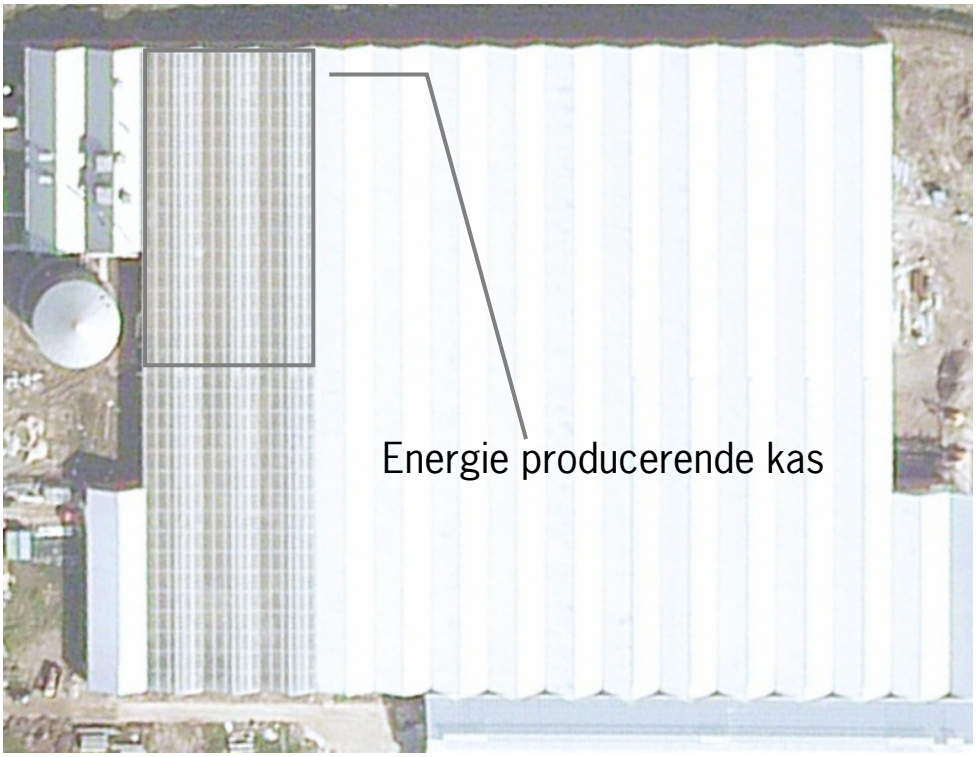
WAGENINGEN UR
For quality of life

Tussenrapportage Energie en Teelt in de Energieproducerende kas

H.F. de Zwart, F. van Noort & J.C. Bakker



Kas als Energiebron

Nota 491

WAGENINGEN UR
For quality of life

Tussenrapportage Energie en Teelt in de Energieproducerende kas

H.F. de Zwart, F. van Noort & J.C. Bakker

Wageningen UR Glastuinbouw, Wageningen
november 2007

Nota 491

© 2007 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

In opdracht van:



Wageningen UR Glastuinbouw

Adres : Bornsesteeg 65, 6708 PD Wageningen
: Postbus 16, 6700 AA Wageningen
Tel. : 0317 - 47 70 01
Fax : 0317 - 41 80 94
E-mail : glastuinbouw@wur.nl
Internet : www.glastuinbouw.wur.nl

Inhoudsopgave

		pagina
Inleiding		1
1	Van uitvoeringsplan naar realisatie	3
1.1	Principieel veranderde zaken	3
1.2	Verandering van de FiWiHEx uitvoering	4
1.3	Verandering van de gebruikswijze van de kas	6
1.4	Afzien van actieve ontvochtiging	6
2	Effecten van wijzigingen op de energieproductie	7
3	Het Zigzag-kasdekmateriaal	13
3.1	De lichttransmissie van ZigZag-platen in vergelijking met enkel glas	13
3.2	De lichttransmissie van de constructie	14
3.3	De lichttransmissie van de Energieproducerende kas in vergelijking met andere kassen	15
3.4	De warmte-doorgang van de kas met Zigzag-kasdek	17
3.5	Effect van een hogere lichtdoorlatendheid en een andere warmtedoorgang	18
4	Gewasgroei en -ontwikkeling in de Energieproducerende kas	19
4.1	Resultaten	20
4.2	Conclusies uit het gewaskundig onderzoek	23
4.3	Aanbevelingen/ideeën bij voortzetting:	23
5	Ervaringen en leerpunten naar aanleiding 1½ jaar Energieproducerende kas	25
6	Beantwoording hoofdonderzoeksvragen	33
7	Conclusies	35
Bijlage I.	Kwantitatieve vergelijking van de ronde FWX met de lineaire	3 pp.
Bijlage II.	Gewaskundige beoordelingscommissie	1 p.
Bijlage III.	Meting van de transmissie van het kasdek	2 pp.

