

Multifunctioneel gebruik van een tuinbouwkas met kelder

Voorstudie naar technisch en economisch perspectief

ir. J.B. Campen
dr. ir. H.F. de Zwart

Report 272

Onderzoek in het kader van het Convenant Glastuinbouw en Milieu

In opdracht van:



Title Multifunctioneel gebruik van een tuinbouwkas met kelder
Author(s) J.B. Campen, H.F. de Zwart
A&F number 272
ISBN-number
Date of publication november 2004
Confidentiality Nee
Project code. PT11700 A&F: 630.54301.01

Agrotechnology & Food Innovations B.V.
P.O. Box 17
NL-6700 AA Wageningen
Tel: +31 (0)317 475 024
E-mail: info.agrotechnologyandfood@wur.nl
Internet: www.agrotechnologyandfood.wur.nl

© Agrotechnology & Food Innovations 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, hetzij mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever. De uitgever aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele fouten of onvolkomenheden.

All right reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system of any nature, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior permission of the publisher. The publisher does not accept any liability for the inaccuracies in this report.



The quality management system of Agrotechnology & Food Innovations B.V. is certified by SGS International Certification Services EESV according to ISO 9001:2000.

Samenvatting

Recent is een plan gepresenteerd voor een kas met wateropslag in de kelder waarbij verschillende opties denkbaar zijn om het water onder de vloer voor meerdere doelen in te zetten (regenwateropslag, calamiteitenberging, warmteopslag). Agrotechnology and Food Innovations heeft gekeken of deze kelder ook gebruikt kan worden in het kader van gesloten, energiezuinige kasteelten waarvoor korte termijn buffering en klimatisering van de kas nodig zijn.

Een korte termijn warmtebuffer zorgt ervoor dat de benodigde capaciteit van aquifers in termen van het te verpompen debiet per tijdseenheid kleiner kan worden, wat zorgt voor een aanzienlijke kosten reductie.

Naast de functie van opslagruimte is ook gekeken naar de mogelijkheid om de waterkelder te gebruiken als koeler voor de kaslucht. Eerst is de koelcapaciteit onderzocht indien de kaslucht over het koude wateroppervlak wordt geblazen. Het bleek dat het niet mogelijk was om én een grote koelcapaciteit te hebben én een efficiënte lang termijn warmte-opslag te kunnen realiseren. Daarom is in een tweede concept gekeken naar de perspectieven van het versproeien van koud water in een luchtstroom die door de kelder onder de vloer wordt getrokken. Deze uitvoeringsvorm voldoet aan de eisen voor wat betreft koelcapaciteit en warmte-opslagefficiëntie en vormt dus een alternatief voor het gebruik van luchtbehandelingskasten voor de koeling van kassen.

Alle mogelijke additionele functies van een waterkelder onder de kasvloer bieden echter geen of nauwelijks meerwaarde ten opzichte van alternatieven (standaard regenwaterbassin, water-opslag tanks en luchtbehandelingskasten). De economische haalbaarheid van een waterkelder onder de kas wordt dus vrijwel geheel bepaald door de waarde die door waterschappen aan een calamiteiten berging wordt toegekend.

Inhoud

Inhoud	3
1 Inleiding	5
2 Perspectief van additioneel gebruik van waterbergingskelder	7
2.1 Aandachtspunten voor het gebruik van de waterbergingskelder	7
2.2 Kelder als koudebuffer	7
2.3 Gebruik van de kelder voor de klimatisering	8
2.3.1 Warmtehuishouding van een kas	8
2.3.2 Eerste ontwerp van systeem voor warmteonttrekking	10
2.3.3 CFD berekening van eerste ontwerp	11
2.3.4 Tweede ontwerp van systeem voor warmteonttrekking	14
2.3.5 Het Geslotenkas® systeem	16
2.4 Economische perspectief	17
3 Conclusies	18
Referenties	19

1 Inleiding



Figuur 1 Bouw Watershell® kelder door Waterblock BV

Aanzet tot het project

Recent is een plan gepresenteerd voor een kas met wateropslag in de kelder waarbij verschillende opties denkbaar zijn om het water onder de vloer voor meerdere doelen (regenwateropslag, calamiteitenberging, warmteopslag) in te zetten. Daarbij is aan Agrotechnology & Food Innovations de vraag gesteld om de inzetbaarheid van de waterlaag voor warmtebuffering in het kader van energiezuinige kasteelten te onderzoeken. Twee functies zijn daarbij beschouwd: de toepassing als korte termijnbuffer en het gebruik ervan voor de klimatisering van de kas.

Toepassing van korte termijn buffering

Het probleem bij een kas met beperkte of geen ventilatie is het warmte- en vochtoverschot in de kas. Deze moeten worden onttrokken om ongewenste klimaatcondities (te hoge temperatuur en/of luchtvochtigheid) te voorkomen. De onttrokken warmte kan worden opgeslagen in een korte- of lange termijn buffer voor gebruik in de periode met warmtevraag. Per m² kasoppervlak is er ongeveer 20 m³ water nodig om het warmteoverschot van een jaar in op te slaan. Een aquifer (watervoerende laag in de bodem) is hiervoor de meeste perspectievolle oplossing. Een put met een groot debiet maken voor een aquifer vergt een grote investering, om deze reden wordt gekozen voor de inzet van korte termijn buffers, die in combinatie met de aquifer op

warme dagen voldoende koelcapaciteit kunnen leveren. Het aantal putten kan hiermee worden beperkt. De korte termijn buffer wordt in de nacht gekoeld middels de aquifer. Deze korte termijn buffering kan mogelijk in de waterbergingskelder worden ingepast. De technische en economische aspecten voor deze ingreep zijn onderzocht.

Gebruik kelder voor klimatisering

De koeling van een (semi-) gesloten kas vergt een groot warmte-uitwisselend oppervlak aangezien het temperatuurverschil tussen de lucht en het water uit de aquifer niet groot is. Om deze reden is gekeken of het grote oppervlak van de kelder gebruikt kan worden voor de koeling en ontvochtiging van de lucht.

