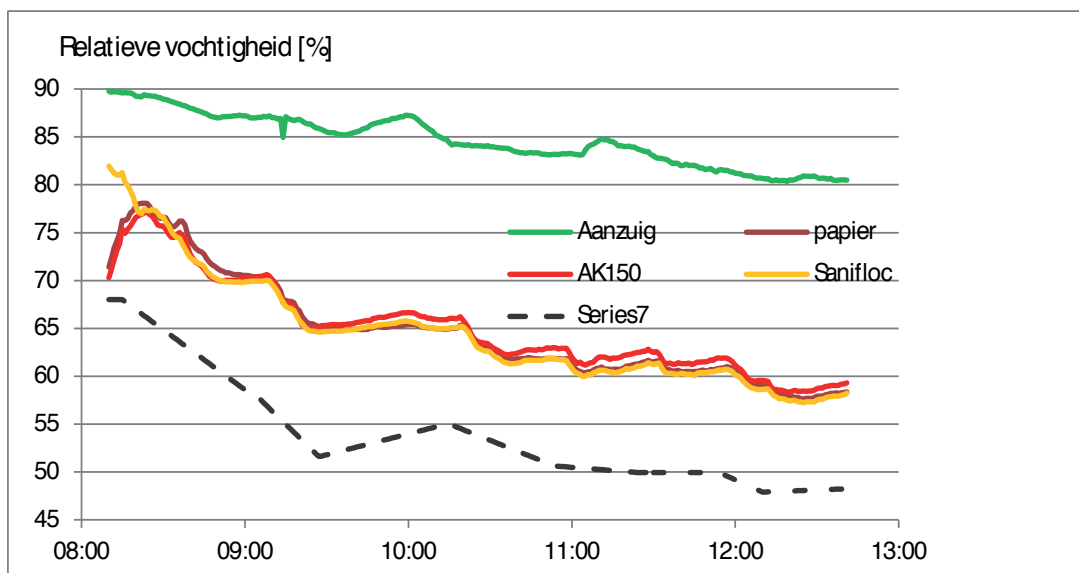
Figuur 6.9. Foto van de proefopstelling waarop de drie verschillende materialen te zien zijn

Voor het realiseren van een CaCl_2 oplossing met een voldoende lage wateractiviteit is in dit experiment geen gebruik gemaakt van de regeneratie-unit (die was op het moment van deze meting defect), maar is gedurende de meting steeds nieuwe vaste CaCl_2 aan de oplossing toegevoegd. Zoals te zien in **Error! Reference source not found.** (volgende paragraaf) kon de wateractiviteit hiermee rond de 50% worden gehouden. De oplossing had dus steeds een CaCl_2 -concentratie van rond de 37 massa-procenten. De wateractiviteit is gemeten door om het half uur een sample van de vloeistof te nemen en de RV van de lucht boven die vloeistof te meten in een afgesloten en geïsoleerde bus.

6.3.2 Resultaten

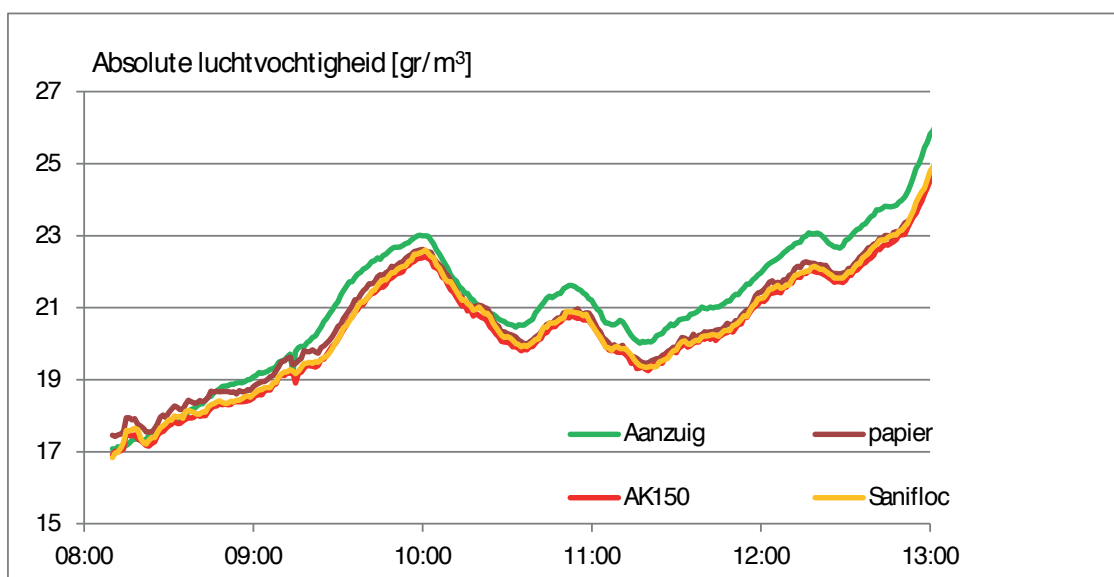
Op vrijdag 6 september is tussen 08:00 en 12:30 gemeten aan de ontvochtigingscapaciteit van de verschillende pad-materialen. De resultaten van deze metingen zijn getoond in **Error! Reference source not found.** in de vorm van een gemeten luchtvochtigheid aan de ingangszijde (voor de pads) en aan de uitgangszijde (in de slurf) .