Inleiding

Bij de nieuwbouw van de potplantenkas van Stef Huisman in 2005 deed zich de gelegenheid voor om bij deze coöperatief ingestelde tuinder een praktijkexperiment op te zetten van een Energieproducerende Kas. De verwachtingen van dit concept waren gebaseerd op:

- positieve ervaringen met gedetailleerde metingen aan een ronde FiWiHEx warmtewisselaar (oktober 2002)
- een niet probleemloos, maar toch verwachtingen schepend experiment met 6 ronde FiWiHEx-en in een proefcompartiment van 27 m² (voorjaar 2003)
- het rapport "Energieproducerende Kas; Voorontwerp voor een pilot" (juni 2003)

Met de gegevens die op dat moment voor handen waren heeft LekHabo een nauwgezet uitvoeringsplan voor het experiment Energieproducerende Kas geschreven. Daarin wordt een samenhangend concept gepresenteerd, inclusief kwantitatieve gegevens waarmee de verwachtingen handen en voeten worden gegeven (het rapport "Bouw en inrichting Energieproducerende Kas"; december 2004).

Nadat er op grond van deze beschrijving een 'Go' voor dit experiment door de stuurgroep Kas als Energiebron was gegeven is de uitwerking en realisatie van start gegaan, resulterend in een officiële opening van de Energie-producerende Kas in mei 2006.

In het traject tussen de 'Go' en de oplevering zijn er veel zaken gewijzigd waarbij de hoofddoelstelling van het experiment (het aantonen dat het mogelijk is uit een kas meer energie te onttrekken dan er aan primaire energie aan moet worden toegevoerd) steeds in het vizier is gehouden. Sommige zaken zijn aangepast uit praktische over-wegingen, sommige zaken door wijziging van inzicht en sommige zaken zijn veranderd omdat de omstandigheden daartoe noopten.

In hoofdstuk 1 van deze tussenrapportage worden alle wijzigingen ten opzichte van het oorspronkelijke plan gepresenteerd.

Van de meeste wijzigingen zou verwacht mogen worden dat deze sterk positief zouden bijdragen aan de hoofd-doelstelling van het project, namelijk het aantonen dat een kas een groot netto energieoverschot kan opleveren. Er zijn echter twee zaken die het perspectief van de Energieproducerende kas in hoge mate verminderen die buiten de directe invloedssfeer van het experiment vallen (de kasconstructie en de gebruikswijze van de kas). Hoofdstuk 2 gaat uitgebreid op de effecten van alle wijzigingen in.

Een speciaal onderdeel dat in de Energieproducerende Kas is gebruikt is het Zigzag-kasdek. De ervaringen hiermee worden apart beschreven in hoofdstuk 3.

Behalve de resultaten m.b.t. het energieplaatje en het Zigzag-materiaal is er ook uitgebreid gekeken naar het effect van de sluiting van de kas op de gewasproductie. Hierop wordt in hoofdstuk 4 nader ingegaan.

De ervaring van ruim een jaar met een innovatief project als "de Energieproducerende Kas" heeft veel ervaringen en leerpunten opgeleverd. De meest in het oog springende punten komen aan bod in hoofdstuk 5.

Tenslotte wordt in hoofdstuk 6 de voorlopige conclusies op basis van de huidige resultaten tegen de achtergrond van de oorspronkelijke doelstellingen beschreven. Hierbij wordt een antwoord gegeven op de volgende 4 hoofd-vragen:

- hoe pakken de onderzoeksdoelstellingen in de praktijk uit?
- waardoor zijn de afwijkingen veroorzaakt?
- welke bijstellingen in het onderzoek worden voor het komende onderzoeksjaar voorgesteld?
- welke voorlopige conclusies zijn al te trekken?

