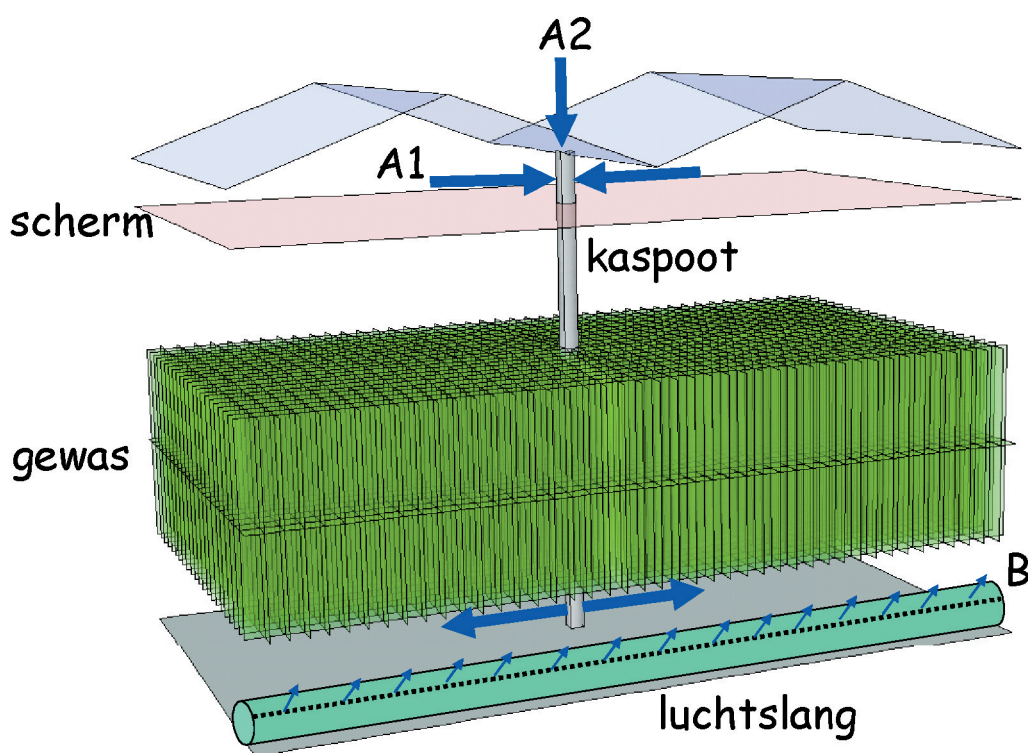


Gecontroleerde vochtafvoer bij schermen

J.B. Campen





Gecontroleerde vochtafvoer bij schermen

J.B. Campen

© 2006 Wageningen, Plant Research International B.V.

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 Plant Research International B.V.

Exemplaren van dit rapport kunnen bij de (eerste) auteur worden besteld. Bij toezending wordt een factuur toegevoegd; de kosten (incl. verzend- en administratiekosten) bedragen € 25 per exemplaar.

Plant Research International B.V.

Adres : Droevendaalsesteeg 1, Wageningen
: Postbus 16, 6700 AA Wageningen
Tel. : 0317 - 47 70 00
Fax : 0317 - 41 80 94
E-mail : info.pri@wur.nl
Internet : www.pri.wur.nl

Inhoudsopgave

	pagina
Tuinder's samenvatting	1
1. Inleiding	5
2. Methoden	7
3. Resultaten	9
3.1 Dimensionering van het systeem	9
3.2 Potentiële energiebesparing door geforceerde vochtafvoer	11
3.3 Klimaat tijdens kieren	12
3.4 Geforceerd vochtafvoeren	17
3.5 Vochtafvoer met een luchtslang	22
4. Conclusies en discussie	25
Literatuur	27
Samenvatting	29

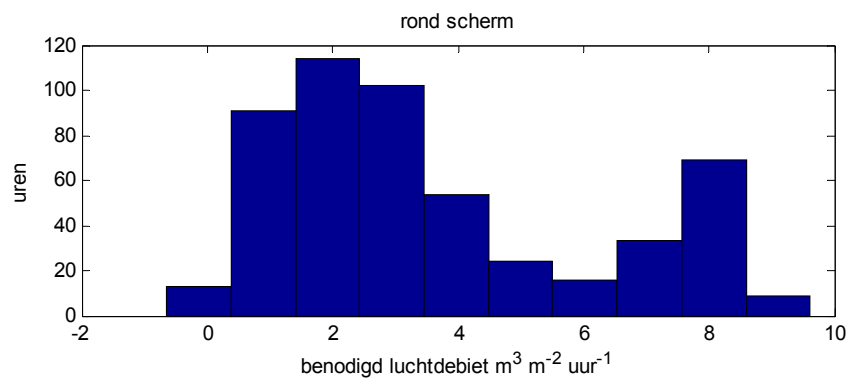
Tuinder's samenvatting

Gedoseerde vochtafvoer tijdens schermen

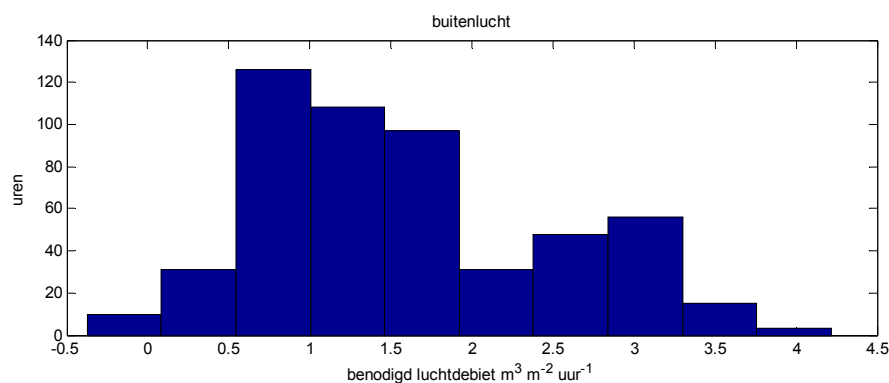
Bij het gebruik van een energiescherm in een tuinbouwkas kan door de verdamping van het gewas de luchtvochtigheid onder het scherm te hoog worden. Om vocht af te voeren wordt vaak gebruik gemaakt van een vochtkier, waarbij het scherm een stukje wordt opengetrokken. De droge koude lucht van boven het scherm wordt uitgewisseld met de vochtige warme lucht onder het scherm. Vaak gaat deze uitwisseling van lucht niet gecontroleerd zodat er lokaal in de kas koude plekken ontstaan, ook wel aangeduid als kouval. Dit probleem is voor veel tuinders aanleiding om het energiescherm minder te gebruiken of helemaal niet te installeren.

Alternatieven voor de vochtkier

Er is al naar verschillende oplossingen gezocht voor dit probleem. Schermfabrikanten hebben geprobeerd het vochttransport door het scherm te vergroten maar de capaciteit was voor de meeste gewassen niet voldoende of de energiebesparing ging door de maatregelen enorm achteruit. Er is ook onderzoek gedaan naar de mogelijkheden van luchtuitwisseling boven en onder het scherm met warmteterugwinning. Dit zou optimaal zijn omdat hierbij alleen het vocht wordt afgevoerd en niet de warmte. De systemen bleken allemaal te complex en daardoor te duur.



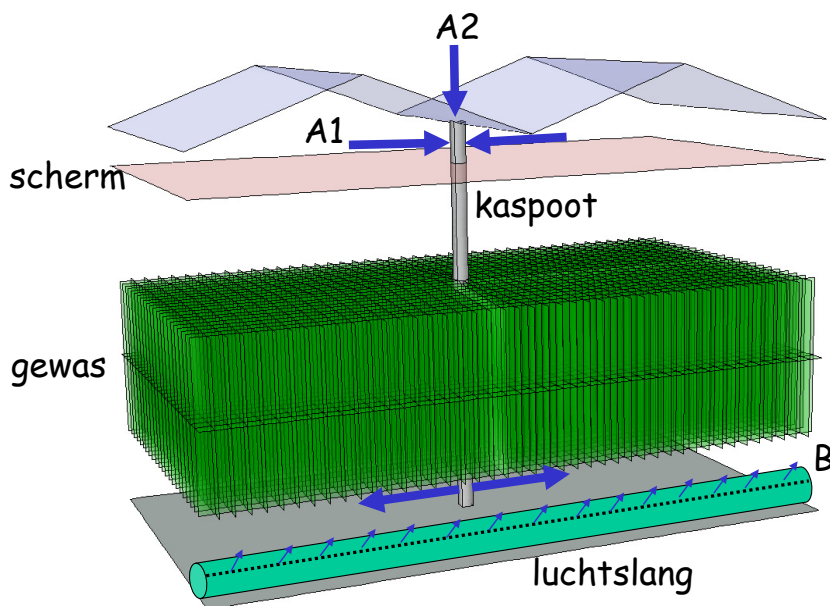
Figuur 1. Het aantal uren per jaar dat een hoeveelheid luchtdebiet nodig is voor de vochtafvoer in de kas als lucht van boven het scherm wordt gebruikt.



Figuur 2. Het aantal uren per jaar dat een hoeveelheid luchtdebiet nodig is voor de vochtafvoer in de kas als lucht van buiten wordt gebruikt.

De nieuwste methode voor de vochttafvoer is vergelijkbaar is met de huidige vocht-kier echter beter controleerbaar. De benodigde luchtuitwisseling voor de vochttafvoer wordt mechanisch gedaan. Lucht wordt door een ventilator van boven het scherm of van buiten in de kas gebracht. Door de overdruk die dan ontstaat, stroomt de vochtige lucht door het scherm naar boven. Het scherm hoeft dus niet te worden geopend. Omdat de vochttafvoer precies kan worden aangepast aan de verdamping van het gewas is het energieverlies ook minimaal. Als lucht van buiten wordt gebruikt voor de vochttafvoer is er minder luchtverplaatsing nodig aangezien deze lucht droger is dan de lucht boven het scherm. Het aantal uren per jaar dat een bepaalde hoeveelheid lucht nodig is voor de vochttafvoer tijdens het schermen is in de Figuur 1 en 2 weergegeven als de lucht boven het scherm wordt gebruikt en buitenlucht.

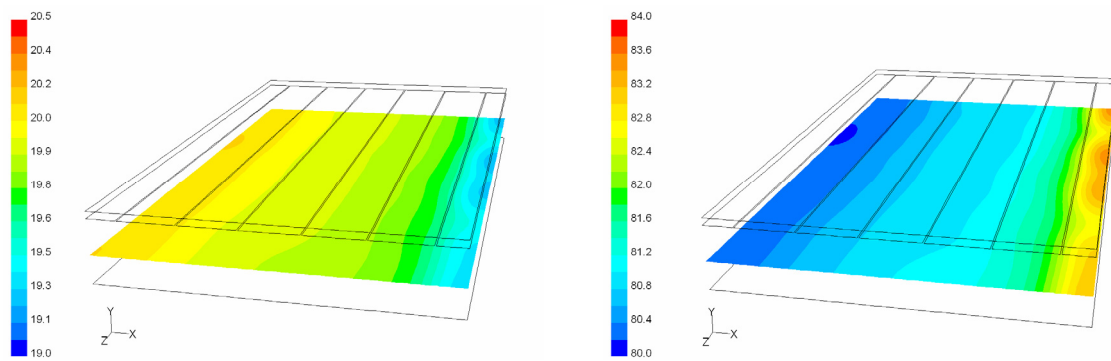
Inpassing van het systeem in de kas



Figuur 3. Geforceerd vochttafvoeren door gebruik te maken van de kaspoot A waarbij de lucht boven het scherm A1 of buitenlucht A2 gebruikt kan worden of middels een luchtslang B.