Wat opvalt aan de Figuur is dat de verschillen tussen de verschillende pads bijzonder klein zijn en dat de luchtvochtigheid van de uitgaande lucht dichter bij de wateractiviteit ligt dan bij de relatieve luchtvochtigheid van de ingaande lucht. Wanneer we de pad efficiency definiëren als: $\text{eff} = (RV_{\text{in}} - RV_{\text{uit}}) / (RV_{\text{in}} - RV_{\text{zout}})$, dan schommelt de efficiency van alle drie de pad-materialen rond de 65%. In deze formule is RV_{in} de luchtvochtigheid van de intredende kaslucht, RV_{uit} de relatieve luchtvochtigheid van de behandelde lucht en RV_{zout} de wateractiviteit is van het zout.



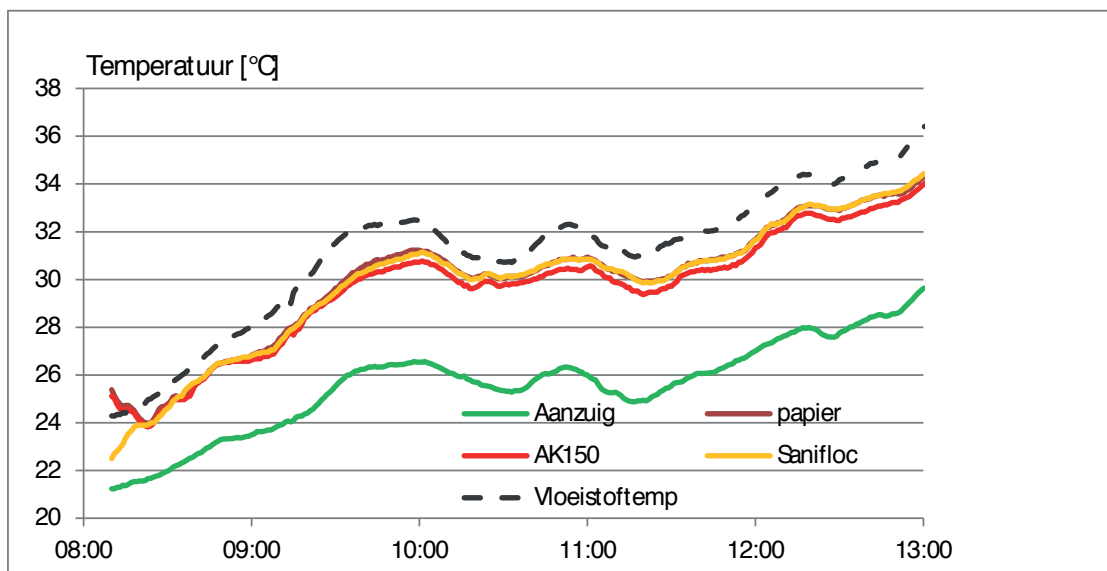
Figuur 6.10. Relatieve luchtvochtigheid van de ingaande lucht (groen) en uitgaande lucht (de drie lijnen in het midden) en de wateractiviteit van de hygroscopische vloeistof (onderbroken lijn onderin de grafiek).