1 Van uitvoeringsplan naar realisatie

Sinds de 'Go' voor het uitvoeringsplan Energieproducerende Kas zoals dat door LekHabo is beschreven, en wat de basis heeft gevormd voor het project is er veel veranderd.
Tijdens het bouwproces zijn er vier principiële zaken veranderd en is daarnaast de uitvoeringsvorm van de FiWiHEx radicaal aangepast. Bovendien is de uiteindelijke wijze waarop de tuinder van de kas gebruik maakt zeer sterk gewijzigd ten opzichte van de teeltwijze waar in het uitvoeringsplan vanuit was gegaan. In dit hoofdstuk worden al deze wijzigingen genoemd en van commentaar voorzien. Hoofdstuk 2 gaat in op de consequenties van al deze wijzigingen.

1.1 Principieel veranderde zaken

De principieel veranderde zaken zijn:
1. Het gebruik van een scheidingswisselaar
2. Het gebruik van een warmtepomp
3. Het afzien van de koeltoren en de 'gemiddelde aquifers'
4. Het afzien van de fysieke integratie van een microturbine

Ad 1.

Het gebruik van een scheidingswisselaar tussen het aquifer-circuit en het tuin-circuit is lange tijd een steeds weer terugkerend punt geweest. Het achterwege laten van een dergelijke wisselaar heeft grote voordelen, maar geeft ook risico's zoals afzettingen van zouten of afscheiding van gassen in het bovengrondse deel en verstoppingproblemen in het ondergrondse deel. Het doorslaggevende argument om uiteindelijk toch een scheidingswisselaar te gebruiken was echter simpelweg de provinciale regelingen in deze.
Er is gekozen voor een scheidingswisselaar met een zeer gering temperatuurverlies (een typisch verlies van 1 °C). Het feit dat er een scheidingswisselaar moest worden toegepast impliceerde echter dat inzet van een warmtepomp onontkoombaar werd (zie verder Ad 2.)

Ad 2.

In verschillende notities van Dr. Ir. E. van Andel, in een tweetal notities van H.F. de Zwart en in de voorstudie en het uitvoeringsplan van LekHabo wordt gesproken over de mogelijkheid om een kas d.m.v. FiWiHEx warmtewisselaars te verwarmen en te koelen zonder gebruik te maken van een warmtepomp en daarbij warmte over te houden voor een gebruiker. In al deze documenten wordt er in dat geval gebruik gemaakt van een zeer groot warmtewisselend oppervlak in de warmtewisselaars (ordegrootte 0.4 m² uitwisselend oppervlak per m² kas) en van een ruime band-breedte tussen de stooklijn en de ventilatielijn. In de voorstudie van LekHabo was er bovendien nog een microturbine waarmee een niet onbelangrijke hoeveelheid hoogwaardige warmte beschikbaar kwam.
Tevens wordt in al deze rapporten (met uitzondering van de quick scan van H.F. de Zwart) geen rekening gehouden met het temperatuurverloop van het aquiferwater in de tijd (wat bij een aquifer die conform de provinciale eisen thermisch in balans moet zijn altijd het geval zal zijn) en wordt er géén scheidingswisselaar toegepast.
In de derde plaats zal als een andere afnemer het warmteoverschot uit de kas gaat gebruiken dit water geleverd krijgen van 25 °C en dit water op een voldoende laag temperatuurniveau weer moeten terugleveren, anders heeft het voor het gebruik in de EPK onvoldoende koelpotentieel.
In de vierde plaats laat de studie van de Zwart en Campen (Jaarrond berekeningen aan de energieproducerende tuinbouwkas, 2005) duidelijk zien dat het niet gebruiken van een warmtepomp een koeltoren nodig maakt, wat tevens de vernietiging van een groot warmtelevering potentieel betekent, iets wat omwille van de energiedoel-stellingen ongewenst is.
Op basis van deze nadelige consequenties bij de afwezigheid van een warmtepomp is besloten dat de pilot alleen met vertrouwen kon worden opgezet als de installatie werd uitgerust met een warmtepomp.

Ad 3.

Het oorspronkelijke in het uitvoeringsplan beoogde gebruik van 4 bronnen, namelijk de warme bron van 25 °C en de koude van 12 °C, maar daarnaast nog twee bronnen op temperatuurniveaus's daar tussenin. Deze twee extra bronnen zijn nodig wanneer er zonder warmtepomp zou worden ontvochtigd en verwarmd.
Met de introductie van de warmtepomp is de noodzaak van twee extra bronnen komen te vervallen, wat aanzienlijke kostenbesparingen en vereenvoudiging van de installatie heeft opgeleverd, maar waar uiteraard wel de extra kosten voor de warmtepomp tegenover staan.