Klimatisering van de kas brengt met zich mee dat er veel lucht moet worden verplaatst. Door de klimatisering meer lokaal in de kas te doen kan het energieverbruik worden verminderd.

Horizontale temperatuurverschillen welke het gevolg zijn van het verplaatsen van de lucht over grotere afstanden worden door de lokale behandeling mogelijk kleiner.

Doelstelling van het project

Deze voorstudie laat het perspectief van additionele functies voor een waterbergingskelder zien. Naast de technische aspecten die voor de additionele functies nodig zijn, zijn ook de economische perspectieven bekeken.

2 Additioneel gebruik van waterbergingskelder

De haalbaarheid van een systeem in de praktijk wordt bepaald door de technische mogelijkheden en de daarbij behorende kosten.

2.1 Aandachtspunten voor het gebruik van de waterbergingskelder

De additionele functies welke de kelder naast waterberging kan vervullen zijn:

- De korte termijn buffers die nu worden ingezet bij het gebruik van een aquifer kunnen mogelijk worden geïntegreerd met de kelder. Het voordeel van deze aanpak is dat er geen grond nodig is voor de buffers.
- De warmteoverdracht tussen de kaslucht en het water in de buffer gaat mogelijk met minder energieverlies gepaard indien deze plaatsvindt onder de kas. Het benodigde vermogen voor de verplaatsing van lucht en water kan worden verkleind. De plaatsing van de installatie onder de kas geeft ook ruimtewinst.

De kelder wordt in de eerste plaats gebouwd als regenwaterberging. Als de kelder voor een additionele functie wordt aangewend, dient met de volgende punten rekening te worden gehouden:

- De kelder moet altijd voor de primaire functie, waterberging gedurende periodes van grote regenval, kunnen worden aangewend. Voor de buffering van warmte dient daarom een aparte ruimte te worden gemaakt.
- Het regenwater mag geen contact hebben met het bufferwater om vervuiling te voorkomen.
- Het koude en warme water in de buffer dient gescheiden opgeslagen te worden om de koeling in de kas te kunnen waarborgen.

Het systeem van warmtebuffering is nodig voor een (semi-)gesloten kas. De korte termijn buffering wordt gebruikt om voldoende koeling te krijgen gedurende warme dagen zonder dat de capaciteit van de aquifer moet worden vergroot. Bij het ontwerpen van een systeem, waarbij de waterbuffer ook wordt gebruikt voor de klimatisering van de kas, moet rekening worden gehouden met een aantal eisen:

- Klimaatverschillen in de kas moeten gering zijn.
- De warmteonttrekking moet voldoende zijn om de temperatuur in de kas laag te houden.

2.2 Kelder als koudebuffer

Op een warme dag zorgt de korte termijn buffer voor de helft van de levering van de nodige koude, de andere helft wordt direct uit de aquifer gehaald. Op een warme dag wordt er gemiddeld ongeveer 300 W voor een periode van 10 uur in de kas gebracht. Als het water hierbij 10°C opwarmt is er 10 cm water per m² kas oppervlakte nodig om de helft van deze warmte in de korte termijn buffer op te slaan. Als 10% van het kasoppervlak in de kelder met een hoogte van één meter wordt gereserveerd voor de warmte opslag dan is dit voldoende. Het warme en het koude water moeten wel gescheiden worden gehouden in deze opslag. In de nachtperiode wordt de korte termijn buffer weer gekoeld middels de aquifer.

Gedurende koude periodes zal de buffer niet worden gebruikt.

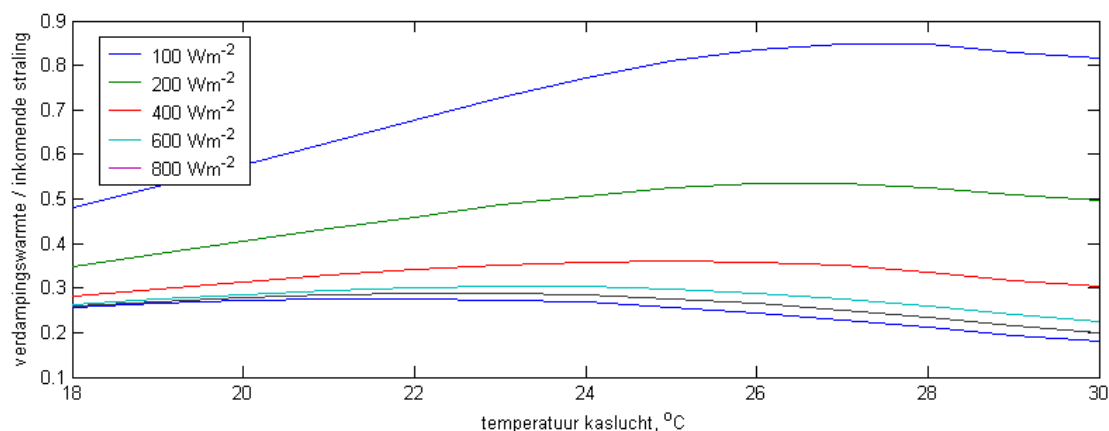
2.3 Gebruik van de kelder voor de klimatisering

Naast de functie van de kelder als korte termijn warmteopslag is gekeken naar de toepassing van de kelder voor de klimatisering. De lucht wordt middels warmte-uitwisseling gekoeld met het water. Het systeem voor de warmte-uitwisseling kan mogelijk in de kelder worden geïntegreerd. De technische haalbaarheid van het systeem hangt af van het realiseerbare klimaat, dat moet liggen in de range die normaal is voor de kasteelt. Om na te gaan in hoeverre in een kas met het beoogde systeem een acceptabel kasklimaat te bereiken is, zijn berekeningen uitgevoerd uitgaande van de energie/warmtebalans in de kas en de overdracht van warmte en vocht tussen de lucht en de gekoelde waterlaag. Bij de berekeningen is uitgegaan van de zomersituatie waarbij er een warmte- en vochtoverschot in de kas aanwezig zijn, welke middels een koud oppervlak moeten worden afgevoerd. In de winter wordt het overtollig vocht met de ramen afgevoerd en zal de normale buisrailverwarming de kas verwarmen.