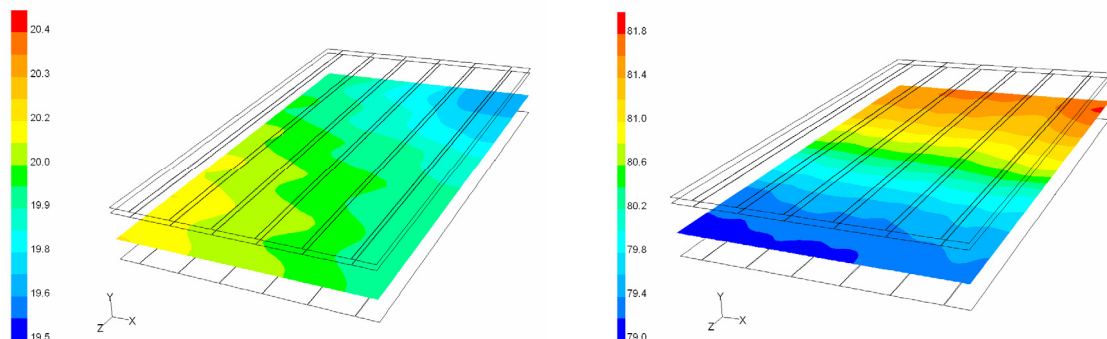
Het systeem kan in de kas worden gebruikt door de kaspoten te gebruiken (in Figuur 3 aangegeven als optie A). De kaspoot moet worden aangepast zodat deze als een luchtkanaal gebruikt kan worden. Door er een ventilator in te plaatsen kan er lucht van boven het scherm (A1) of van buiten (A2) worden aangezogen en onder het gewas worden uitgeblazen. Voor het geval dat de lucht van buiten wordt aangezogen zal er een speciale opening in de goot gemaakt moeten worden. Een alternatieve methode kan zijn een luchtslang te gebruiken vergelijkbaar met de CO₂ darm (in Figuur 3 aangegeven als optie B). De hoeveelheid lucht die moet worden verplaatst is wel meer dan die wordt aangehouden voor de CO₂ dosering zoals in Figuur 2 te zien is. Gebruik van de luchtslang heeft als voordeel dat de luchtverdeling beter is en het investeringsniveau lager. Het energieverbruik van de ventilatoren is minimaal en wordt gecompenseerd door de hogere energiebesparing. Het systeem bespaart energie ten opzichte van de vocht-kier omdat de vochttafvoer exact afgestemd kan worden op de vochtproductie van het gewas. Het grootste voordeel van het systeem is dat het de zekerheid geeft dat er voldoende vochttafvoer is zonder dat dit gevolgen heeft voor het klimaat.

Klimaat tijdens vochtafvoer



Figuur 4. *Klimaat op een hoogte van 2 meter in de kas (links temperatuur en rechts relatieve luchtvochtigheid) tijdens het kieren, het scherm is 3 minuten open en de kier heeft een breedte heeft van 10 cm.*

De werking van het systeem is met simulatie berekeningen bekeken waarbij vooral gekeken is naar de temperatuur en vochtverdeling in de kas. De temperatuur en vochtverdeling indien een vocht kier wordt gebruikt voor de vocht afvoer is in Figuur 4 te zien. De temperatuur en relatieve luchtvochtigheid midden in het gewas zijn weergegeven als het scherm 3 minuten open is. In de beginsituatie waarin het scherm nog gesloten is, zijn de temperatuurverschillen kleiner dan 0.3 K en de relatieve luchtvochtigheid ligt tussen de 80.1 en 80.5%. De luchttemperatuur op het laagste punt van de kas met een graad gedaald ten gevolge van de vocht kier van 10 cm wat neerkomt op een opening van 2.5% van het scherm. De relatieve luchtvochtigheid toegenomen in plaats van gedaald wat de bedoeling was van de vocht kier als gevolg van de grote temperatuurdaling. Overigens had een kleinere vocht kier (<1.5%) geen kouval tot gevolg maar hiermee wordt ook minder vocht afgevoerd.



Figuur 5. *Klimaat op een hoogte van 2 meter in de kas (links temperatuur en rechts relatieve luchtvochtigheid) bij een luchttoevoer van $1.7 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ uur}^{-1}$ luchttoevoer via de kaspoot met een temperatuur van 5°C en 100% RV.*

Indien mechanisch koude droge lucht wordt ingebracht in de kas geeft dit ook aanleiding tot koude plekken nabij de uitblaasopening. Echter door de menging met de warme vochtige lucht onder het gewas zijn er nauwelijks klimaatverschillen bij het gewas waarneembaar. In Figuur 5 zijn de temperatuur en relatieve luchtvochtigheid nabij het gewas te zien indien koude droge lucht via de kaspoot wordt ingeblazen. De hoeveelheid lucht die wordt ingebracht is precies afgestemd op de vochtproductie van het gewas. De verschillen in temperatuur zijn minimaal met het systeem. De relatieve luchtvochtigheid varieert 3% over het kasoppervlak. Dit is een kleine variatie die met metingen in de kas niet waarneembaar zal zijn en die geen probleem vormt aangezien het niveau van de relatieve luchtvochtigheid goed in de hand te houden is.

Het onderzoek is gefinancierd door productschap tuinbouw en het ministerie van LNV in het kader het energieprogramma en een vervolg studie voor de praktische implementatie zal nader worden uitgewerkt. De volledige rapportage zal binnenkort op www.tuinbouw.nl te downloaden zijn.

1. Inleiding

Het gebruik van energieschermen in de glastuinbouw neemt nog steeds toe. Het gebruik leidt tot een grote energiebesparing (tot 17% per jaar bij tomaat, Ruijs *et al.*, 2005). Echter ten gevolge van het scherm kan de luchtvochtigheid onder het scherm te hoog oplopen. Om vocht af te voeren wordt het scherm een beetje opengetrokken waardoor koude droge lucht van boven het scherm mengt met de kaslucht, deze methode wordt ook wel kieren genoemd. Nadeel van deze methode is dat dit geen goed controleerbaar proces is en dat hierdoor een groot deel van de energiebesparing weer teniet wordt gedaan.

De luchtuitwisseling tijdens kieren hangt af van het temperatuurverschil boven en onder het scherm en de grootte van de opening in het scherm. Tijdens de luchtuitwisseling kunnen grote temperatuurgradiënten in de kas ontstaan. Lokaal kan de temperatuur ver dalen wat door de tuinders wordt aangeduid als een kouval. Een gecontroleerde vochtafvoer onder het scherm is daarom wenselijk. Dit kan worden gedaan door geforceerde luchtbeweging waarbij koude droge lucht van buiten of van boven het scherm door een ventilator in de kas wordt gebracht.

Er is al naar verschillende oplossingen gezocht voor dit probleem. Schermfabrikanten hebben geprobeerd het vochttransport door het scherm te vergroten maar de capaciteit was voor de meeste gewassen niet voldoende of de energiebesparing ging door de maatregelen enorm achteruit. Daarnaast is onderzoek gedaan naar de mogelijkheden van luchtuitwisseling boven en onder het scherm met warmterugwinning (Campen *et al.*, 2003). Dit zou optimaal zijn omdat hierbij alleen het vocht wordt afgevoerd en niet de warmte. De systemen bleken allemaal redelijk complex en economisch niet haalbaar bij de toen geldende energieprijzen.

Dit project voorziet in luchtuitwisseling vergelijkbaar met de huidige vochtier echter beter controleerbaar. De benodigde luchtuitwisseling t.b.v. de vochtafvoer wordt mechanisch gestuurd waardoor de energieverliezen minimaal blijven. Daarnaast wordt de kouval welke door tuinders als een groot nadeel wordt beschouwd uitgesloten.

Met berekeningen wordt gekeken naar de benodigde capaciteit van het systeem en de gevolgen voor het klimaat. Het klimaat tijdens kieren zoals dat nu gebeurt in de glastuinbouw wordt ook onderzocht. Naar aanleiding van de berekeningen worden suggesties gegeven voor een praktische uitvoering van het systeem. Hierbij wordt ook gekeken naar aspecten als geluidsniveau, duurzaamheid, energiegebruik en de interactie met de overige kasonderdelen.

Schermen worden ook toegepast ter voorkoming van lichthinder bij belichting. Onder deze verduisteringsschermen ontstaat een overschot aan vocht en warmte welke nu ook met kieren wordt afgevoerd. Het beschouwde ventilatiesysteem bij energieschermen zou mogelijk ook gebruikt kunnen worden voor de warmteafvoer bij een verduisteringsscherm. De benodigde capaciteit in relatie tot de belichtingsintensiteit en het daarbij behorende energieverbruik zal daarom ook worden bepaald.

Technische doelstellingen

Doel van het project is de haalbaarheid te bepalen van een systeem voor gecontroleerde ventilatie tussen de ruimte boven en onder een gesloten scherm in een tuinbouwkas. De haalbaarheid betreft de theoretische werking, de praktische uitvoering, een kosten- en batenanalyse en bij positieve resultaten de praktische uitwerking. In eerste instantie zal gekeken worden naar de mogelijkheden om de ventilator in de kaspoot te integreren. Indien op deze wijze niet voldoende capaciteit gerealiseerd kan worden wordt er naar alternatieven gekeken. In dit kader wordt ook de breedte van het scherm en de afstand van tralie tot tralie meegenomen.

Ook zal de benodigde capaciteit van het ventilatiesysteem bij gebruik van een verduisteringsscherm worden berekend.

Nevendoelstellingen

Nevendoelstelling van de ontwikkeling van een eenvoudig, betrouwbaar en doeltreffend systeem voor het beheersen van vochtproblemen in een kas is het verlagen van de drempel om schermen te gaan gebruiken of schermen langer (meer uren) te gebruiken. De kouval die tuinders een groot nadeel vinden van schermen wordt met het systeem voorkomen.

Energiedoelstellingen

Uit onderzoek naar gebruik van een goede schermkierregeling komt naar voren dat met een beheerste vochtuitwisseling door het energiescherm ca. 6% energie te besparen valt ten opzichte van de veel gebruikte methode om het scherm bij te hoge luchtvochtigheid geheel te openen (Kempkes *et al.*, 2000). Een dergelijke besparing kan ook behaald worden met gecontroleerde luchtuitwisseling met behulp van kleine ventilatoren. Voor verschillende gewassen zal de jaarlijkse energiebesparing variëren tussen 2 en 4 m³ gas per m².

2. Methoden

De haalbaarheid van het systeem wordt met berekeningen onderzocht. Aan de hand van de vochtproductie bij een gesloten scherm wordt de benodigde capaciteit van het systeem bepaald. Met CFD wordt gekeken hoe de temperatuur- en vochtverdeling in de kas worden bij gebruik van het systeem en deze worden vergeleken met de verdeling als er gebruik wordt gemaakt van een vochtkier. De CFD berekeningen zijn betrouwbaar indien er twee gelijke situaties met elkaar worden vergeleken, in dit geval de situatie met het ventilatiesysteem en de conventionele manier van vochtafvoer. De verschillen tussen de beide methodes kunnen door CFD duidelijk inzichtelijk worden gemaakt. De afmetingen van het scherm en de afstand van tralie tot tralie spelen hierbij een belangrijke rol aangezien hiermee ook de afstand tussen de verschillende ventilatoren wordt bepaald. Bij een te grote afstand kan de gradiënt in de kas te groot worden.