Ad 4.

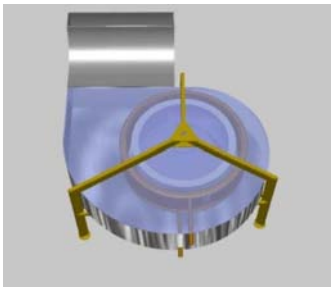
De schaal van het experiment is klein, en uiteindelijk zelfs de helft ten opzichte van de in eerste instantie voorgestelde schaal. Warmtekracht/installaties die qua schaal zouden passen bij het experiment zijn navenant zeer klein, zodat deze installaties niet representatief zijn voor WKK in de glastuinbouw. Daarom, en omdat door inzet van de warmtepomp de hoogwaardige warmte-output van de WKK gemist kan worden, is besloten geen warmte/kracht unit in de installatie op te nemen.
Bij een werkelijke praktijktoepassing van energieproducerende kassen op grote schaal zal zonder twijfel wél een warmte/kracht-unit worden gebruikt, niet in de laatste plaats in verband met de CO_2 voorziening. In de analyse van de gegevens en de vertaling naar de resultaten voor praktijktoepassing wordt dit daarom meegenomen.
Een reden waarom deze beslissing betrekkelijk gemakkelijk genomen kon worden is dat de WK inmiddels een zodanig standaard apparaat in de tuinbouw is[1], dat het grootste deel van de doelgroep goed zal kunnen leven met het achteraf rekenkundig toevoegen van een WK-unit. Hierop wordt in het volgende hoofdstuk nader in gegaan.

1.2 Verandering van de FiWiHEx uitvoering

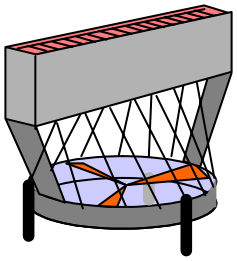
Naast de vier principiële punten die in de uiteindelijke uitvoering veranderd zijn ten opzichte van het oorspronkelijke voorstel is er één onderdeel dat qua uiterlijk en inpassing een ware metamorfose heeft ondergaan, maar wat functioneel gezien gelijk gebleven is, dat is de FiWiHEx warmtewisselaar.
Na inspanningen van HSH, de fabrikant van de FiWiHEx warmtewisselaars, om de ronde prototypen die tot in 2004 in omloop waren, seriematig en tegen acceptabele kosten te kunnen produceren bleek na een aantal maanden dat dit niet mogelijk was. Het weven van de matjes lukte, na aanvankelijke productieproblemen zeer goed, maar het insteken van de matjes in de ronde headers lukte slechts met zeer grote moeite. Het solderen van de verbindingen op een zodanige wijze dat alle 420 gaatjes dicht waren en het soldeer niet ín de headers was gelopen bleek echter een onoverkomelijk probleem. Toen is besloten tot een radicaal ander weg, mede gezien het vooruitzicht dat er voor de Energieproducerende kas ruim 600 op een bepaald tijdstip geproduceerd moesten worden.
In de zomer van 2005 is besloten dat er geen ronde FiWiHEx-en met slakkenhuis gemaakt zouden worden, maar dat een lineaire FiWiHEx zou worden ontwikkeld waarbij uitgangspunt was dat de Lineaire FiWiHEx vergelijkbaar moest presteren met het oorspronkelijke concept.
Toen de eerste lineaire warmtewisselaars in juni 2005 beschikbaar kwamen en op een soortgelijke wijze konden worden doorgemeten als in oktober 2002 met de ronde FiWiHEx was gedaan, is vastgesteld dat de warmteoverdracht inderdaad vergelijkbaar was met die van de ronde FiWiHEx-en (zie Bijlage I).
Een praktisch probleem was toen nog wel de keuze van een geschikte ventilator (zowel qua prijs als qua maatvoering) en de selectie hiervan heeft tot eind 2005 geduurd en vanaf begin januari 2006 konden de eerste FiWiHEx-en in de kas worden geplaatst.