De temperatuur van het water dat uit de aquifer komt hangt af van de warmtebalans over het jaar. De aquifer wordt in de winter gebruikt voor de verwarming. Het koude water wordt dan in de koude bron van de aquifer gepompt. De benodigde hoeveelheid verwarming en het debiet naar de bron bepalen de temperatuur van het teruggepompte water en de hoeveelheid. Deze temperatuur wordt meestal rond de 8°C gehouden.

2.3.1 Warmtebuisbouding van een kas

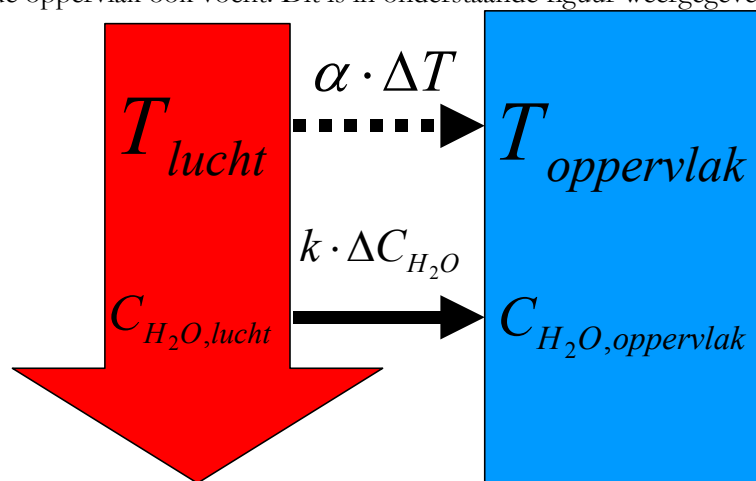
De temperatuur in de kas wordt bepaald door de warmtebalans. De zonnewarmte zorgt voor een verhoging van de temperatuur en de verdamping van het gewas. De verdamping van het gewas hangt af van de temperatuur van de lucht, de relatieve luchtvochtigheid en de hoeveelheid instraling.



Figuur 2 De factor latente warmte die wordt omgezet uit de stralingswarmte als functie van de temperatuur bij verschillende stralingsniveaus bij een RV van 80% en een CO₂ niveau van 1000 ppm

Bovenstaande figuur laat zien hoeveel van de straling die de kas inkomt, wordt omgezet in latente warmte (verdamping van het gewas, volgens een verdampingsmodel Stanghellini, 1987). Om de temperatuur en de luchtvochtigheid in de kas constant te houden, moet de totale warmte weer

worden afgevoerd. Lucht die langs een koud oppervlak stroomt, staat zijn warmte af aan het oppervlak en afhankelijk van het verschil in waterdampconcentratie van de lucht in vergelijking met het koude oppervlak ook vocht. Dit is in onderstaande figuur weergegeven.



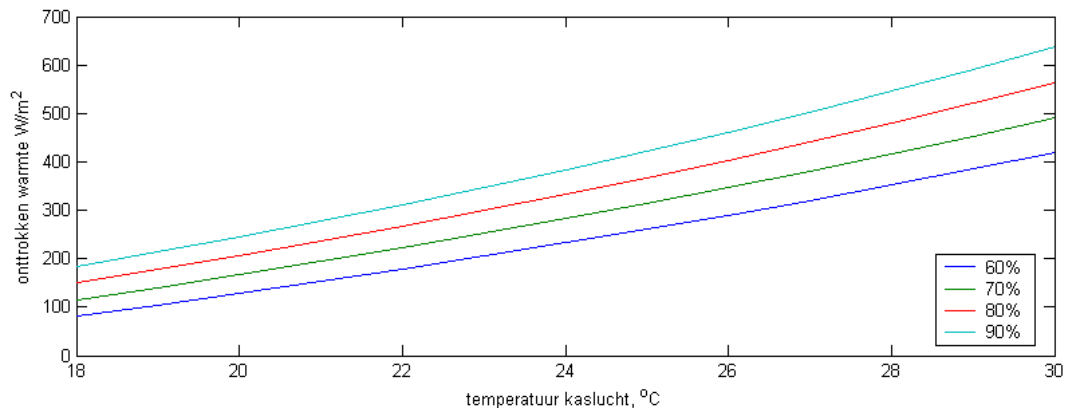
Figuur 3 Warmte en vochttransport tussen de lucht en het koude oppervlak

De stofoverdracht k in m s^{-1} is direct gerelateerd aan de warmteoverdracht α in $\text{W m}^{-2}\text{K}^{-1}$ volgens de relatie van Lewis:

$$\frac{\alpha}{k} = \rho c_p \left(\frac{a}{\delta} \right)^{0.67} \quad (1)$$

waarin ρ is de dichtheid in kg m^{-3} ; c_p is de soortelijke warmte in $\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$; a is de warmtevereffeningscoëfficiënt in $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$; en δ is de diffusiecoëfficiënt in $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$.

De concentratie van waterdamp bij het koude oppervlak is gelijk aan de verzadigde dampspanning bij de temperatuur van dat oppervlak. Op basis van deze theorie is de warmteoverdracht van de kaslucht naar een koud wateroppervlak als functie van het kasklimaat te berekenen.