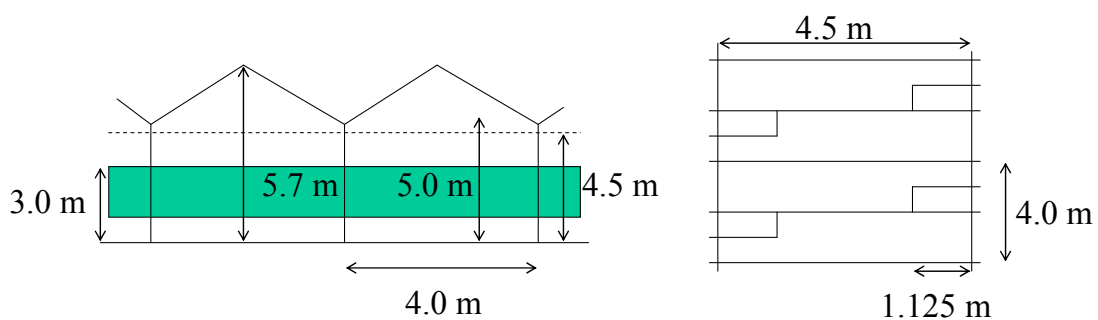
Voor de afmetingen van de kas die als input kunnen dienen voor het simulatiemodel zijn standaard kasafmetingen gebruikt. De volgende stramienafmetingen worden daarbij gehanteerd. (Bron: www.bomgroep.nl)

- 8,00 m traliespant met 2 kappen van 4,00 m
- 9,60 m traliespant met 2 kappen van 4,80 m
- 12,00 m traliespant met 3 kappen van 4,00 m
- 12,80 m traliespant met 3 kappen van 4,27 m
- 14,40 m traliespant met 3 kappen van 4,80 m
- 16,00 m traliespant met 4 kappen van 4,00 m

Voor de vakmaten zijn de volgende maten leverbaar:

- 4,50 m
- 5,00 m

Dit betekent dat de maximale oppervlakte rond een kaspoot 80 m^2 is. In de praktijk wordt de eerste optie uit bovenstaande lijst het meest toegepast met een vakmaat van 4.5m. Van deze optie is uitgegaan voor de berekeningen.



Figuur 6. Schematische weergave van de afmetingen van de kas.

Bovenstaande figuur laat de afmetingen zien zoals deze in het model zijn gebruikt. Voor een goede vergelijking met kieren is het nodig op een grotere schaal te kijken. Voor de klimaatberekeningen op grotere schaal (1000 m^2) is de geometrie van de kas vereenvoudigd zodat de rekentijd niet onhaalbaar lang wordt. De kas wordt hierbij voorgesteld als een rechthoek met een hoogte van 5 meter, een lengte van 40 meter en een breedte van 26 meter. Dit model wordt als een sectie uit een grotere kas voorgesteld. Om de 4 meter bevindt zich een kier in het scherm zoals dat ook in de praktijk te vinden is. Voor het scherm wordt uitgegaan van SLS Ultra Plus omdat dit scherm door veel tuinders als een energiescherm wordt gebruikt. De permeabiliteit van het scherm is $2.48 \cdot 10^{-11} \text{ m}^2$ en een inertie factor van 40.54 bij een dikte van $5.04 \cdot 10^{-4} \text{ m}$ (Miguel, 1998).

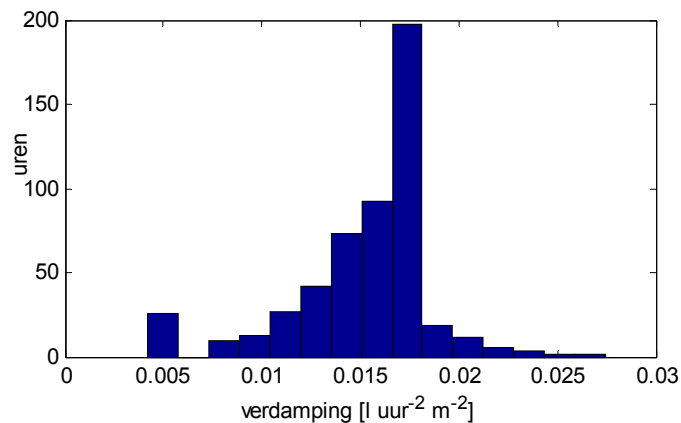
Voor het CFD model is de buitentemperatuur gesteld op 5 °C en de hemeltemperatuur op -5 °C. De warmteoverdracht aan de buitenzijde is daarbij gekozen als $15 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$. De situatie wordt doorgerekend waarbij de kasluchttemperatuur door de verwarming op 20 °C wordt gehouden.

Daarnaast is met Kaspro het dynamisch verloop over een jaar doorgerekend met uiteraard een verloop van klimaatsetpoints die voor het gekozen gewas gebruikelijk zijn.

3. Resultaten

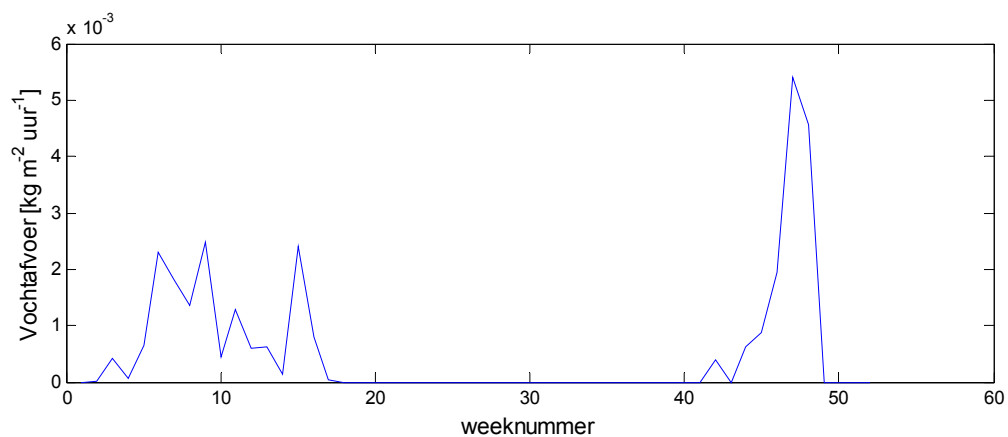
3.1 Dimensionering van het systeem

Met KAPRO (De Zwart, 1996) is gekeken hoe groot de verdamping van het gewas bij gebruik van een scherm over het jaar is. Er is gekozen voor tomaat omdat dit gewas in vergelijking met andere gewassen een hoge verdamping heeft.



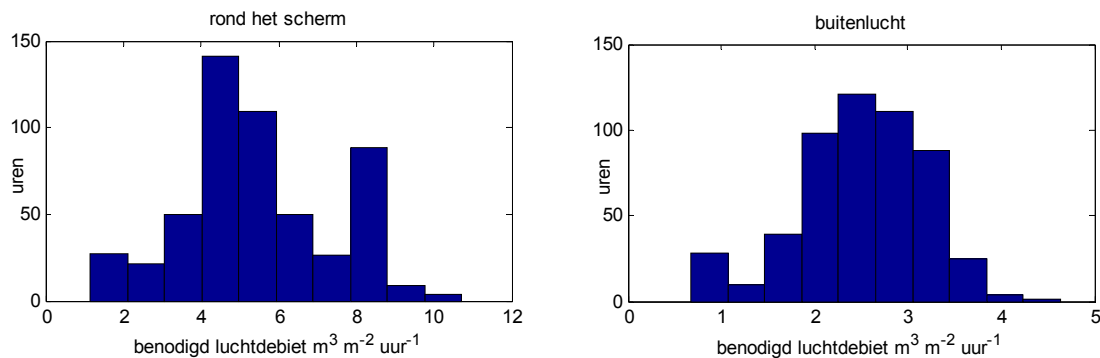
Figuur 7. Uren dat een bepaalde hoeveelheid verdamping voorkomt indien het scherm gesloten is en opengaat bij een stralingsniveau hoger dan 10 W m^{-2} of een buitentemperatuur hoger dan 5° C en de relatieve luchtvochtigheid meer dan 84% is.

Uit Figuur 7 volgt dat de maximale verdamping rond de $25 \text{ gr uur}^{-1} \text{ m}^{-2}$ is als het scherm gesloten is.



Figuur 8. Benodigde vochtafvoer per week van het jaar.

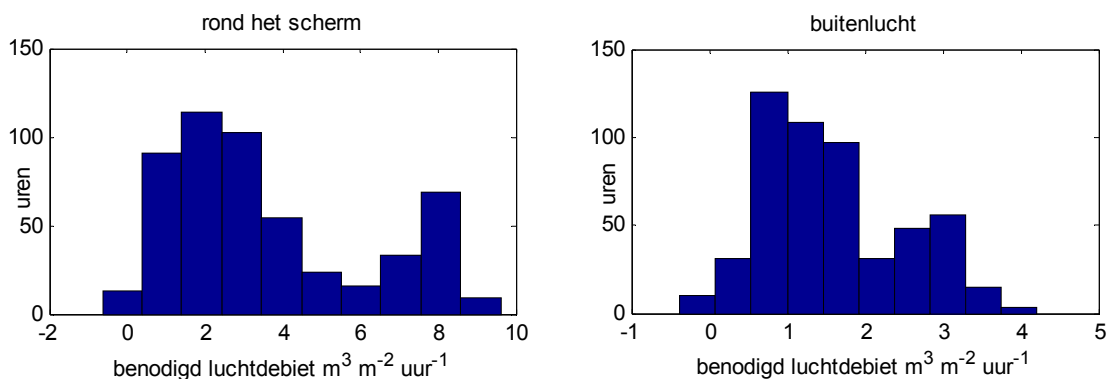
De benodigde vochtafvoer per week is te zien in bovenstaande figuur. Het systeem is operationeel in de lente en in het najaar voor de teeltwisseling.



Figuur 9. Aantal uren per jaar dat een luchtdebiet nodig is voor de vochtafvoer als het scherm gesloten is indien lucht boven het scherm wordt gebruikt (links) of buitenlucht (rechts).