---

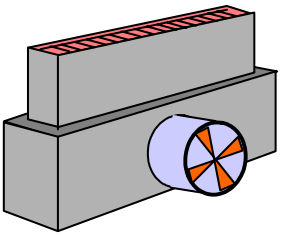
1 Dit wordt nog extra geïllustreedrd door het feit dat het bedrijf van Stef Huisman is opgenomen in de Energie Combinatie Bergerden. Dit is een grootschalig energie-cluster waarin 18 MW elektrisch vermogen staat opgesteld. Dit vermogen wordt geleverd door een 5-tal gasmotoren waarvan de warmte CO_2 en een deel van de elektriciteit door de omliggende tuinders wordt gebruikt voor hun teelt.



Ronde FiWiHEx-en
Bouwjaar <2004



Eerste prototypen
Zomer 2005



Uitvoeringsvorm Huissen,
Bouwjaar 2006



De problemen rond de totstandkoming van de FiWiHEx-en hebben ertoe geleid dat de kas ongeveer een half jaar later is opgeleverd dan oorspronkelijk de bedoeling was.

1.3 Verandering van de gebruikswijze van de kas

Aangepaste temperatuurinstellingen

In alle documenten van voor 2007 met betrekking tot het concept Energieproducerende Kas wordt impliciet of expliciet uitgegaan van ver uit elkaar gelegen stook- en koellijnen, namelijk stoken bij 17 °C en koelen bij 27 °C. Beide instellingen zijn bij het uiteindelijke gebruik van de Energieproducerende kas anders, waarbij vooral de (veel) hogere stooktemperatuur (20 °C) de meest opvallende wijziging is. De koellijn ligt op 26 °C, wat wil zeggen dat er iets meer gekoeld wordt, maar vooral dat het water dat uit de warmtewisselaars terug komt een graad kouder is. De bandbreedte is door deze aanpassingen dus afgenomen van 10 naar slechts 6 °C).
Er is uiteraard een aantal keren met de betreffende tuinder besproken waarom de oorspronkelijke van 17 en 27 °C in het vooronderzoek en ontwerpberekeningen als grenzen zijn aangenomen terwijl vanaf dag 1 dat de Energieproducerende Kas in gebruik werd genomen andere temperaturen zijn gesteld (de koeltemperatuur lag eerst zelfs op 25 °C). Het antwoord is dat deze ruime grenzen altijd door de ondernemer zijn opgevat als incidentele, acceptabele grenswaarden, maar niet als 'streefwaarden'. Overigens zijn de nu bij Hydro Huisman toegepaste temperatuurinstellingen (20 en 26 °C) ten opzichte van de gemiddelde tropische potplantenteler nog steeds ruim, vooral voor wat betreft de koellijn.

Gebruik schaduwschermen

Een tweede, nog belangrijker punt is het gebruik van het schaduwscherm. In de voorstudie en in het uitvoeringsplan van LekHabo wordt het schaduwscherm genoemd als noodmaatregel die oververhitting van de kas bij onverhoopt te kleine koelvermogens helpt voorkomen.
In de berekeningen was daarom het gebruik van het schaduwscherm altijd buiten beschouwing gebleven. De dagelijkse praktijk bij de teelt in de Energieproducerende Kas is echter anders; het schaduwscherm wordt systematisch ingezet als teeltmaatregel en niet uitsluitend als noodmaatregel. In de zomer van 2007 werd het schaduwscherm al gesloten bij een stralingsintensiteit buiten boven de 500 W/m² (in het begin van het jaar lag dit niveau nog lager, 400 W/m²). Dit betekent dat er op 650 van de ongeveer 1300 uur per jaar waarin de koeling actief is, er ook geschermd wordt. Het scherm is een bandjes weefsel waarbij 2/3 van deze bandjes reflecterende aluminium strips zijn en 1/3 lichtdoorlatend. Daarmee wordt in gesloten toestand 2/3 van de straling weer gereflecteerd wat bevestigd is door metingen met een lichtmeter. Omdat de verzameling van energie in een Energieproducerende kas gebaseerd is op maximale benutting van het zonlicht, heeft reflectie van 2/3 van het zonlicht gedurende de lichtrijkste helft van het jaar grote implicaties op de warmteoogst. In het volgende hoofdstuk wordt aangetoond dat meer dan de helft van de tegenvallende warmteoogst dan ook aan dit schermgebruik worden toegeschreven. Overigens wordt de op dit moment toegepaste strategie voor het schaduwscherm onder potplantentelers als revolutionair gekwalificeerd omdat men normaal gesproken bij vergelijkbare teelten bij nog lagere stralingsniveaus overgaat tot het gebruik van schaduwschermen.