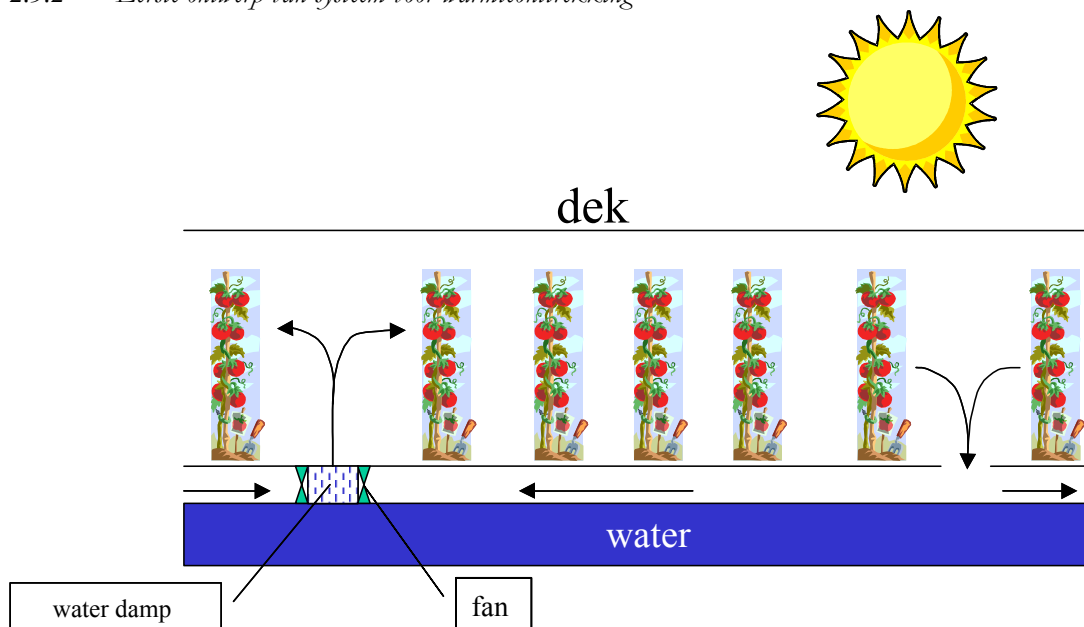


Figuur 4 De totale warmte onttrekking (latent en voelbaar) door een koud oppervlak van 10°C als functie van de kasluchttemperatuur en de relatieve luchtvochtigheid, uiggaande van een voelbare warmteoverdrachtscoëfficiënt van 10 W m⁻²K⁻¹.

Uit Figuur 4 blijkt dat het mogelijk is de warmte-instraling van zon weg te koelen met een koud oppervlak dat even groot is als het kasoppervlak, mits de temperatuur van het koude oppervlak laag genoeg is. Deze temperatuur wordt bepaald door de koude bron van de aquifer. De warmteoverdrachtscoëfficiënt hangt af van de snelheid waarmee de lucht langs een oppervlak stroomt. De totale warmteoverdracht kan daarom worden gevarieerd door de luchtsnelheid te veranderen of door het temperatuurverschil tussen de lucht en het koude oppervlak te veranderen.

Er zijn twee ontwerpen, die in de volgende paragrafen worden besproken.

2.3.2 Eerste ontwerp van systeem voor warmteonttrekking



Figuur 5 Ontwerp voor een gesloten kas.

De warmte en het vocht moeten uit de kaslucht worden gehaald middels een koud oppervlak. In het voorgestelde systeem stroomt de lucht langs een koud wateroppervlak onder de teeltvloer. Voor een momentane situatie is van het slechtste geval (worst case scenario) uitgegaan waarbij de globale straling 800 W/m^2 is. Deze maximale hoeveelheid straling komt in Nederland ongeveer 40 uur per jaar voor. Bij dit niveau van straling, een hoge CO_2 -dosering (1000 ppm), een relatieve luchtvochtigheid van 80% en een luchttemperatuur van 25°C (15.8 gr waterdamp per kg lucht) verdampt een plant ongeveer $200 \text{ W/m}^2 (=9.1 \cdot 10^{-5} \text{ kg/m}^2 \text{ s})$. De voelbare warmte is 470 W/m^2 (bij een transmissie van 84%).

De warmte wordt afgevoerd naar het koude water en de waterdamp condenseert op het wateroppervlak. De gekoelde en gedroogde lucht wordt vervolgens bevochtigd wat tot gevolg heeft dat de lucht weer rond de 80 % relatieve luchtvochtigheid komt en de temperatuur verder daalt.

Als de lucht met een snelheid van meer dan 1 m/s langs het water met een temperatuur van 10°C (7.6 g waterdamp per kg lucht) wordt geleid is de voelbare warmteoverdrachtscoëfficiënt ongeveer $15 \text{ W/m}^2\text{K}$. De warmteoverdracht kan worden veranderd door de luchtsnelheid te veranderen. De totale warmteoverdracht is 300 W/m^2 als de binnenkomende lucht 30°C is. De stof overdrachtscoëfficiënt volgt met de Lewis-relatie uit de warmteoverdrachtscoëfficiënt en is $1.65 \cdot 10^{-2} \text{ m/s}$. De hoeveelheid stof overdracht is $1.8 \cdot 10^{-4} \text{ kg/m}^2 \text{ s}$. Dit is meer dan door het gewas wordt verdampt. Het teveel afgevoerde vocht $9.0 \cdot 10^{-5} \text{ kg/m}^2 \text{ s}$ kan weer worden aangevuld met een bevochtiger. Dit geeft een koeling van 220 W/m^2 . Totale koeling is dan 520 W/m^2 , voldoende om de kas op temperatuur te houden.

Het systeem kan zich aanpassen aan het klimaat door het vermogen van de ventilator te variëren en de hoeveelheid bevochtiging aan te passen. De temperatuur van het water kan uiteraard ook veranderen. Het water kan gekoeld worden door een slang in het water te leggen waar koud water doorheen stroomt, door toepassing van de koelmachine.