Voor de beoordeling van de ontvochtigingscapaciteit van een installatie gaat het echter niet zozeer om het verschil in relatieve luchtvochtigheid tussen de ingaande en uitgaande lucht, maar om het verschil in absolute luchtvochtigheid. Onderstaande Figuur toont de resultaten uit dezelfde metingen, maar dan uitgedrukt in gram vocht per m³ lucht. De grote afname van de luchtvochtigheid die Figuur 6.10. suggereert betreft in werkelijkheid dus slechts een kleine afname van de absolute luchtvochtigheid.



Figuur 6.11. Absolute luchtvochtigheid van de ingaande lucht (groen) en uitgaande lucht (de drie lijnen in het midden)

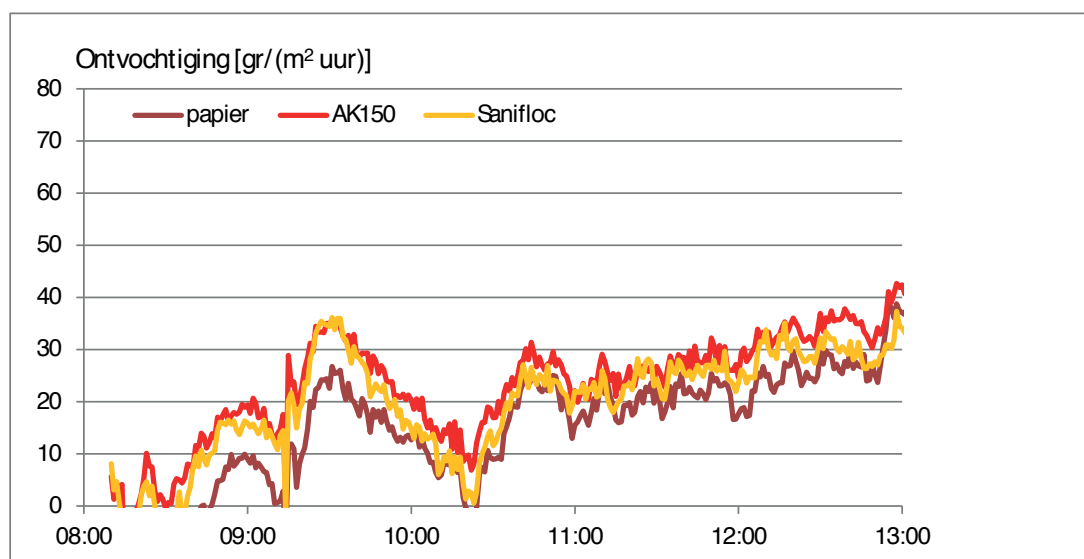
De grote verlaging van de relatieve luchtvochtigheid komt dus vooral door de opwarming van de lucht wordt in de pads. Dit is te zien in Figuur 6.12. Doordat latente warmte bij de condensatie van vocht in de hygroscopische vloeistof vrijkomt wordt de vloeistof warm en aangezien er in dit experiment geen koeling van het zout werd toegepast werd de vloeistof steeds warmer. Wat er feitelijk op deze zonnige morgen gebeurde is dat de zon de kas verwarmde en het gewas liet verdampen. In de pads werd de zonne-energie die in de waterdamp was gaan zitten weer omgezet in warmte, waardoor de uitblaas temperatuur van de lucht uit de slangen steeds verder opliep.



Figuur 6.12. Temperaturen rond de meetopstelling (de temperatuur van de hygroscopische vloeistof is als een stippellijn getekend omdat die niet continue gemeten werd. Deze is een aantal malen met een hand-thermometer bepaald, waaruit bleek dat die steeds één of twee graden boven de uitgeblazen luchttemperatuur lag.