1.4 Afzien van actieve ontvochtiging

In de voorstudie en in het "Bouw en inrichtingsplan" werd gebruik gemaakt van actieve ontvochtiging, om de kas ook tijdens perioden met warmtevraag te kunnen ontvochtigen. Dit betekent dat een aantal warmtewisselaar blokken koud water laten circuleren (12 °C) zodat hier waterdamp kan condenseren, terwijl andere blokken de kaslucht weer verwarmen.
Met de installatie uit het "Bouw en inrichtingsplan" was dit mogelijk, maar alleen ten kosten van de vernietiging van een grote hoeveelheid warmte (ordegrootte 250 MJ).
In het uiteindelijke systeem, met warmtepomp, treedt deze vernietiging niet op waardoor er in principe een groter warmteoverschot aan derden geleverd kan worden. De ervaring en ook berekeningen laten zien dat deze toename van dit laagwaardige warmteoverschot in geen verhouding staat tot de toename van de daarvoor noodzakelijke kostbare elektriciteit. Daarom is besloten om vanaf de zomer niet langer gebruik te maken van actieve ontvochtiging. Op basis daarvan is ook besloten om te stoppen met het produceren van de hiervoor benodigde dubbel uitgevoerde FiWiHEx-blokken.

2 Effecten van wijzigingen op de energieproductie

Zoals in het vorige hoofdstuk beschreven zijn er in het traject van Uitvoeringsplan tot Realisatie veel zaken aangepast die invloed hebben op het uiteindelijke resultaat wat mogelijk sterk af zal wijken van de oorspronkelijke verwachting.
In het document "Bouw en inrichting Energieproducerende Kas" van (LekHabo, december 2004) zijn de volgende verwachtingen voor het ontwerp beschreven:

- Het eigen elektriciteitsverbruik van de Energieproducerende kas bedraagt 35 kWh/(m² jr), waarvan 25 kWh voor de FiWiHEx-ventilatoren en 7 kWh voor de bronpompen. Het resterende deel van het verbruik zit in de koeltoren.
- De elektriciteitsproductie van de WKK bedraagt 16 kWh per jaar.
- Het gasverbruik van deze WKK bedraagt 6.7 m³/(m² jaar).
- De levering van warmte aan 'derden' bedraagt 455 MJ/(m² jaar), maar ook de afvalwarmte van de Micro Gasturbine kan aan derden worden geleverd (87 MJ/(m² jaar)), waardoor het totaal aan leverbare warmte 542 MJ/(m² jaar) wordt.

Om uit deze getallen de netto energieproductie te berekenen moet het primaire energieverbruik dat nodig is voor de extra benodigde elektriciteit het openbare net, worden uitgerekend. Deze hoeveelheid is 35-16 = 19 kWh, wat bij een conversierendement van 43% in het openbare net neerkomt op 5.1 m³ aardgas per m² per jaar. Het totale naar de Energieproducerende kas toe te rekenen gasverbruik komt daarmee op (6.7+5.1=) 11.8 m³/(m² jaar). Als de warmtelevering aan derden wordt gewaardeerd in aardgas equivalenten kan er 17.2 m³ aardgas equivalenten per m² per jaar worden geleverd. De netto energieproductie komt dan uit op 5.2 m³/(m² jaar). (in het "Bouw en Inrichtings-plan" staat 5.1, een gevolg van andere afrondingen)
Wanneer deze verwachtingen worden vergeleken met de resultaten over 2007 (t/m half september gemeten en vervolgens voor de rest van het jaar geëxtrapoleerd), vallen er grote verschillen op.

Gemeten energieverbruik

Het elektriciteitsverbruik van de Energieproducerende kas zoals die in Huissen is gerealiseerd bedraagt 72 kWh per m² per jaar, wat iets meer dan 2 maal zo hoog is als het oorspronkelijk verwachte gebruik. De FiWiHEx-ventilatoren gebruiken daarvan 18 kWh per m² per jaar, de pompen die water over de bronnen en in de kas laten circuleren, gebruiken 13 kWh per m² per jaar en de warmtepomp gebruikt 41 kWh per m² per jaar.
Het lijkt het er dus op dat het vooral de warmtepomp is die het verschil maakt maar deze conclusie is voorbarig omdat als de warmtepomp er niet zou zijn geweest, het verbruik van de FiWiHEx ventilatoren veel hoger en dat van de pompen enigszins hoger zijn geweest. Dit wordt hierna verder besproken.