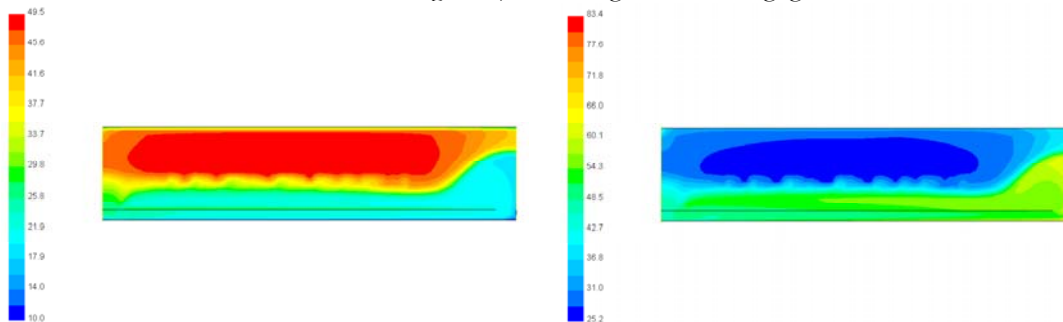
2.3.3 CFD berekening van eerste ontwerp

Middels computational fluid dynamics (CFD) is het systeem nauwkeuriger te analyseren. De volgende randvoorwaarden zijn bij de berekening gebruikt:

- De buitenlucht is 25°C en de kas heeft aan de buitenzijde een warmteoverdracht van $10 \text{ W/m}^2\text{K}$.
- De hemeltemperatuur is 5°C , en de emissiecoëfficiënt van het dek is 0.86.
- De kas is 4 meter hoog en een sectie heeft een lengte van 20 meter.
- Het gewas is 3 meter hoog waarvan de bovenste 2 meter bladeren bevat. Het gewas heeft een weerstand voor de lucht die overeenkomt met paprika.
- De instraling wordt via het gewas aan de lucht overgedragen. In de 2 meter gewas wordt 500 W/m^2 aan voelbare warmte gestopt en 200 W/m^2 ($9.1 \cdot 10^{-5} \text{ kg/m}^2\text{s}$) aan latente warmte. Hierbij is uitgegaan van een transmissie van 84%.
- Onder de kas bevindt zich een ruimte met een hoogte van 50 cm. De bodem van deze ruimte is 10°C en de vochtconcentratie aan de oppervlakte is 7.6 gr/kg (10°C , 100% RV).

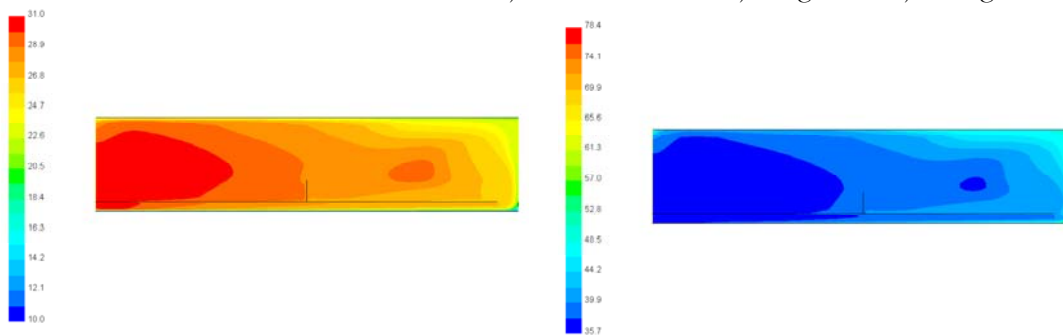
- Met een ventilator waarover het drukverschil kan worden ingesteld wordt lucht over de bak geblazen.
- Daar waar de lucht de bak weer verlaat wordt warmte aan de lucht onttrokken en wordt een overeenkomstige hoeveelheid vocht in de lucht gebracht (verdampingskoeling).
- De gaten in de vloeren zijn 1 meter breed.
- Links en rechts worden symmetrie vlakken gebruikt.

De resultaten van de CFD berekeningen zijn hierna grafisch weergegeven.



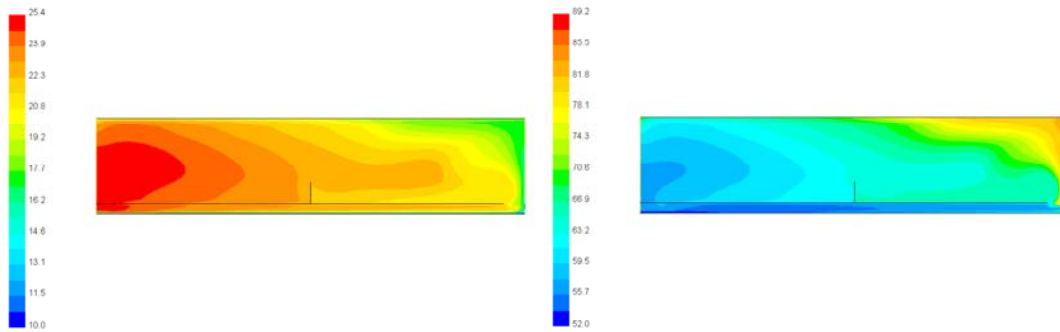
Figuur 6 Temperatuur en relatieve luchtvochtigheid. De lucht wordt met 1.3 m/s over de bak geblazen een ventilatordruk van 20Pa. Bij de bevochtiger wordt 1000 W warmte onttrokken en $4.5 \cdot 10^{-4}$ kg/s toegevoerd.

Uit de figuur komt duidelijk naar voren dat er een probleem is met de luchtverdeling in de kas. De koude lucht stroomt over de vloer terwijl de warme lucht bij het gewas blijft hangen.



Figuur 7 Temperatuur en relatieve luchtvochtigheid als een muurtje van een meter hoog in de kas wordt gezet

Om de situatie te verbeteren is gezocht naar een eenvoudige oplossing. Deze bleek een muur van een meter hoog welke halverwege de sectie kas geplaatst wordt (Figuur 7). De relatieve luchtvochtigheid daalt tot 40% in de kas omdat er niet voldoende wordt bevochtigd.