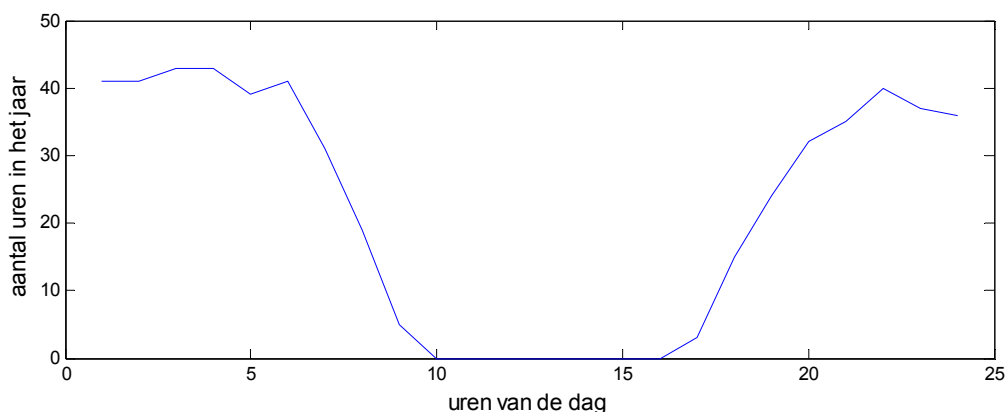
Bovenstaande figuur laat het aantal uur per jaar zien dat een bepaald luchtdebiet nodig is voor de situatie dat het vocht wordt afgevoerd door lucht uit te wisselen boven en onder het scherm en met buitenlucht. Indien vocht wordt afgevoerd door lucht boven het scherm naar onder het scherm te verplaatsen zal het benodigde luchtdebiet groter zijn aangezien de lucht boven het scherm vochtiger is dan buiten. Het vochniveau van de lucht boven het scherm wordt bepaald door de temperatuur van het kasdek en is gemiddeld over het jaar 2.3 gr m^{-3} hoger dan buiten. In het geval van luchtuitwisseling met buiten zal een doorvoer in het kasdek gemaakt moeten worden. In een rapport over warmteterugwinning (Campen *et al.*, 2003) worden verschillende alternatieven gegeven voor de luchtdoorvoer in het dek. Deze alternatieven kunnen ook worden toegepast in deze opzet.

Bij deze berekening is ervan uitgegaan dat er geen condensatie in de kas is, dus al het vocht dat door de planten wordt verdampt wordt afgevoerd. In de praktijk vindt er condensatie plaats op het scherm waardoor de benodigde vochtafvoer kleiner is. De hoeveelheid condensatie wordt bepaald door de temperatuur van het scherm. Condensatie op het scherm is niet gewenst omdat dit tot vocht op het gewas kan leiden vooral bij het sluiten van het scherm.



Figuur 10. Aantal uren per jaar dat een luchtdebiet nodig is voor de vochtafvoer als het scherm gesloten is indien lucht boven het scherm wordt gebruikt (links) of buitenlucht (rechts) waarbij de condensatie op het scherm is meegenomen.

Bovenstaande figuren laten het benodigde luchtdebiet zien als de condensatie op het scherm wordt meegenomen zodat er minder vocht afgevoerd hoeft te worden. De hoeveelheid vochtafvoer over het jaar daalt wel, maar de maximale vochtafvoer blijft gelijk wat de capaciteit van het systeem bepaalt. Uiteraard vindt er condensatie op het glas plaats, dit is echter boven het scherm.



Figuur 11. Uren van de dag dat er vocht afgevoerd moet worden tijdens het schermen.

Op welke uren van de dag er vocht afgevoerd moet worden in het jaar is te zien in bovenstaande figuur. Gedurende de hele nacht blijft het systeem operationeel.

Uitgaande van een standaard kas met een spant van 4.5 m en een tralie van 8 m is het oppervlak waar vocht moet worden afgevoerd met kaspootventilatie 36 m². De ventilator in de kaspoot moet 180 m³ uur⁻¹ verplaatsen. Een ventilator welke in een kaspoot van 120 bij 120 mm geplaatst kan worden verbruikt 20 W bij deze luchtverplaatsing (www.conrad.nl) Indien een sectie kas van 36 m² wordt geklimatiseerd met de ventilator is hiervoor maximaal 0.55 W/m² aan vermogen nodig. Stel dat er 4000 uur wordt geschermd (worst case) en gedurende deze periode 50% van zijn capaciteit nodig heeft dan is het energieverbruik maximaal 1 kWh/m², verwaarloosbaar ten opzichte van de te behalen winst en het overige energieverbruik.

De druk over het scherm door de geforceerde luchtbeweging kan worden bepaald uit de gemiddelde lichtsnelheid door het scherm en de schermeigenschappen. Bij 180 m³ uur⁻¹ op 36 m² is de snelheid door het scherm 1.4 mm s⁻¹. Het drukverschil bij LS 10 Ultra Plus wordt dan 0.6 Pa. Dit drukverschil is veel kleiner dan het drukverschil dat de ventilator in de kaspoot zal moeten opbouwen voor voldoende luchtbeweging. Het drukverschil over het scherm zorgt er voor dat de lucht gelijkmatig door het scherm naar boven zal stromen.

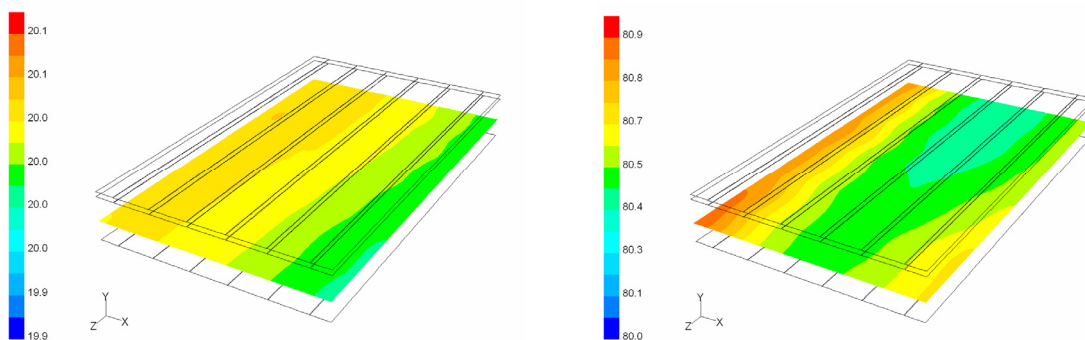
3.2 Potentiële energiebesparing door geforceerde vochtafvoer

Zoals in de vorige paragraaf aangegeven is het energieverbruik van de ventilatoren klein ten opzichte van het overige verbruik van elektriciteit in de kas. Geforceerde vochtafvoer geeft een potentiële besparing op het gasverbruik omdat de vochtafvoer beter controleerbaar is. In het ideale geval waarbij met kieren precies genoeg vocht wordt afgevoerd, is het energieverbruik gelijk aan de situatie waarbij dit met ventilatoren gebeurt die lucht van boven het scherm naar onder het scherm brengen. Echter uit de volgende paragrafen zal blijken dat de gevolgen van kieren pas later zichtbaar zijn bij de meetbox waardoor er meer gekierd wordt dan nodig is wat aanleiding geeft tot meer luchtuitwisseling en daarmee minder energiebesparing. Een exact getal voor de energiebesparing met geforceerde vochtafvoer is niet te geven. Een stabiel klimaat omdat er niet gekierd wordt geeft wel aanleiding tot een grote energiebesparing kijkend naar de resultaten van experimenten met een nieuwe kierregeling (Kempkes *et al.*, 2000). waarbij een nieuwe kierregeling werd getest werd een energiebesparing van 8% tijdens schermen (2 á 3% op jaarbasis) gemeten door een stabiel klimaat, kan worden geconcludeerd dat stabiliteit zorgt voor energiebesparing. Het scherm langer gesloten houden geeft een extra energie besparing van 3% (Dieleman & Kempkes, 2005). Voor het geval dat er met buitenlucht wordt geventileerd in plaats van lucht van boven het scherm hangt de mate van energiebesparing af van het benodigde debiet en de verschiltemperatuur tussen de lucht boven het scherm en buiten. Uit de berekening volgt dat vochtafvoer met buitenlucht (11.3 MJ op jaarbasis) minder energie kost dan met lucht boven het scherm (11.7 MJ op jaarbasis). De lucht boven het scherm is warmer dan de buitenlucht maar er is ook meer lucht nodig aangezien deze lucht meer vocht bevat dan de buitenlucht (te zien in Figuur 4) waardoor het toch voordeliger is met buitenlucht vocht af te voeren.

De grootste energiebesparing zal worden gehaald als meer tuinders een scherm installeren omdat ze vertrouwen hebben de vochtafvoer welke door de installatie wordt gegarandeerd.

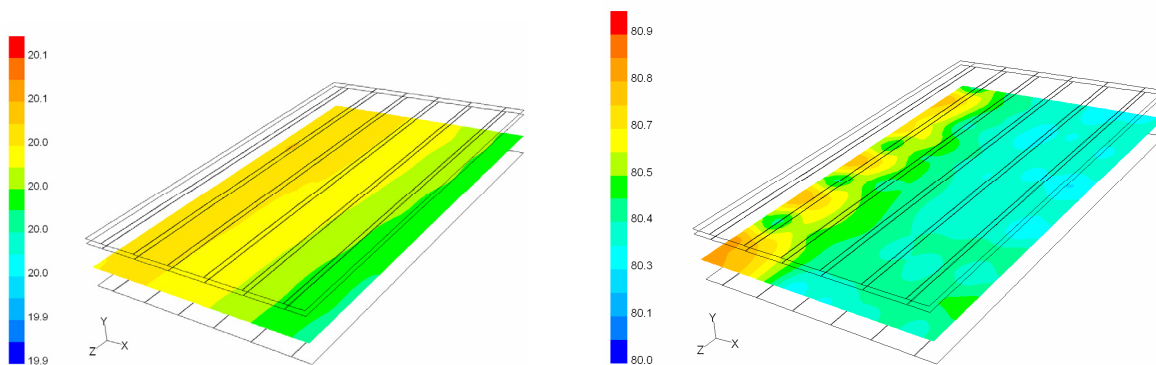
3.3 Klimaat tijdens kieren

De gevolgen voor het klimaat als een kierregeling wordt toegepast wordt met CFD berekeningen inzichtelijk gemaakt. Bij de vochtkier zoals deze in de meeste klimaatcomputers wordt gebruikt gaat het scherm 2 á 3% open als de relatieve luchtvochtigheid boven het setpoint komt. Deze berekening is tijdsafhankelijk gemaakt aangezien een kier vaak voor een korte tijd wordt gemaakt. De uitgangssituatie, tijdstip nul, is als het scherm nog gesloten is en de relatieve luchtvochtigheid net boven het setpoint uitkomt ten gevolge van de verdamping. De kier is 1.25% van het oppervlak van het scherm en is daarmee 5 cm breed.



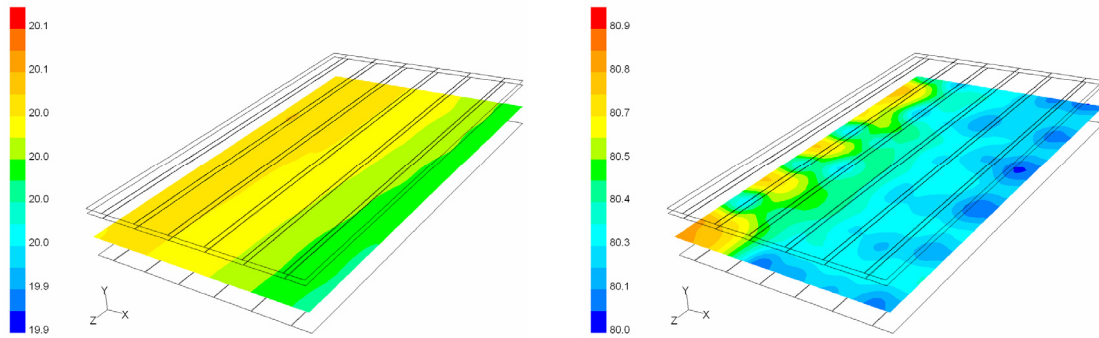
Figuur 12. Temperatuur (links) en relatieve luchtvochtigheid (rechts) op een hoogte van 2 meter op het moment dat het scherm nog gesloten is.