Natuurlijk is de uiteindelijke ontvochtigingscapaciteit het product van de ontvochtiging per m^3 lucht en de hoeveelheid lucht die door de pad geblazen kan worden. In het experiment is die bepaald door het luchtsnelheidsprofiel in de slurven te meten. Er werden luchtsnelheden rond de 4.8 m/s gemeten en er was geen verschil merkbaar tussen de vijf verschillende slurven. Dit was onverwacht, omdat er van uitgegaan was dat de drukval over de papieren pad het hoogst zou zijn en de drukval over de gaas-pad het laagst. Er werden dus in de 1^e, 3^e en 5^e slurf de hoogste luchtsnelheden verwacht en in de 2^e slurf de laagste. Het feit dat deze verwachting niet terug te zien was betekent dat de drukval over de warmtewisselaar, die in alle 5 de luchtkanalen aanwezig is om in de winter het verwarmingsvermogen voor de kas te kunnen leveren, overheersend is in de totale keten van drukverliezen. Overigens is deze warmtewisselaar geen noodzakelijk onderdeel van het concept voor hygroscopische ontvochtiging. In een praktijktoepassing zou deze warmtewisselaar niet nodig zijn.

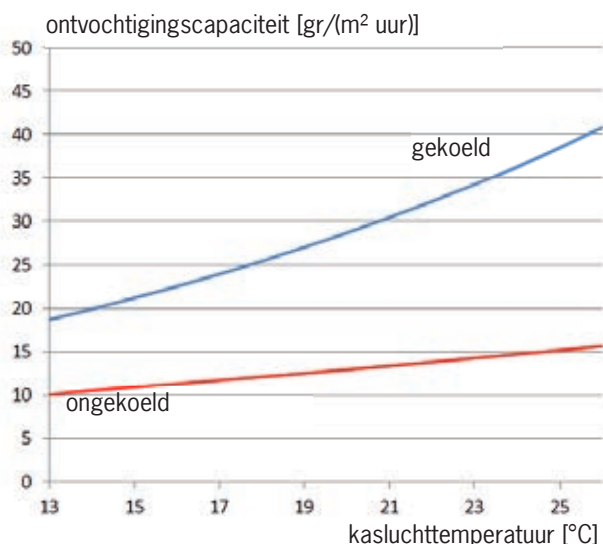
Met de constatering dat het luchtdebiet door alle drie de pads gelijk was, 33 m^3 per m^2 kas per uur, kan gemakkelijk de gemeten verlaging van de luchtvochtigheid worden omgerekend in een ontvochtigingscapaciteit. De resultaten hiervan staan in Figuur 6.13



Figuur 6.13. Gemeten ontvochtigingscapaciteit van drie typen pad-materiaal bij gelijke lucht- en zoutcondities

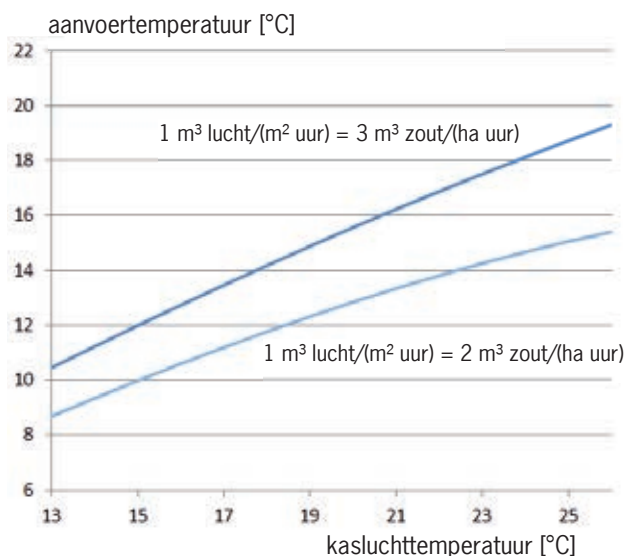
6.3.3 Conclusies van de proeven aan alternatieve padmaterialen