Figuur 8 Temperatuur en relatieve luchtvochtigheid waarbij er 1.8 g/sec aan water wordt verneveld

De relatieve luchtvochtigheid wordt verhoogd door de bevochtiging aan het eind van het luchtkanaal onder de kas te verhogen naar 1.8 g per seconde. De extra bevochtiging zorgt voor een koeling van $4000 \text{ W} (=200 \text{ W/m}^2)$. In Figuur 8 is te zien dat de temperatuur lager is en de relatieve luchtvochtigheid hoger dan in Figuur 7. Aan de lucht wordt $5700 \text{ W} (=285 \text{ W/m}^2)$ aan warmte door het water onttrokken. Het gewas produceert 1.8 g/s. Op het geheel wateroppervlak condenseert er in totaal 3.6 g/s. Deze waarden komen goed overeen met de berekening in de vorige paragraaf. Bij de condensatie wordt $7920 \text{ W} (=396 \text{ W/m}^2)$ aan het water overgedragen. Totaal wordt er iets minder 700 W/m^2 door het water onttrokken wat overeenkomt met de instraling.

Uit de CFD berekening volgt dat er $1.2 \text{ m}^3/\text{s}$ aan lucht wordt verplaatst bij een drukverschil van 20 Pa. Dit komt neer op een energieverbruik van 48 W, oftewel 2.4 W/m^2 .

Voordelen van het systeem:

- Het koude oppervlak is gelijk aan het kasoppervlak
- De luchtbehandeling gebeurt lokaal wat tot een reductie van ventilatorenergie leidt
- Geen luchtslangen van de luchtbehandelingskasten naar de uitblaasslangen nodig.
- Geen limitaties aan de dimensies van de kas omdat het systeem modulair kan worden toegepast.

Nadelen van het systeem:

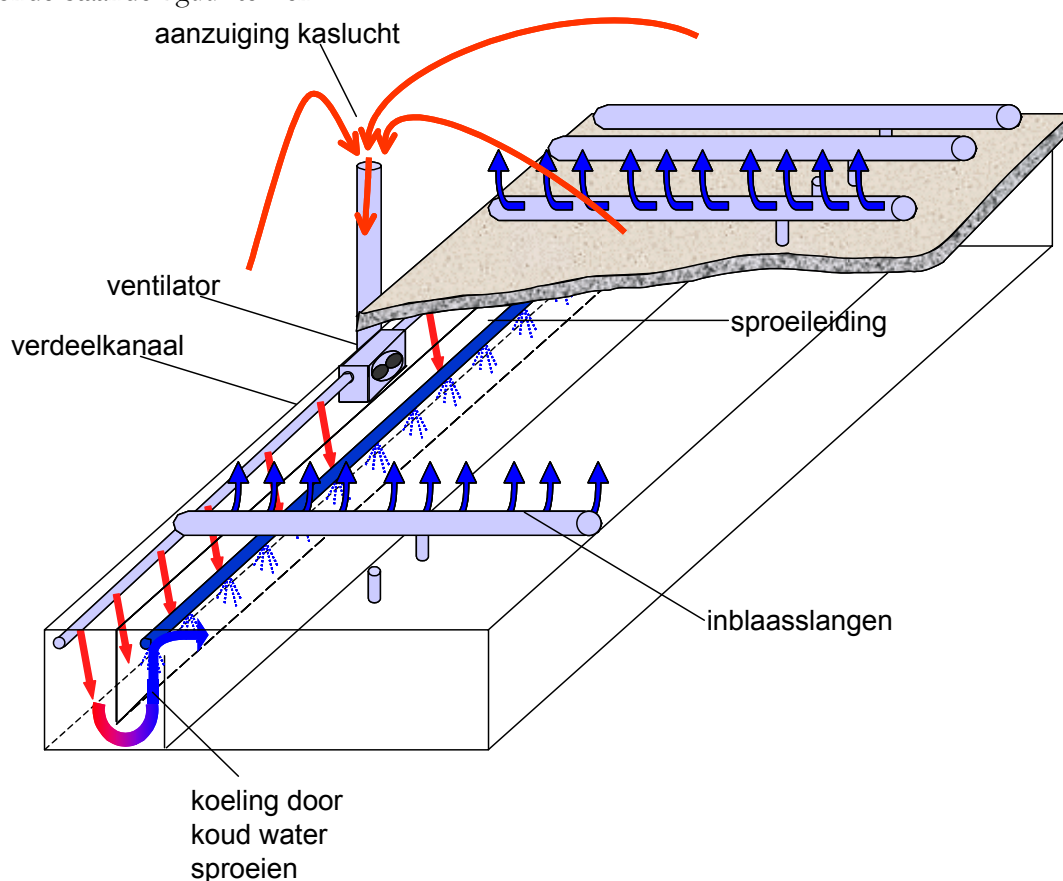
- De hoogte tussen de vloer en het wateroppervlak mag niet te groot zijn (anders is de luchtsnelheid te laag), en niet te klein (anders is de luchtweerstand te groot). Dit vergt een extra vloer in het systeem omdat de kelder minstens een meter diep is.
- De temperatuur van het water mag niet te hoog zijn anders is er niet voldoende koeling mogelijk, een warmtepomp zal het water daarom op een lage temperatuur moeten houden wat energie kost (geschat op ongeveer 10 m^3 gas per m^3). De temperatuur van het water wordt bepaald door de aquifer waarin de koude in de winter wordt opgeslagen.
- Er zijn meer ventilatoren nodig
- Er ontstaat een horizontale temperatuurgradiënt door de kas
- Mogelijk ontstaan er ziektes in het water waarvoor ontsmetting nodig is.

Slotconclusie van het eerste systeemontwerp

De voordelen van het systeem wegen niet op tegen de nadelen. Vooral de grote temperatuurgradiënt die ontstaat is niet acceptabel in een praktijk kas. Om deze reden zal een ander ontwerp worden gemaakt.