Bovenstaande figuur laat het klimaat zien op het moment dat het scherm nog gesloten is. Er is een zeer kleine temperatuurgradiënt (<0.1 K) te zien in de kas ten gevolge van het afschot van de kas. De verschillen in relatieve luchtvochtigheid zijn ook gering ($<0.6\%$). De luchttemperatuur boven het scherm is 10.9 °C.



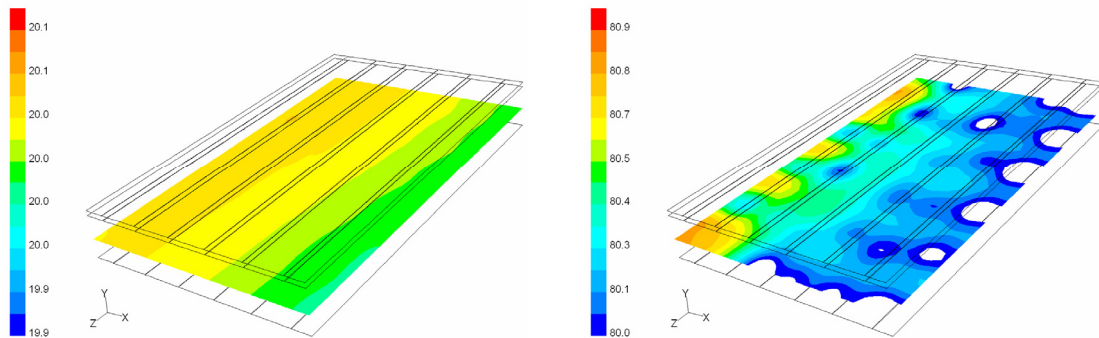
Figuur 13. Temperatuur (links) en relatieve luchtvochtigheid (rechts) op een hoogte van 2 meter, 1 minuut na het openen van het scherm.

Bovenstaande figuur laat het klimaat zien 1 minuut na het openen van het scherm met 1.25%. Opvallend is dat er geen verandering is in het temperatuurprofiel maar dat de relatieve luchtvochtigheid wel verandert. Het absolute vochtgehalte onder het scherm daalt ten gevolge van de koude, droge lucht die onder het scherm stroomt. De capaciteit van de lucht en het verwarmingsstelsel zorgen ervoor dat de temperatuur bij deze geringe opening van het scherm niet daalt.



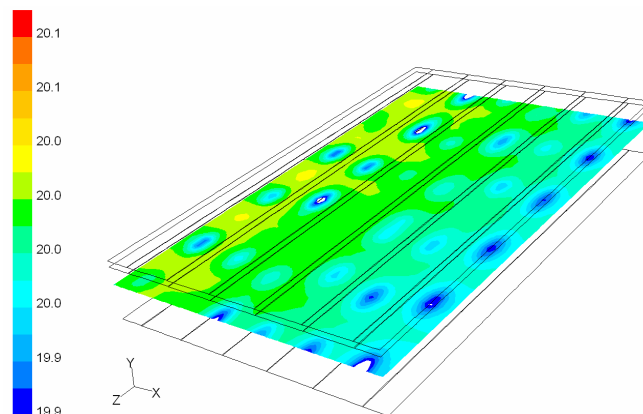
Figuur 14. Temperatuur (links) en relatieve luchtvochtigheid (rechts) op een hoogte van 2 meter, 2 minuten na het openen van het scherm.

Ook twee minuten na het openen is er nog geen verandering in de temperatuur te zien terwijl de relatieve luchtvochtigheid wel verder daalt.



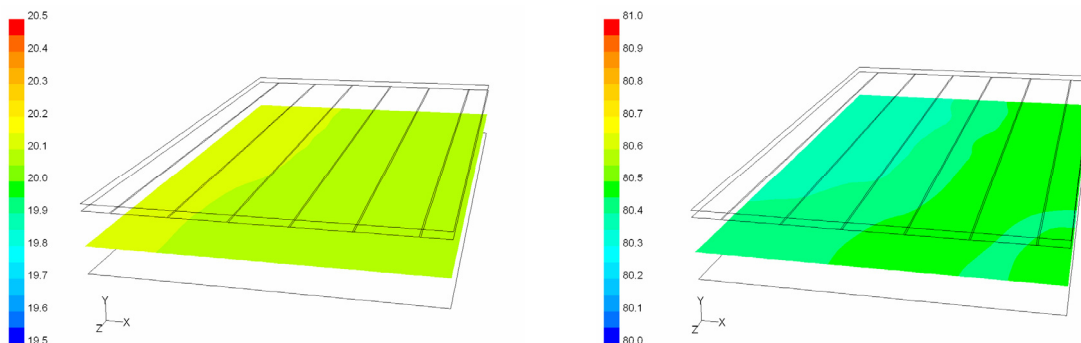
Figuur 15. Temperatuur (links) en relatieve luchtvochtigheid (rechts) op een hoogte van 2 meter na 3 minuten.

In bovenstaande figuur is te zien dat de relatieve luchtvochtigheid op enkele plaatsen in het vlak op een hoogte van 2 meter onder de 80% daalt, omdat dit buiten de aangegeven range valt worden deze gebieden met witte vlekken weergegeven. Drie minuten na het openen van het scherm is de relatieve luchtvochtigheid voldoende gedaald om het scherm weer te sluiten.

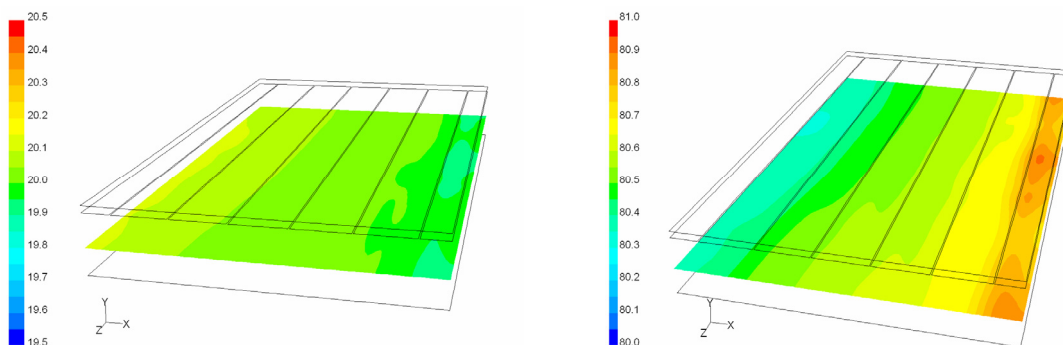


Figuur 16. Temperatuurverdeling op een hoogte van 3 meter, 3 minuten na het openen van het scherm.

Uit de berekeningen kan worden geconcludeerd dat er geen kouval is op een hoogte van 2 meter in de kas er bij deze geringe opening van het scherm. Echter op een hoogte van 3 meter in de kas (Figuur 9) is wel de invloed van het openen te zien, deze is echter beperkt (<0.2 K).

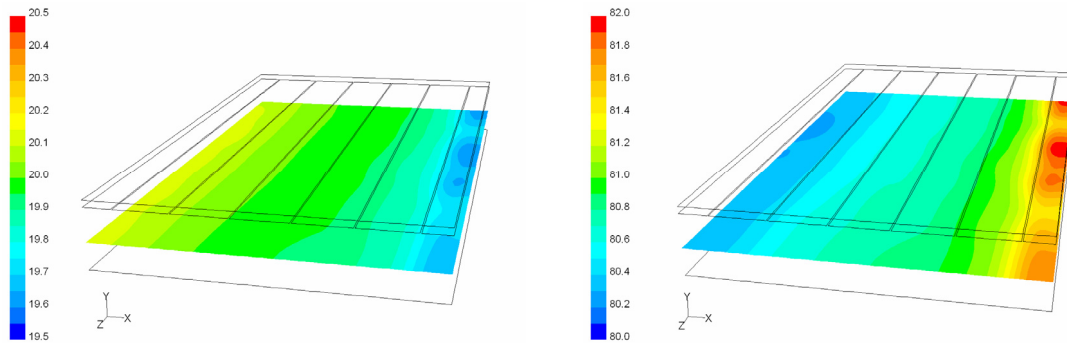


Figuur 17. Klimaat (links temperatuur en rechts relatieve luchtvochtigheid) voor het openen van het scherm op een hoogte van 2 meter in de kas.



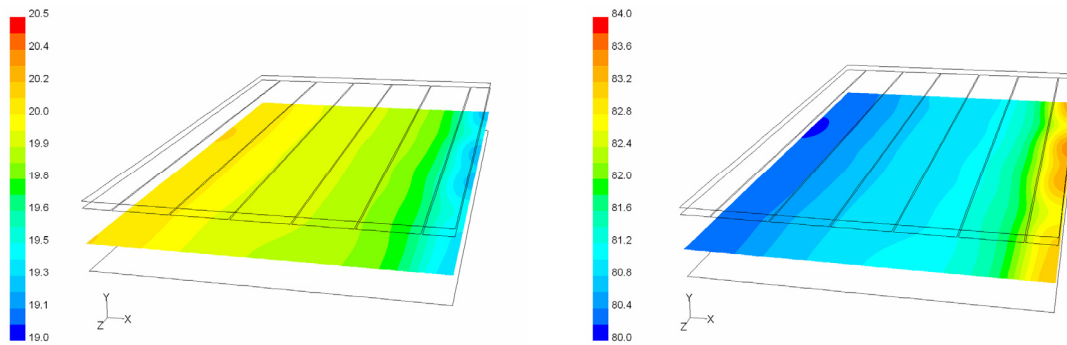
Figuur 18. Klimaat (links temperatuur en rechts relatieve luchtvochtigheid) 1 minuut na het openen van het scherm waarbij de kier een breedte heeft van 10 cm op een hoogte van 2 meter in de kas.

Vergroting van de breedte van de kier heeft tot gevolg dat de lucht eenvoudiger de kas in kan stromen. In Figuur 11 is de breedte van de kier twee maal zo groot gemaakt, 10 cm waardoor de totale opening op 2.5% komt. De overige factoren zijn gelijk gebleven. In dit geval is er wel direct een temperatuur effect zichtbaar na 1 minuut. Omdat de temperatuur afneemt en het absolute vochniveau minder snel afneemt neemt de relatieve luchtvochtigheid toe.



Figuur 19. Klimaat (links temperatuur en rechts relatieve luchtvochtigheid) 2 minuten na het openen van het scherm waarbij de kier een breedte heeft van 10 cm op een hoogte van 2 meter in de kas (let op schaal RV aangepast t.o.v. vorige figuur!!!).

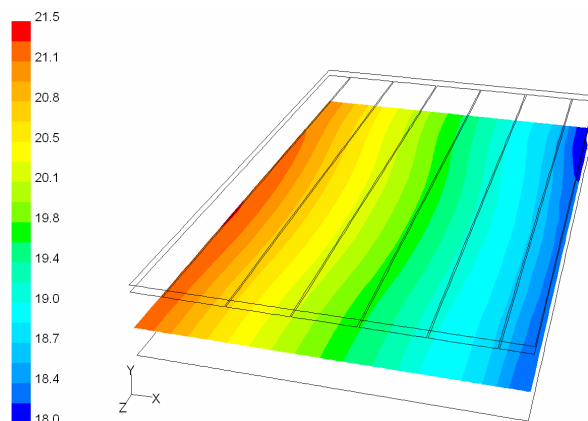
Na twee minuten zijn de gevolgen van de grotere kier nog duidelijker zichtbaar. Ter hoogte van de meetbox, aangenomen dat deze in het centrum hangt, zijn de klimaatveranderingen nog niet meetbaar.