De belangrijkste conclusie uit de experimenten met de verschillende pad-materialen die bij Lans beproefd zijn is dat de gaas-pad AK150 het net zo goed deed als de twee andere alternatieven. Ook bleek de relatieve luchtvochtigheid van de lucht na passage van de pad dicht bij de wateractiviteit van de zoutoplossing uit te komen. Een pad-efficiency van 65% is niet slecht, gegeven het feit dat de praktisch maximaal haalbare efficiency rond de 80% ligt. De belangrijkste reden voor het feit dat de ontvochtiging in het experiment zoveel lager uitkwam dan gehoopt (gemiddeld 1.2 gr/m³ lucht in plaats van de 3 gr/m³ die verwacht werd) ligt dan ook niet zozeer aan de pad, maar vooral aan de temperatuur van de zoutoplossing. Bij een ontvochtigingscapaciteit van 30 gr/(m² uur) op een kasoppervlak van 1000 m² (het oppervlak waarop het experiment met de hygroscopische ontvochtiging was gebouwd) komt er 20 kW verwarmingsvermogen uit de condensatie van vocht in de zoutoplossing vrij, waardoor de temperatuur van de zoutoplossing oploopt. Bij een hogere temperatuur neemt de absolute luchtvochtigheid boven de zoutoplossing toe, en kan de absolute luchtvochtigheid van de lucht die over deze vloeistof stroomt minder ver afnemen. Koeling van de vloeistof voorkomt dit effect. Onderstaande Figuur toont de ontvochtigingscapaciteit van een hygroscopische ontvochtigingsinstallatie in geval de zoutoplossing niet gekoeld wordt en in geval het zout zodanig gekoeld wordt dat de uittredende luchttemperatuur gelijk blijft aan de intredende temperatuur. Voor de overdrachtskarakteristieken geldt dat die zijn gebaseerd op de uitvoeringsvorm zoals bij Lans is geplaatst, dus met $8.9 \cdot 10^{-5}$ m³ AK150 pad-materiaal per m³/uur luchtverplaatsingscapaciteit (bij het experiment stroomde er 6080 m³/uur door een pad van 1.80 m² oppervlak en 0.30 cm dik).



Figuur 6.14. Ontvochtigingscapaciteit van ongekoeld en gekoeld hygroscopisch zout bij een luchtcirculatiecapaciteit van 10 m³/(m² uur) als functie van de kaslucht temperatuur. De luchtvochtigheid van de kas is gesteld op 80% RV, de pad-efficiëntie op 0.65 en de wateractiviteit van het zout op 55%. Bij gebruik van gekoeld zout blijft de uittredetemperatuur van de lucht vanuit de pad gelijk aan de intredetemperatuur.

Figuur 6.14. laat zien dat de koeling van de hygroscopische vloeistof een zeer groot effect heeft op de ontvochtigingscapaciteit van het systeem. Ongekoeld zout, dus bij gebruik van een systeem waar de latente warmte direct weer aan de kaslucht wordt afgegeven en de lucht dus warmer uit de hygroscopische ontvochtigingsinstallatie komt dan dat de lucht er in stroomt (zie ook Figuur 6.12.) levert een 2 tot 2.5 maal kleinere ontvochtiging dan gekoeld zout. Gekoeld zout betekent in dit geval dat de hygroscopische vloeistof op een zodanige temperatuur wordt aangevoerd dat de kaslucht met dezelfde temperatuur de ontvochtiger uitstroomt als dat die er in komt. De hygroscopische vloeistof hoeft hiervoor overigens niet heel diep gekoeld te worden. Afhankelijk van het gekozen verversingsdebiet en de kaskluchtcondities moet de vloeistof op een temperatuur tussen de 8 en 18 °C worden gehouden, zoals in Figuur 6.15. in beeld is gebracht.



Figuur 6.15. Benodigde aanvoertemperatuur van het CaCl_2 om te voorkomen dat de lucht in de ontvochtigingsunit opwarmt bij twee vloeistofdebieten.

In Figuur 6.15. is het vloeistofdebiet uitgedrukt als factor van het luchtdebiet. Bij een installatie met een luchtcirculatie-debiet van $10 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \text{ uur})$ geldt de onderste lijn dus voor het gebruik van $20 \text{ m}^3/(\text{ha uur})$.