Warmtelevering/ energieproductie

De warmtelevering vanuit de Energieproducerende Kas in Huissen gaat naar het vloerverwarmingssysteem van de rest van het bedrijf. Deze levering bedraagt over 2007 naar verwachting 300 MJ/(m² jaar). Puur op basis van de vergelijking van ingaande en uitgaande megajoules zou de kas dus nét energieproducerend zijn: 72 kWh komt overeen met 260 MJ, waardoor er een 40 MJ overschot ontstaat (=1.3 m³ aardgas equivalenten).
Als er echter gerekend wordt met het omzettingsrendement van hoogwaardige energie (gas) naar elektriciteit en het centrale rendement op 43% wordt gesteld, dan is de kas zoals die op dit moment in Huissen bedreven wordt, *niet* energieproducerend. De productie van 72 kWh elektriciteit kost namelijk 19 m³ aardgas en wanneer het warmte-overschot wordt omgerekend in aardgas-equivalenten vertegenwoordigt dit 9.5 m³ aardgas zodat het netto verbruik op 9.5 m³ aardgas per m² per jaar zou moeten worden gesteld.

Correctie voor toepassing van WKK zoals in oorspronkelijk ontwerp

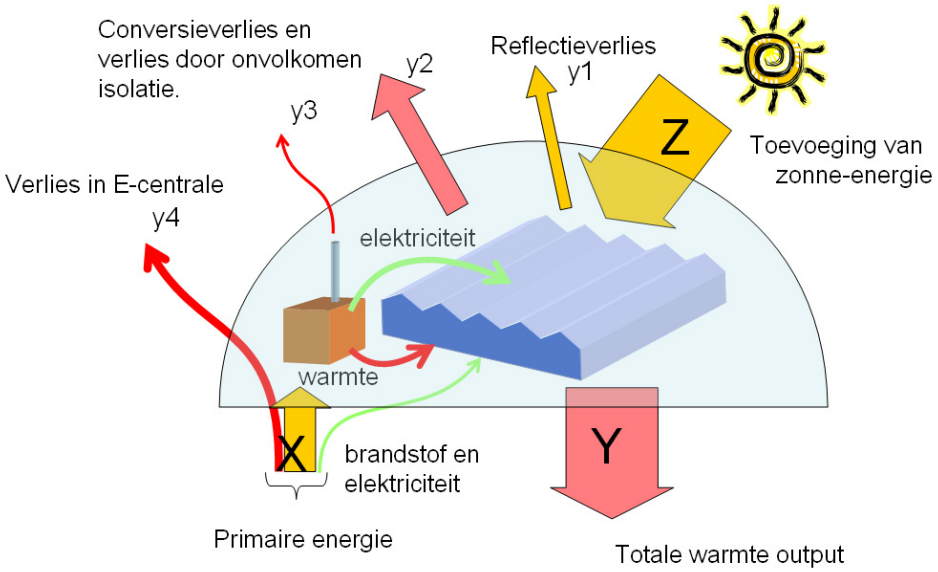
Wanneer er wordt verondersteld dat de productie van elektriciteit door WKK op het eigen bedrijf zou plaatsvinden, zoals oorspronkelijk beoogd (en op praktijkschaal ook haalbaar), wordt bovenstaande berekening echter genuanceerd.
Het elektriciteitsverbruik van de kas zou in dat geval dalen naar ongeveer 60 kWh/(m² jaar). Het gasverbruik zou op 16 m³/(m² jaar) uitkomen, maar het leverbare warmte-overschot zou naar 18 m³/(m² jaar) zijn toegenomen. Daarmee zou een kleine positieve netto energieproductie van 2 m³/(m² jaar) zijn gerealiseerd.
De gemeten gegevens bevestigen dus, dat ondanks de grote aanpassingen die er hebben plaatsgevonden vanaf het "Bouw en inrichtings"-plan tot heden, een kleine positieve energieproductie is gerealiseerd (zij het kleiner dan de verwachting 2 in plaats van 5.1 m³/(m² jaar)).