Figuur 20. Klimaat (links temperatuur en rechts relatieve luchtvochtigheid) 3 minuten na het openen van het scherm waarbij de kier een breedte heeft van 10 cm op een hoogte van 2 meter in de kas (let op schaal temperatuur en RV aangepast t.o.v. vorige figuur!!!).

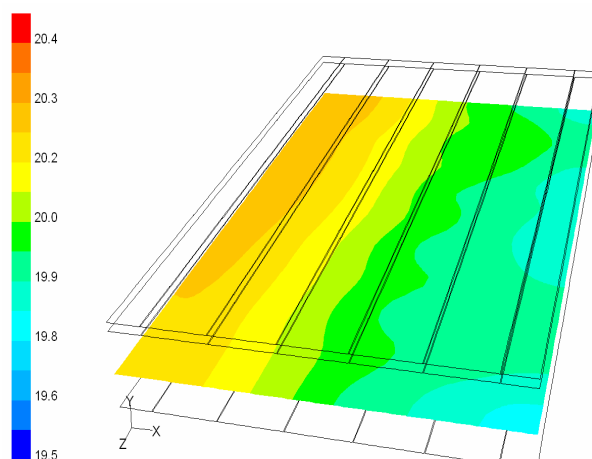
Na drie minuten is de relatieve luchtvochtigheid hoger dan 83% geworden en de temperatuur onder de 19.5° C gedaald ter plaatse van de kier. Op deze manier zorgt het kieren lokaal voor een hogere luchtvochtigheid dan er oorspronkelijk was.

De verklaring voor het verschil tussen de luchtbeweging bij een kleine en een grote kier kan worden gevonden in de weerstand voor de lucht nabij de kier. Bij een kleine opening is de weerstand groot waardoor grote luchtstromingen in de kas niet op gang kunnen komen. Bij grotere kieren is die wel het geval en zal de lucht van de éne kier naar de andere kier gaan stromen onder invloed van het afschot van de kas.



Figuur 21. Temperatuurverdeling op een hoogte van 2 meter in de kas als er continu een kier van 2.5% wordt aangehouden.

Sommige schermfabrikanten hebben schermen ontwikkeld waar een deel van de bandjes uit het scherm is gelaten om hiermee vocht af te voeren. Bovenstaande figuur laat de situatie zien als 2.5% van het scherm open wordt gelaten. Er ontstaat een grote temperatuurgradiënt in de kas onder invloed van het afschot van de kas.



Figuur 22. Temperatuurverdeling op een hoogte van 2 meter in de kas als er continu een kier van 1.25% wordt aangehouden.

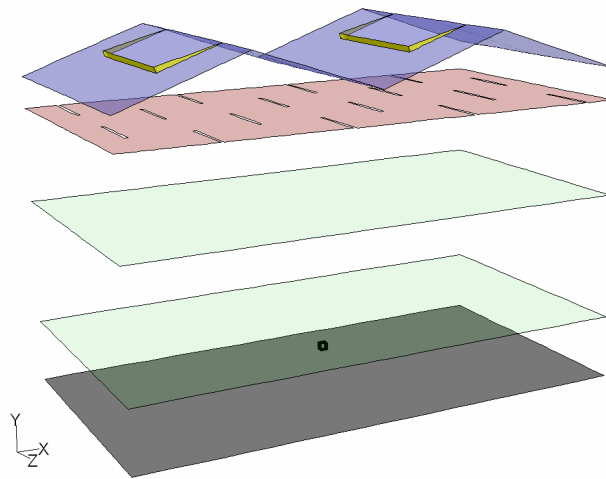
Indien er minder bandjes uit het scherm wordt gehaald neemt de gradiënt af. Echter hierdoor neemt de vochtafvoer ook af.

Conclusies van vochtafvoer door middel van kieren

- De vochtafvoer door kieren hangt af van de luchtuitwisseling over het scherm. Deze luchtuitwisseling is een direct gevolg van het temperatuurverschil boven en onder het scherm.
- De grote van de kier bepaald of er een temperatuurgradiënt in de kas ontstaat. Indien de kier groter is dan 1.25% bestaat de kans dat het klimaat negatief beïnvloed wordt.
- Bandjes uit het scherm halen zorgt niet voor een beter klimaat en gaat ten koste van de energiebesparing.

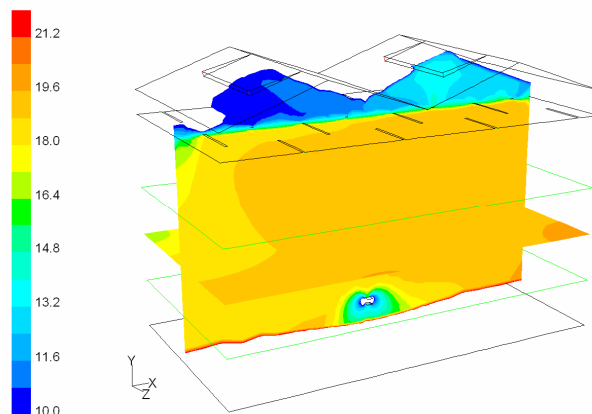
3.4 Geforceerd vochtafvoeren

De luchtuitwisseling wordt gemaakt door toepassing van (korte) verticale luchtkanalen die door het schermvlak steken. In de kanalen wordt een regelbare ventilator geplaatst die koude droge lucht onder het scherm brengt. Hiermee kan de waterdampafvoer nauwkeurig worden aangepast aan de behoefte. Er wordt bewust gekozen voor lucht onder het scherm toevoeren in plaats van afvoeren omdat op deze manier de meest droge lucht in de kas kan worden gebracht waardoor de hoeveelheid lucht die moet worden verplaatst gering is. Indien lucht door het scherm stroomt, zal hij altijd vocht opnemen dat op het scherm aanwezig is ten gevolge van condensatie. Indien geforceerde koude droge lucht in de kas wordt gebracht is het van belang dat deze niet boven of in het gewas wordt ingebracht omdat dit kan leiden tot een lokaal koud gebied. De lucht kan daarom het beste onder het gewas bij de verwarming worden ingebracht. Hier warmt de lucht direct op aan de buisrailverwarming. Met CFD berekeningen wordt na gegaan of de temperatuur- en vochtverdeling goed zijn als er via de kaspoot koude droge lucht in de kas wordt geblazen. Eerst is op het niveau een zich repeterende eenheid gekeken naar het effect van geforceerde luchtinlaat op het klimaat.



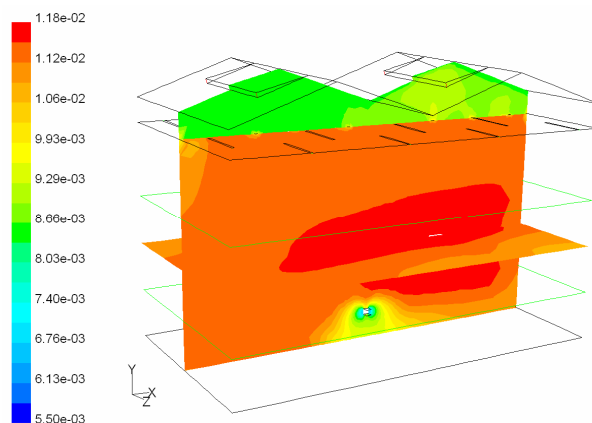
Figuur 23. Het CFD model.

In bovenstaande figuur is de geometrie van het CFD model te zien waarmee het klimaat tijdens de geforceerde vochtafvoer met de kaspootventilatie wordt berekend. Het grijze vlak is de vloer van de kas met op een halve meter hoogte de luchtinlaat in de kaspoot, voorgesteld als een kubus van 12 cm. Uit twee vlakken van deze kubus, in de positieve en negatieve richting van de x-as stroomt de koude droge buitenlucht de kas in. Tussen de twee licht groene vlakken bevindt zich het gewas. Het scherm is weergegeven door het rode vlak. Het dek wordt weergegeven met het blauwe vlak waar de ramen iets open staan om overdruk op de kas te voorkomen.



Figuur 24. Temperatuurverdeling op verschillende vlakken in de kas.

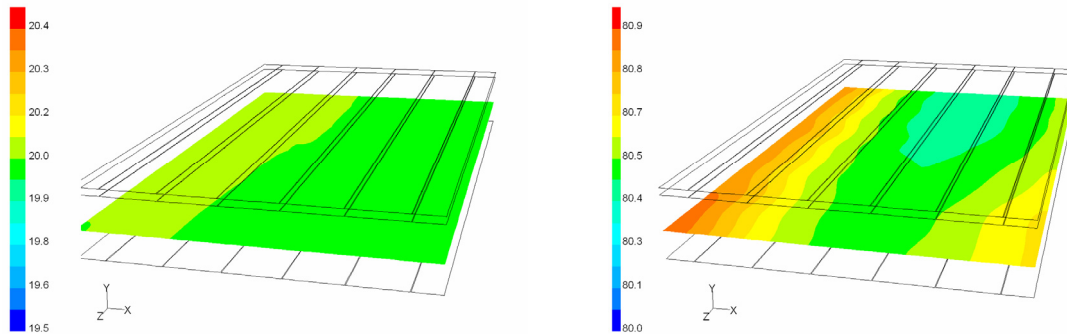
Bovenstaande figuur laat de temperatuurverdeling in de kas zien in verschillende vlakken op het moment dat de geforceerde vochtafvoer wordt gebruikt. De temperatuurschaal van de figuur is aangepast zodat de laagste en hoogste temperaturen niet worden weergegeven. De locaties waar de temperatuur lager is dan 10° C of hoger is dan 22° C worden daardoor niet weergegeven maar dit is op locaties die niet belangrijk zijn voor de resultaten. Te zien is dat de temperatuur lokaal rond de uitstroom bij de kaspoot laag is maar dat de lucht zich snel vermengt met de warme lucht waardoor er ter hoogte van het gewas geen effect zichtbaar is. De temperatuurverdeling is daardoor veel beter dan bij schermkieren.



Figuur 25. Massa fractie waterdamp in de lucht in kg/kg op verschillende vlakken in de kas.

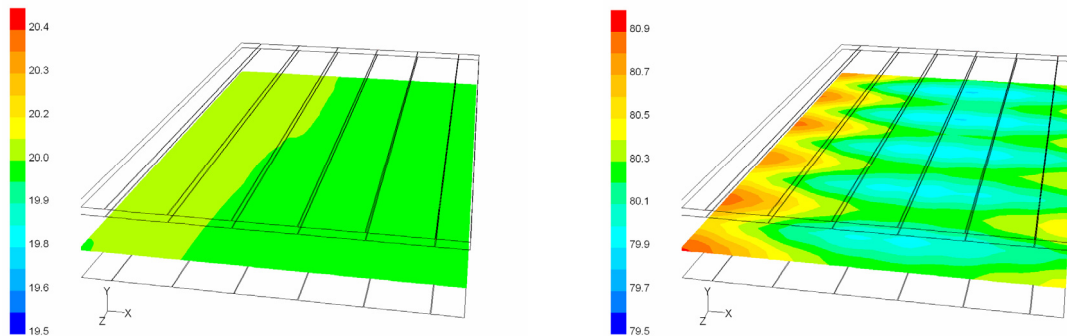
Bovenstaande figuur laat de verdeling van de waterdamp in de kas zien. De waterdamp wordt door het gewas in de lucht gebracht en daardoor zijn de hoogste waterdamp concentraties daar te vinden. Boven het scherm is de waterdamp concentratie ook gering door condensatie op het dek. Bij de uitstroom van de kaspoot komt de droge buitenlucht de kas in. Ook voor de waterdamp concentratie geldt dat de droge lucht snel wordt gemengd met de vochtige kaslucht.