Het opvallendste resultaat van de analyses die naar aanleiding van de gedetailleerde metingen aan het hygroscopisch droogproces zijn gedaan is de constatering dat de koeling van de hygroscopische vloeistof een enorme vergroting van de ontvochtigingscapaciteit van een installatie geeft. De temperatuur waarnaar de CaCl_2 -oplossing teruggebracht moet worden is een stuk minder laag dan de temperatuur waarop koelwater t.b.v. ontvochtiging met een Next Generation semigesloten kas gebracht moet worden. In de dagelijkse praktijk van het gebruik van een hygroscopische ontvochtigingsinstallatie zal de oplossing naar temperaturen tussen de 10 en 15 °C gebracht moeten kunnen worden, waardoor een warmtepomp tenminste 10% efficiënter zal kunnen werken dan de warmtepomp die in het Next Generation systeem koelwater moet maken.

Behalve dat de toepassing van gekoeld CaCl_2 de capaciteit van het systeem toeneemt voorkomt het gebruik van gekoeld zout ook waarschijnlijk een verbetering van de homogeniteit van de kasluchttemperatuur over de lengte van het pad. Immers, als de lucht op kastemperatuur wordt ingeblazen zal deze over de hele lengte van de slurf gelijk in temperatuur blijven.

6.4 Hygroscopische ontvochtiging versus Next Generation

Ondanks het feit dat er in het kader van dit project geen echt kasexperiment is uitgevoerd naar de mogelijkheid van het gebruik van de hygroscopische ontvochtigingstechniek geeft de combinatie van de resultaten van de metingen aan de overdrachtskarakteristieken van de bij Lans toegepaste padwall en de jaarrond metingen aan de Next Generation kas een goed beeld van de perspectieven van het hygroscopisch drogen. Als we kijken naar de ontvochtigingscapaciteit van gekoeld CaCl_2 (Figuur 6.14.) en de ontvochtigingscapaciteit die de Next Generation luchtbehandelingskast in het afgelopen jaar heeft laten zien (Figuur 4.7.) dan is het duidelijk dat een hygroscopische ontvochtigingsinstallatie met dezelfde luchtzijdige capaciteit ($10 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \text{ uur})$) beduidend meer had kunnen ontvochtigen. Waarschijnlijk waren de ramen bij gebruik van zo'n hygroscopische ontvochtigingsinstallatie op de afgescheiden 3680 m^2 wél veel vaker en/of meer dicht gebleven. Hierdoor zou het benodigde buisverwarmingsvermogen nog verder verlaagd zijn ten opzichte van de referentie dan in de metingen die getoond zijn in Figuur 4.8. In het afgelopen experiment betrof de verlaging van de benodigde buisverwarming $240 \text{ MJ}/(\text{m}^2 \text{ jaar})$ en als er in de winterperiode 10 liter meer ontvochtiging via het de ontvochtiger zou zijn gerealiseerd in plaats van via de ramen dan zou de vermindering van de verwarmingsbehoefte oplopen naar ongeveer $265 \text{ MJ}/(\text{m}^2 \text{ jaar})$, ofwel bijna een m^3 aardgas equivalenten extra besparing op het benodigde buisvermogen.

Daarnaast is bij het gebruik van hygroscopische ontvochtiging geen naverwarming nodig. In tegenstelling tot de Next Generation Semigesloten kas neemt bij een hygroscopisch gedroogde kas de warmtebehoefte wel substantieel af. Echter, de behoefte aan koude tijdens het ontvochtigingsproces is bij hygroscopisch ontvochtigen slechts de helft in vergelijking met de koudebehoefte in het Next Generation concept. Deze koude vormde bij Next Generation de bron voor 'duurzame energie' voor de warmtepomp. In de hygroscopisch ontvochtigde kas wordt het aandeel van de warmtepomp in de verwarming dus minder, tenzij de kas over een aquifer beschikt. De lagere koudebehoefte plus de efficiënter werkende warmtepomp (door de minder lage temperatuur die voor de koeling van het CaCl_2 nodig is) maken dat de warmtepomp 5 tot 15 kWh per m^2 per jaar minder zal gaan gebruiken. Tegenover deze besparing van elektriciteit van de warmtepomp staat een extra stroom verbruikende regeneratie. Afhankelijk van de kwaliteit van de regenerator zal het verbruik hiervan bij een 50 liter (zonder aquifer) tot 150 liter per m^2 per jaar (met aquifer) ontvochtiging tussen de 5 en 15 kWh per m^2 per jaar uitkomen. Het totale elektriciteitsverbruik voor de ontvochtiging zal voor beide systemen dus ongeveer gelijk zijn; rond de 30 kWh/ m^2 jaar). Overigens geldt voor beide systemen dat dit elektriciteitsverbruik geen verlies van energie betekent omdat het in de vorm van bruikbare warmte voor de kasverwarming vrijkomt.