2.3.4 Tweede ontwerp van systeem voor warmteonttrekking

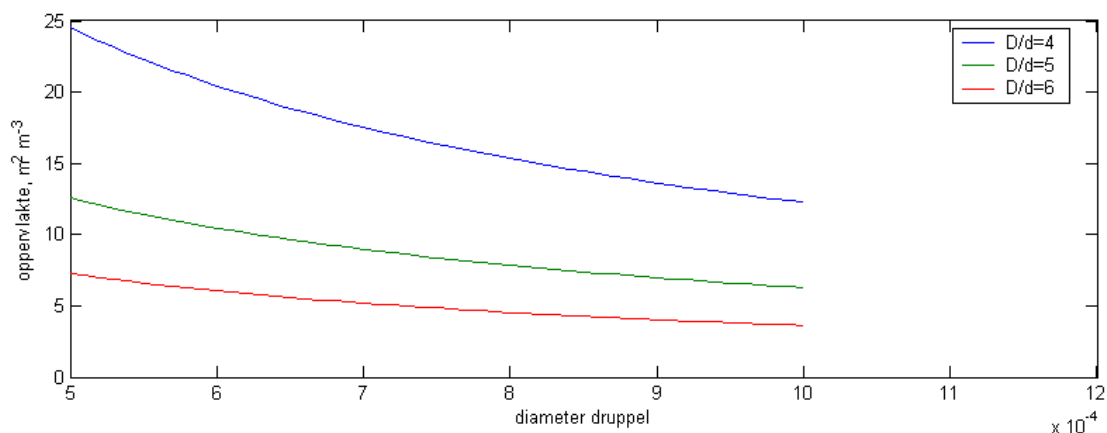
Een compacte luchtbehandeling welke onder de vloer geplaatst kan worden heeft de nadelen van het eerste ontwerp niet. Plaatwarmtewisselaars kunnen worden gebruikt, echter deze zorgen voor veel luchtweerstand wat de benodigde energie voor de ventilatoren verhoogt en er is veel materiaal nodig om ze te maken wat de investering verhoogt. Een water-lucht warmtewisselaar geeft minder luchtweerstand. De lucht stroomt hierbij door een nevel van koud water en staat daarbij warmte en vocht af aan het water. Een voorbeeldontwerp van het systeem is in onderstaande figuur te zien.



Figuur 9 Principe van lokale luchtbehandeling onder de kas

De lucht wordt aangezogen en stroomt via de vernevelingsinstallatie naar de ruimte onder de kas. De gekoelde en verzadigde lucht stroomt vervolgens weer de kas in, eventueel met een luchtverdeelstelsel om luchtbeweging bij het gewas te genereren. Als het water in de opslag koud is kan dit een extra koelend effect geven. De lucht kan ook direct na de verneveling in de kas worden teruggebracht.

De afmetingen van een segment zoals weergegeven in Figuur 9 zal afhangen van de capaciteit van de vernevelingsinstallatie. De temperatuur van het water dat voor de verneveling wordt gebruikt bepaalt hoe groot het luchtdebiet door de installatie wordt. De nevel zorgt voor een groot contactoppervlak, zoals in onderstaande figuur te zien is.



Figuur 10 Het oppervlak van de nevel als functie van de diameter van een druppel en de afstand tussen de druppels, waarbij D de afstand is tussen de druppels en d de diameter van de druppel is

Hoe kleiner de druppel in de nevel hoe groter het uitwisselend oppervlak. Op basis van de valsnelheid van een druppel (Holterman, 2003) moet de druppeldiameter groter zijn dan 500 μm . De valsnelheid moet namelijk groter zijn de snelheid waarmee de lucht omhoog gaat. De dichtheid van de druppels en de grootte hangt af van de vernevelaar die wordt gebruikt. Met deze methode is het mogelijk een groot koud oppervlak te maken zonder een dure warmtewisselaar. Het energieverbruik voor het rondpompen van het water in de warmtewisselaar is verwaarloosbaar ten opzichte van het energieverbruik dat nodig is voor het rondpompen van de lucht. Dit komt door de grote warmtecapaciteit van het water t.o.v de lucht (4.2 MJ/m³ vs. 1.2 kJ/m³). Geschat wordt dat de drukval over de vernevelingsinstallatie een factor twee lager is dan bij het gebruik van een platenwarmtewisselaar. Omdat het water direct in aanraking komt met de lucht is er meer kans op vervuiling dan bij de platenwarmtewisselaar.

De voordelen van het systeem waarbij de luchtbehandeling onder de kas wordt geplaatst, zijn:

- Modulair te plaatsen, waardoor de afmeting van de kas geen belemmering is.
- Goede temperatuurverdeling in het gewas.
- Toepassing van een speciale warmtewisselaar waardoor drukverliezen worden verkleind.
- De kelder kan worden gebruikt als etmaal opslag van warmte. Gedurende warme periodes moet er een buffer met koud water zijn omdat het waterdebiet uit de aquifer beperkt is. De kosten van een etmaalbuffer zijn meer dan € 50.000 per hectare (Zwart, 2004), deze worden door de inzet van de kelder uitgespaard.
- Geen kasoppervlak nodig voor de installatie.

Nadeel van het systeem:

- In de kelder moet een additionele ruimte voor de warmtewisselaar worden gemaakt.
- Het systeem is minder eenvoudig bereikbaar in geval van storing dan wanneer de installatie in de kas wordt geplaatst.

Slotconclusie van het tweede ontwerp

Het tweede ontwerp functioneert ongeveer op dezelfde wijze als het Geslotenkas® ontwerp (zie volgende paragraaf) maar heeft als voordeel dat de lucht lokaal wordt behandeld. Het verplaatsen van lucht kost hierdoor iets minder energie en ook het koude water is vlakbij de warmtewisselaar. Daarnaast is er geen kasoppervlak nodig voor de plaatsing van de installatie. Deze voordelen moeten opwegen tegen de extra kosten voor de vergroting van de kelder t.b.v. de plaatsing van de installatie. De kelder moet voor de installatie 5 cm dieper zijn (warmtewisselaar en luchtverdeelsysteem 1 m³ voor 20 m²).