Uit de berekeningen kan worden geconcludeerd dat ventilatie via de kaspoot niet tot grote lokale verschillen in de kas leidt. Vervolgens zijn berekeningen gedaan op grotere schaal (1000 m²) vergelijkbaar met de eerdere berekeningen voor kieren. Op elke 32 m² wordt lucht ingeblazen.



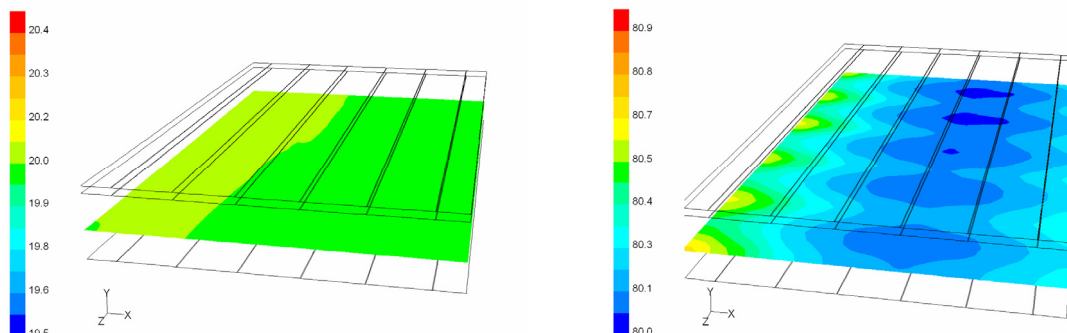
Figuur 26. Temperatuur (links) en relatieve luchtvochtigheid (rechts) op een hoogte van 2 meter op het moment dat de geforceerde ventilatie wordt gestart.

Bovenstaande figuur laat het klimaat zien op het moment dat de geforceerde vochtafvoer wordt aangezet omdat de relatieve luchtvochtigheid boven de 80.5% komt.



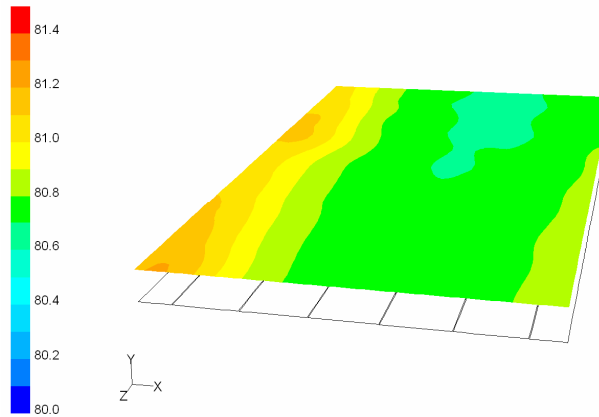
Figuur 27. Temperatuur (links) en relatieve luchtvochtigheid (rechts) op een hoogte van 2 meter nadat een minuut lang geventileerd is via de kaspoot met $3 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ uur}^{-1}$.

Gedurende een minuut wordt buitenlucht van 5° C met een relatieve luchtvochtigheid van 100% in de kas gebracht via de kaspoten. Bovenstaande figuur laat het klimaat na deze actie zien. De temperatuurverdeling is niet veranderd door de actie maar het vochniveau in het gewas is wel afgenomen tot onder de 80%. Daarom wordt de ventilatie weer gestopt.



Figuur 28. Temperatuur (links) en relatieve luchtvochtigheid (rechts) op een hoogte van 2 meter een minuut na het stoppen van de ventilatie.

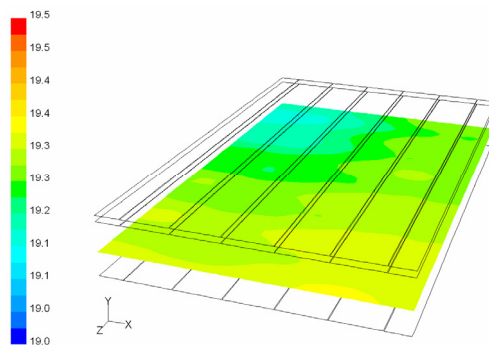
Een minuut na het stoppen van de ventilatie is de relatieve luchtvochtigheid weer langzaam opgelopen.



Figuur 29. Relatieve luchtvochtigheid drie minuten na het stoppen van de ventilatie.

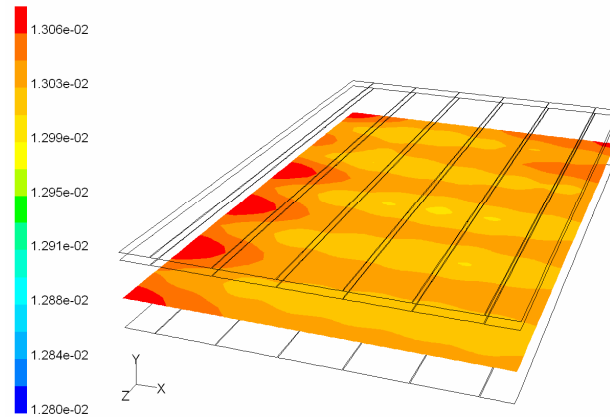
Drie minuten na het stoppen van de ventilatie is de relatieve luchtvochtigheid weer zoals bij de initiële situatie.

In plaats van een aan/uit schakelend systeem zoals hierboven getoond kan ook worden gekozen om de ventilatie aan te passen aan de hoeveelheid verdamping van het gewas zodat het systeem continu aanstaan.



Figuur 30. De luchttemperatuur op een hoogte van 2 meter in het gewas bij een luchttoevoer van $1.6 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ uur}^{-1}$ luchttoevoer via de kaspoort met een temperatuur van 5°C en 100% RV.

Bovenstaande figuur laat de temperatuurverdeling zien op het moment dat het systeem continu aanstaan. Er wordt $1.6 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ uur}^{-1}$ ingeblazen. In bovenstaande figuur is te zien dat de temperatuurgradiënt minder is dan 0.3 K . Dit is minder dan als er continu een kier wordt aangehouden in het scherm ten behoeve van de vochtafvoer.

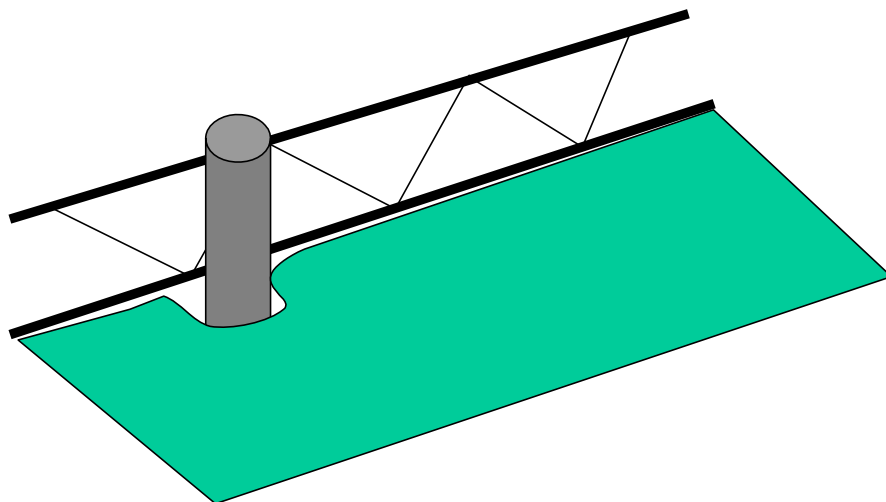


Figuur 31. De massa fractie waterdamp in de lucht bij een luchttoevoer van $1.6 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ uur}^{-1}$ luchttoevoer via de kaspoort met een temperatuur van 5°C en $100\% \text{ RV}$.

De vochtverschillen in de kas worden ook kleiner zoals in bovenstaande figuur te zien is.

Kortom met geforceerde vochtafvoer is het mogelijk het vocht onder het scherm vandaan te krijgen zonder dat het klimaat wordt verstoord.

Bovenstaande berekeningen zijn gebaseerd op een kaspoort per 32 m^2 . Indien het systeem niet kan worden ingebouwd in de kaspoort of dat er op deze wijze niet voldoende capaciteit is, zullen er op vaste plaatsen in het scherm gaten gemaakt moeten worden waar het systeem wordt geplaatst. Dit vereist aanpassingen aan het scherm met de daarbij behorende kosten.



Een mogelijke uitvoering kan er uitzien zoals in bovenstaande figuur waarbij een ventilator in een koker is geplaatst die vervolgens aan de tralie wordt bevestigd. In het scherm moet een inkeping gemaakt ter plaatse van de koker. Deze oplossing moet ook geringe gradiënten in de kas opleveren als de afstand van tralie tot tralie groter wordt. Nadeel van deze methode is dat in verband met lichtverlies de kokers niet tot onder het gewas gemaakt kunnen worden. Hierdoor wordt koude droge lucht boven het gewas ingeblazen wat nadelig kan zijn voor het gewas. Bij het openen van het scherm kan indien het scherm nat is door condensatie vocht op het gewas vallen. De mogelijkheid bestaat om het scherm droog te blazen door de mechanische ventilatie te gebruiken. De warme, niet verzadigde, kaslucht zal het scherm drogen wat natslaan van het gewas voorkomt.

Conclusies geforceerd vochtafvoeren

- Indien de droge koude lucht onder het gewas wordt ingeblazen mengt deze zich snel op met de warme vochtige lucht waardoor er geen temperatuur- en vochtgradiënten nabij het gewas ontstaan.
- De lucht kan met een aan- of uitregeling worden ingeblazen of geregeld.
- Het is mogelijk extra inblaaspunten te realiseren door kokers door het scherm te installeren, echter de koude lucht wordt dan boven het gewas ingeblazen wat nadelig is voor het gewas.
- Het drogen van het energiescherm voor het openen is een mogelijke additionele toepassing van het systeem.