Op grond van bovenstaande redeneringen is de verwachting dat de energiebesparing die met het hygroscopische droogstelsel kan worden bereikt 1 of misschien 2 m^3/m^2 per jaar hoger zal uitkomen dan bij gebruik van het Next Generation Semigesloten kas systeem. Het grootste verschil tussen beide systemen ligt in het potentiële toepassingsgebied. Bij lagere teelttemperaturen en een lage nagestreefde luchtvochtigheid neemt de capaciteit van een koelblok als ontvochtigingssysteem snel af, waar de capaciteit van een hygroscopisch systeem langzaam afneemt. In bijvoorbeeld een aardbeienteelt zal een Next Generation concept dus heel slecht presteren, waar een hygroscopisch ontvochtigingssysteem nog wel zou kunnen werken. Omgekeerd zal het Next Generation semigesloten kas concept in de ontvochtiging van bijvoorbeeld de opkweekfase van een phalaenopsis-teelt.

Voor onbelichte groentegewassen zal ontvochtiging met een hygroscopisch systeem in principe gemakkelijker moeten kunnen dan volgens het Next Generation Semigesloten Kassysteem, maar is de toepassing alleen reëel als er een investeringskostenvoordeel aannemelijk is. Het feit dat de warmtepomp kleiner gekozen kan worden en de luchtbehandelingskasten eenvoudiger worden (geen koel- en verwarmingsblok met ieder hun eigen temperatuurregeling, maar één hygroscopisch vocht- en warmte-uitwisselend blok) levert een kostenbesparing, maar aan de andere kant levert de regenerator op dit moment forse kosten met zich mee. Ook het feit dat CaCl_2 (en andere) hygroscopische vloeistoffen sterk corrosief zijn heeft een kosten-opdrijvende werking. De principes waarlangs de hygroscopische ontvochtiging plaatsvindt zijn echter zeer eenvoudig en de belangrijkste warmtewisselaar is niet anders dan kunststof, open gaasmateriaal. Mogelijk levert een schaalvergroting die bij warmtepompen en de standaard koelblokken die bij Next Generation gebruikt worden tot een lage productieprijs hebben geleid ook bij hygroscopische ontvochtiging een doorslaggevende prijsverlaging. Het gaat hierbij vooral om de prijs van de regenerator, welke de duurste component van de installatie zal zijn.

7 Conclusies

De uitvoering van een grootschalig experiment met een nieuwe techniek verloopt met vallen en opstaan waardoor de waarnemingen aan de werking van het Next Generation Semigesloten Kas concept niet over de hele teeltperiode aaneengesloten heeft plaatsgevonden. Toch kon door middel van de karakterisering van de werking van de installatie gedurende de perioden dat alles werkte zoals beoogd een goed beeld verkregen worden van de potentie van dit concept.

De ervaringen leiden tot de volgende conclusies

- o Het meer gesloten houden van de kas met een Next Generation semigesloten kas zorgt niet voor een verlaging van de warmtevraag, maar zorgt voor een verduurzaming van de invulling van die warmtevraag. Dit is een vergelijkbaar principe als waarop de eerdere generaties (semi-)gesloten kassen een energiebesparing realiseerden.
- o De gewasgroei in de Next Generation Semigesloten Kas was niet anders dan die in de referentie en er was slechts een geringe verandering nodig in de wijze van klimaatregeling om het Next Generation Semigesloten Kas systeem te kunnen laten werken. De minimumbuis op het ondernet moest worden uitgeschakeld en de door de tuinder gebruikte strategie waar de ventilatielijne heel dicht op de stooklijn werd gelegd moest worden vervangen door de instelling van een minimumraamstand over een traject dat bij een 3 procent-punten hogere RV begon dan het RV-criterium waarboven de Next Generation ontvochtiger werd ingeschakeld
- o In de experimenten is gewerkt met een luchtcirculatiecapaciteit van maximaal 10 m³/(m² uur). Deze capaciteit bleek voldoende om een energiebesparing van 10 m³/(m² jaar) te realiseren ten opzichte van een referentieteelte die 40 m³/(m² jaar) verbruikt; een besparing dus van 25%. Hiervoor moet de kas uitgerust zijn met een warmtepomp (50 kWe/ha), een WKK-unit (130 kWe/ha) en een aquifer (max debiet: 24 m³/(ha uur)).
- o Zonder aquifer daalt de realiseerbare energiebesparing in een teelt zoals bij Lans heeft plaatsgevonden naar 7.5 m³/m² jaar (19%).
- o Bij de huidige gasprijs komt de simpele terugverdientijd (zonder subsidie) op ruim 7½ jaar.
- o De betere economische prestatie en het feit dat het een systeem is waar tuinders in teelttechnische zin zonder meer direct mee aan de gang zouden kunnen maakt de Next Generation Semigesloten kas inderdaad een verdere verbetering van de oudere generaties (semi)gesloten kassen.