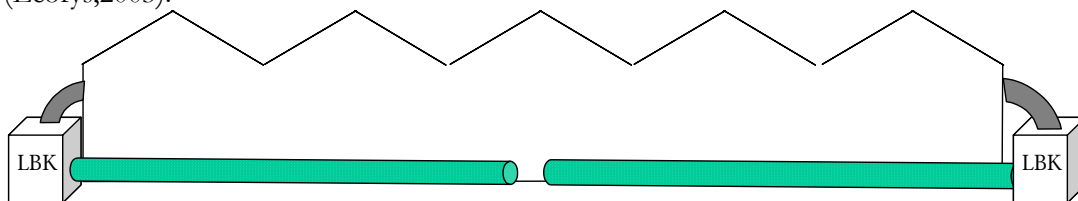
2.3.5 Het Geslotenkas® systeem



Figuur 11 Geslotenkas® concept van innogrow, foto:www.geslotenkas.nl

Het systeem zoals in de vorige sectie is besproken zal als alternatief dienen voor het bestaande GeslotenKas® principe. In dit principe wordt de gekoelde lucht via luchtslangen met een lengte van 47 meter in de kas gebracht. Na dat de lucht door het gewas is gestroomd waarbij het warmte en vocht opneemt stroomt het boven het gewas terug naar de luchtbehandelingskasten.

(Ecofys,2003).



Figuur 12 Principe schets van de Geslotenkas®

De meerwaarde van het tweede ontwerp is de ruimtewinst die wordt behaald met de plaatsing onder de kas.

2.4 Economische perspectief

De kosten van een ondergrondse waterberging zijn ongeveer 200 €/m² (Waterblock, 2003). De diepte van de kelder is dan 2.5 meter. Aquaterranova heeft een studie gedaan naar de technische, economische en juridisch-bestuurlijke haalbaarheid van de toepassing van “Watershell” bergingskelders. Op alle punten bleek het systeem haalbaar. De economische haalbaarheid is bepaald door uit te gaan van het alternatief: een open waterberging. In een open waterberging kan gedurende regenval het waterpeil stijgen. Indien de stijging van het waterpeil in de berging meer kan zijn dan 80 cm dan is een open waterberging goedkoper dan de bouw van een kelderwaterberging. Dit omslagpunt geldt overigens voor gebieden in Nederland waar relatief weinig ruimte is (bv. Westland). Voor andere gebieden in Nederland zal het omslagpunt eerder liggen.

Om etmaal buffering in de kelder toe te passen moet de kelder 10 cm dieper zijn. Daarnaast moet in de kelder een apart compartiment gemaakt worden waar het bufferwater wordt opgeslagen. De kosten voor deze aanpassing worden geschat op € 20 per m² (geschat uit de getallen in de begroting van de totale waterberging). De kosten van het bouwen van etmaalbuffers naast de kas zijn ongeveer € 10 per m². Alleen een tuinder met ruimtegebrek zal daarom voor deze optie kiezen.

Plaatsing van de klimatisering onder de kas kost ongeveer € 10 per m² extra. Het niet plaatsen van de installatie aan de gevel bespaart 5% oppervlak, en geeft daarom 5% extra productie. Bij een productie van € 40 per m² is de terugverdientijd ongeveer 5 jaar.

3 Conclusies

De mogelijkheden voor multifunctioneel gebruik van de waterbergingskelder in het (semi-) gesloten kasconcept zijn onderzocht.

Technisch perspectief

Technisch is het mogelijk de kelder als etmaalbuffer te gebruiken. De buffering moet gescheiden gebeuren van de waterberging waardoor extra ruimte en wanden nodig zijn.

Ook kan de luchtbehandeling van een gesloten kas onder de vloer worden geplaatst. De luchtbehandeling kan technisch worden verbeterd door toepassing van een vernevelingsinstallatie voor de warmteoverdracht i.p.v. een platenwarmtewisselaar. Dit alternatief kan ook worden toegepast op de warmtewisselaar in het concept van de Geslotenkas®. Voordeel van deze methode is dat het energieverbruik voor de verplaatsing van lucht wordt gereduceerd.

Een systeem dat gebruik maakt van het wateroppervlak voor de warmteoverdracht van de lucht naar het water lijkt niet mogelijk vanwege de grote temperatuurgradiënt.

Economisch perspectief

Voorop gesteld is dat de kelder wordt gebouwd voor waterberging. Uit de kosten hiervoor is de meerprijs voor de toepassing van additionele functies in de kelder gebaseerd.

Zoals het economisch perspectief van de kelder als waterberging afhangt van het ruimtegebrek, hangt ook het perspectief van de kelder als etmaal buffer af van ruimtegebrek. Bij voldoende ruimte rond de kas is een aparte etmaal buffer goedkoper dan deze in te passen in de kelder.

De studie van Aqua-terra nova laat zien dat voor bepaalde regio's het perspectief voldoende is voor de bouw van de kelder als waterberging. Voor een deel van deze regio's zal het perspectief voor de implementatie van de etmaal buffer ook voldoende zijn. Plaatsing van de installatie in de kelder lijkt met een terugverdientijd van ongeveer 5 jaar haalbaar..

Overweging voor de Go/No go beslissing

Technisch zijn er geen belemmeringen bij plaatsing van het koelsysteem onder de kas. Bij plaatsing van het systeem onder de kas kan een tuinder overwegen meteen een etmaal buffering in de kelder te laten aanleggen, als ruimte om de kas een probleem is. Plaatsing van de installatie is dan ook reëel. Verbetering van de warmtewisselaar kan mogelijk wel tot een reductie van ventilatorenergie leiden.

Perspectief voor additioneel gebruik van de waterbergingskelder is er zeker. Dit gebruik zal echter geen aanleiding geven tot een grote reductie in energieverbruik.

Referenties

- Aquaterranova (2003). Haalbaarheidsstudie Kelders onder Kassen. www.aquaterranova.nl
- Ecofys (2003) Telen in een gesloten tuinbouwkas; praktijkexperiment. E48031, www.tuinbouw.nl
- Holterman, H.J. (2003). Kinetics and evaporation of water drops in air IMAG rapport 2003-12.
- Stanghellini C (1987). Transpiration of greenhouse crops. PhD thesis, Wageningen University.
- Waterblock BV (2003). Voorstel Waterblock 07-03-03 geschreven door J.H.M. van Ham
- Zwart H.F. de (2004). Praktijkexperiment Duurzame energieverzameling door middel van daksproeiers. A&F Rapport.