3.5 Vochtafvoer met een luchtslang

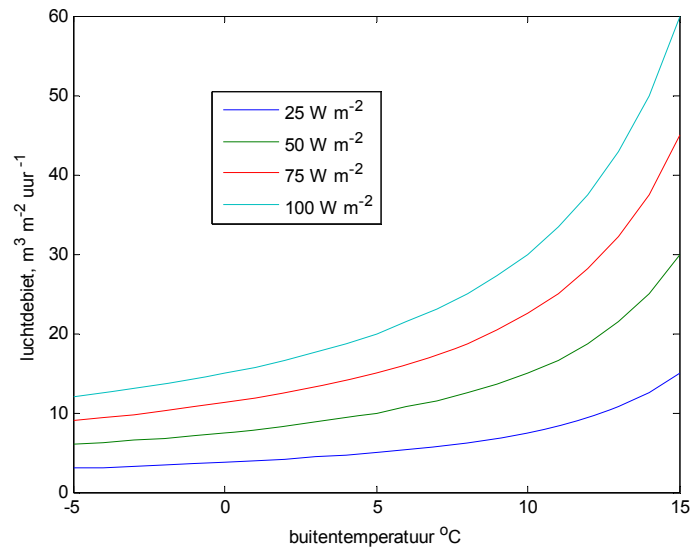
Aan het systeem van kaspootventilatie kleven een aantal nadelen:

1. Voor elke kaspoot is een ventilator nodig en stroomvoorziening. Dit vergt een aardige investering. Ook moet de kaspoot worden aangepast met de nodige kosten.
2. De lucht van buiten is droger dan de lucht boven het scherm om de hoeveelheid luchtverplaatsing te beperken zou het beter zijn buitenlucht te gebruiken. In het geval van de kaspootventilatie zal er een doorvoer door het dek gemaakt moeten worden naar buiten. Ideeën hiervoor zijn al ontwikkeld, (Campen *et al.*, 2003) maar naast dat dit een extra kostenpost is geeft dit ook aanleiding tot potentiële lekkage.
3. Indien er weinig kasloten aanwezig zijn (maximaal 80 m² per kaspoot) moet er veel lucht door de kaspoot worden geblazen, wat veel energie kost.

Kortom deze oplossing zal een forse investering betekenen. Als mogelijk alternatief voor de droge luchtaanvoer via de kaspoot kan een luchtslang worden gebruikt. Mogelijk kan deze slang worden gecombineerd met de CO₂ darm. Voor de CO₂ toediening overdag is de darm uitgelegd op 0.5 m³m²uur⁻¹. Dit is duidelijk niet voldoende, zie Figuur 3. Het debiet moet bij gesloten scherm ongeveer tien maal zo groot zijn bij maximale vochtafvoer. De diameter van de CO₂ darm zal drie maal zo groot moeten worden. De verdeling van de CO₂ tijdens toediening mag niet in gevaar komen. De exacte afmetingen van het totale systeem moet hiervoor nader worden bekeken. Als alternatief voor het gebruik maken van de CO₂ darm kan ook een apart slang worden geplaatst waarbij door ventilatoren in de gevel van de kas te plaatsen de vochtafvoer kan worden bereikt. Dit systeem lijkt op de systemen die worden gebruikt in de concepten zonder luchtramen zoals bij Van der Lans en Themato. De hoeveelheid luchtdebiet nodig voor de vochtafvoer is echter aanmerkelijk kleiner dan nodig als het systeem wordt gebruikt voor de koeling van de kas, en daarmee de grootte van de verschillende systeemcomponenten. Aan één ventilator kunnen bijvoorbeeld meerdere luchtslangen worden aangesloten. Op deze manier dan geforceerde vochtafvoer in een bestaande kas worden toegepast.

Ten aanzien van het klimaat zal het systeem even goed of beter functioneren als bij de kaspootventilatie aangezien de verdeling van de lucht hier op een kleinere schaal gebeurt. De dimensies van de luchtslangen (diameter en afmetingen van de gaatjes) moet zo worden gekozen dat de lucht uitstroom gelijkmatig over de slang wordt verdeeld. De ventilatie zal een grotere capaciteit moeten hebben dan de CO₂ ventilator. Buitenlucht kan het beste worden gebruikt voor de vochtafvoer aangezien hierdoor minder luchtverplaatsing nodig is. Gebruik van geforceerde ventilatie bij belichting met verduisteringsscherm

Ter voorkoming van lichthinder wordt er bij belichte teelten geschermd. De temperatuur onder het scherm kan hoog oplopen door de grote warmteafgifte van de lampen. Kieren zijn hierdoor noodzakelijk om de warmte af te voeren. Deze kieren zorgen ervoor dat de lichthinder weer toeneemt en het klimaat minder homogeen wordt. Geforceerde ventilatie met buitenlucht kan ook in deze situatie een oplossing bieden.



Figuur 32. Benodigde ventilatie als functie van de buitentemperatuur bij een kasluchttemperatuur van 20 °C voor verschillende niveaus van warmteoverschot.

Bovenstaande figuur laat het benodigde luchtdebiet zien als functie van de buitentemperatuur voor verschillende niveaus van warmteoverschot. Het warmteoverschot is gelijk aan het vermogen dat aan de lampen wordt toegevoerd. Hoe hoger de buitentemperatuur hoe meer er geventileerd zal moeten worden. Dit heeft consequenties voor de afmetingen van het ventilatiesysteem. Om het CO₂ verlies te beperken kan een deel van de lucht van boven het scherm worden aangezogen. Deze lucht bevat meer CO₂ dan de buitenlucht en is koud door de warmteafgifte aan het dek, echter omdat de temperatuur hoger zal zijn dan de buitentemperatuur zal het luchtdebiet groter moeten worden dan in bovenstaande figuur is aangegeven.

De diameter van de luchtslang die de koude lucht in de kas brengt onder het gewas zal ongeveer 50 cm bedragen en is dus vergelijkbaar met de luchtslang in de GeslotenKas®.

4. Conclusies en discussie

- Een grotere kier kan tot gevolg hebben dat op het laagste punt van de kas een kouval optreedt onder de kier. De temperatuurdaling is hier groter dan de afname in vochtigheid zodat de relatieve luchtvochtigheid van de lucht toeneemt.
- Bij een kleine kier (<1.5%) is de weerstand voor de lucht te groot voor een grote luchtbeweging en is de kans op een lokale kouval kleiner. Echter bij een kleinere kier kan er ook minder vocht worden afgevoerd.
- Geforceerde vochtafvoer leidt niet tot koude plekken nabij het gewas.
- Met geforceerde vochtafvoer kan voldoende vocht worden afgevoerd.
- Tijdens schermen wordt het CO₂ niveau niet verhoogd waardoor het verlies aan CO₂ tijdens de geforceerde ventilatie geen probleem is.
- Vochtafvoeren met buitenlucht in plaats van de lucht boven het scherm zoals dat bij kieren gebeurt, zorgt voor een lager energieverbruik (verlaging 3.5% van de totale energie die verloren gaat bij de vochtafvoer).
- Mechanische ventilatie kan ook worden toegepast bij het gebruik van verduisteringsschermen echter de capaciteit van het systeem met betrekking tot de luchtverplaatsing moet wel veel groter zijn.

Dit onderzoek past in de serie projecten die moeten leiden tot vermindering van het energiegebruik met efficiënte inzet van energieschermen. Vochtproblemen tijdens het gebruik van schermen is de voornaamste reden dat tuinders afzien van een energiescherm. Oplossingen met schermkieren stuiten bij tuinders op verzet vanwege de kouval die in dit project ook duidelijk is aangetoond. Het voorgestelde systeem biedt de mogelijkheid energieschermen te gebruiken zonder het risico op een te hoge luchtvochtigheid. De investering in het systeem zal snel worden terugverdiend aangezien een energiescherm tot 25% op het gasverbruik bespaard (Bloem, 2000).

De duurzaamheid van het systeem is vergelijkbaar met die van de CO₂ installatie. Het geluidniveau van de ventilator die in de kaspoot wordt geplaatst is 30 dB, de maximale geluidnorm ligt op 80 dB. Voor het geval dat de lucht wordt ingeblazen via een centraal systeem zal alleen het geluidsniveau bij de ventilator hoog zijn. Dit zal niet tot problemen leiden omdat deze ventilator kan worden geïsoleerd. Indien de buitenlucht wordt aangevoegd via de gevels kunnen de ventilatoren buiten opgesteld worden waardoor het geluidniveau in de kas minimaal is.

Uit een recente studie over luchtbeweging bij het gewas (De Gelder & Campen, 2006) kwam naar voren dat luchtbeweging zorgt voor minder verdamping. Dit fysiologische effect treedt ook op bij het voorgestelde systeem als de luchtbeweging in de buurt van de bladeren wordt toegepast. Als er minder verdamping is hoeft er ook minder te worden afgevoerd. Het verdient aanbeveling dit aspect nader te onderzoeken.

Het verdient aanbeveling het systeem in de praktijk te testen aangezien het om een nieuwe methode gaat. De specificaties van het systeem moeten in dit onderzoek worden vastgesteld. Door klimaatmetingen op verschillende punten in de kas moet de effectiviteit van het systeem worden bepaald.

Literatuur

Bloem, L., 2000.

Schermen in de glastuinbouw. Energie- en teeltaspecten. Proefstation voor Bloemisterij en Glasgroente. Aalsmeer/Naaldwijk.

Campen, J.B., G.L.A.M. Swinkels, N.J. van de Braak, P.J. Sonneveld & G.P.A. Bot, 2003.

Vocht afvoeren uit tuinbouwkassen met warmteterugwinning. IMAG rapport P2003-35.

Dieleman, A. & F.L.K. Kempkes, 2005.

Schermen in de tomatenteelt: mogelijkheden en beperkingen. Nota 359 Plant Research International Wageningen University and Research Centre.

Gelder, A. de & J.B. Campen, 2006.

Luchtcirculatie en productie. PPO rapport Naaldwijk.

Kempkes, F.L.K., N.J. van de Braak, G. Houter & A.T.M. Zwinkels, 2000.

Schermkieren in de praktijk. Nota P 2000-30 IMAG Wageningen.

Miguel, A.A.F., 1998.

Transport phenomena through porous screens and openings. PhD Thesis Wageningen University and Research Centre. ISBN 90-5485-843-5.

Ruis, M. F.L.K. Kempkes, M. Esmeijer & A. Dieleman, 2006.

Modeling overleg over het project Intensiveren schermgebruik PT.

Ruijs, M.N.A., C.E. Reijnders, F.L.K. Kempkes & M.H. Esmeijer, 2005.

Evaluatie van schermgebruik in de praktijk. LEI Rapport 3.05.01 Den Haag.

Zwart, H.F. de, 1996.

Analayzing energy-saving options in greenhouse cultivation using a simulation model. Thesis Landbouwniversiteit Wageningen ISBN 90-5406-137-5.

Samenvatting

Het gebruik van energieschermen in de glastuinbouw neemt nog steeds toe. Het gebruik leidt tot een grote energiebesparing (tot 40%). Echter ten gevolge van het scherm kan de luchtvochtigheid onder het scherm te hoog oplopen. Om vocht af te voeren wordt het scherm een beetje opengetrokken waardoor koude droge lucht van boven het scherm mengt met de kaslucht, deze methode wordt ook wel kieren genoemd. Nadeel van deze methode is dat dit geen goed controleerbaar proces is en dat hierdoor een groot deel van de energiebesparing weer teniet wordt gedaan.

De luchtuitwisseling tijdens kieren hangt af van het temperatuurverschil boven en onder het scherm en de grootte van de opening in het scherm. Tijdens de luchtuitwisseling kunnen grote temperatuurgradiënten in de kas ontstaan. Lokaal kan de temperatuur ver dalen wat door de tuinders wordt aangeduid als een kouval. Een gecontroleerde vochtafvoer onder het scherm is daarom wenselijk. Dit kan worden gedaan door geforceerde luchtbeweging waarbij koude droge lucht van buiten of van boven het scherm door een ventilator in de kas wordt gebracht.

Onderzoek op basis van simulaties laat zien dat deze manier van vochtafvoer een zeer gelijkmatig klimaat onder het scherm geeft en de vochtafvoer nauwkeurig geregeld kan worden zodat het energieverlies minimaal is.