Behalve het Next Generation Semigesloten Kas concept is ook een alternatieve technologie waarmee de kas in de winter zoveel mogelijk gesloten gehouden kan worden bestudeerd. Dit is een systeem gebaseerd op hygroscopische ontvochtiging. In 2012 is Lans tomaten met de beproeving van zo'n systeem begonnen maar de resultaten werden niet positief bevonden. In het kader van voorliggend project is opnieuw naar de installatie gekeken om de problemen nauwkeuriger vast te kunnen stellen. De conclusies hieruit zijn:

- o De als tegenvallend beschreven resultaten uit de proven van 2012 hadden niet zozeer met een slechte prestatie, maar vooral met onrealistisch hoge verwachtingen te maken.
- o De eenvoudige uitvoeringsvorm waarmee het hygroscopisch ontvochtigingssysteem is aangelegd geeft een behoorlijk goede vocht- en warmte-uitwisseling. De alternatieve pad-materialen, waarvan betere overdrachtseigenschappen verwacht werden, bleken geen verbetering op te leveren.
- o Voor een hoge ontvochtigingscapaciteit is het van groot belang dat de hygroscopische vloeistof gekoeld wordt. Het daarvoor benodigde koelvermogen (ordegrootte 50 kW voor de 1000 m² waarop het ontvochtigingssysteem was aangelegd) was in de huidige opzet onvoldoende. Dit verklaart in belangrijke mate de lage ontvochtigingscapaciteiten die gemeten zijn.
- o De huidige overdrachtswaarde van het systeem zou bij toepassing in een luchtcirculatiesysteem van 10 m³/(m² uur) een goed passende ontvochtigingscapaciteit voor een onbelichte groenteteelt opleveren. Wellicht zou het gebruik van meer dan de nu gebruikte 8.9 10⁵ m³ pad-materiaal per m³/uur luchtverplaatsings-capaciteit tot een kleine efficiëntieverbetere kunnen leiden in de zin dat dezelfde ontvochtigingscapaciteit met een kleiner luchtcirculatie-debiet gerealiseerd zou kunnen worden,
- o Hygroscopische ontvochtiging is een serieus alternatief voor ontvochtiging in vergelijking met het ontvochtigen aan een koud oppervlak. Vooral in drogere en/of koudere kasluchtomstandigheden is de capaciteit per m³/uur luchtcirculatie aanzienlijk groter. Voor dergelijke omstandigheden zijn de besparingsperspectieven

een stuk groter dan de besparingen die met Next Generation behaald zouden kunnen worden. In een teelt zoals de onbelichte tomatenteelt bij Lans zal een systeem op basis van hygroskopische ontvochtiging 11 of misschien 12 m³ aardgas equivalenten (Slochteren kwaliteit) per m² per jaar kunnen besparen ten opzichte van de daar nu gehanteerde referentie.

- o Het economische perspectief voor hygroskopische ontvochtiging hangt heel sterk af van de kosten van de regenerator. De luchtbehandelingskast kan goedkoper worden gebouwd dan de standaard luchtbehandelingskast voor het nieuwe telen omdat het naverwarmingsblok kan worden vervangen door de kunststof pad. De warmtepomp kan ook wat kleiner worden gekozen.