Daarnaast heeft het onderzoek, de ervaring en landelijke en zelfs internationale aandacht voor het project Energieproducerende Kas tot nu toe grote waarde voor de innovatie van de tuinbouwsector. Het project in Huissen heeft onder andere naast de daadwerkelijk tot nu toe gemeten energieverbruik en –productie, geleid tot verschillende resultaten:

- Vele groepen tuinders, beleidsmakers en andere geïnteresseerden zijn actief bezig met de problematiek en het perspectief van Energieproducerende kassen (o.a. in het Synergie Platform).
- Is er veel ervaring opgebouwd m.b.t. de gewasreactie van potplanten in goed geconditioneerde kassen (temperatuur én luchtvochtigheid), met een duidelijke groeiversnelling als perspectief.
- Nieuwe, voor tuinders en installateurs toegankelijke simulatiemodellen tot stand gekomen waarmee gedetailleerde berekeningen, speciaal voor kassen met luchtbehandelingsystemen kunnen worden gemaakt.
- Kwantitatieve informatie en gebruikerservaringen met het Zigzag-materiaal beschikbaar gekomen.

Nadere analyse van de diverse ingrepen met behulp van simulatie

Om de invloed van elk van de individuele ingrepen (hoofdstuk 1) ten opzichte van het oorspronkelijke ontwerp te kunnen bepalen is dankbaar gebruik gemaakt van verbeterde simulatiesoftware om het gedrag van Energieproducerende kassen te kunnen bepalen. Er is daarbij steeds gekeken naar de invloed van een dergelijke wijziging op de netto energieproductie. Hierbij wordt steeds teruggegrepen op het onderstaande plaatje, waarbij de netto energieproductie volgt uit de berekening van Y – X.



Figuur 2.1. Hoofdcomponenten in de energiebalans rond een energieproducerende kas.

De basis voor het positieve verschil tussen die primaire energie input (X) en de warmtelevering (Y) van een energie-producerende kas ligt, zoals in de figuur getoond, vooral in het feit dat er sprake is van een relatief grote gratis zonne-energie input (Z) die daardoor buiten de berekening kan worden gehouden.
Figuur 2.1 laat zien dat de minimalisatie van de verliesposten y1, y2, y3 en y4 de sleutel is tot maximalisatie van het verschil tussen X en Y. In het extreme geval waarbij alle verliesposten 0 zijn, is de energieproductie van de kas gelijk aan de instraling van de zon: n Nederland ongeveer 113 m^3 a.e. per m^2 per jaar.

Bij de analyse van de effecten van de verschillende wijzigingen op de uiteindelijke energieproductie is gebruik gemaakt van KASPRO als basis simulatiemodel. Op basis van KASPRO is inmiddels een vereenvoudigde versie ontwikkeld die kan worden ingezet voor de analyse van Gesloten en energieproducerende kassen. Met behulp van deze modellen zijn een aantal veranderingen geanalyseerd:

Effect van het toevoegen van een scheidingswisselaar

De scheidingswisselaar geeft een zeker temperatuurverlies waardoor er voor de opslag of onttrekking van warmte meer water moet worden verpompt en waardoor de warmteoverdracht van lucht op water in de zomer iets moeilijker zal gaan. De consequentie hiervan is dat het elektriciteitsverbruik per eenheid warmte die in de kas moet worden gebracht of per eenheid koeling groter is.
Berekeningen laten zien dat het gebruik van een warmtewisselaar die in de praktijk een temperatuurverlies van 1.5 °C oplevert en dat dit het jaarlijkse stroomverbruik van de kas met ongeveer 10 kWh per m^2 per jaar heeft vergroot. Als er wordt uitgegaan van gebruik van WKK dan betekent deze 10 kWh een stijging van het gasverbruik met 2.6 $m^3/(m^2$ jaar) en een vergroting van het schoorsteenverlies (y3 in Figuur 2.1) met ongeveer 8 MJ. Omdat er van deze 2.6 dus slechts 10% via de schoorsteen (y3) de 'kaasstolp' verlaat, geeft deze 2.6 m^3 toename van X dus een 2.34 m^3 toename van Y en slechts een vermindering van de netto energieproductie van 0.26 $m^3/(m^2$ jaar).

Conclusie
De scheidingswisselaar leidt in de huidige installatie van de Energieproducerende kas slechts een daling van de netto energieproductie van 0.26 $m^3/(m^2$ jaar). De toepassing van de scheidingswisselaar is gezien de eventuele risico's en ook de huidige wet en regelgeving dus een zeer goede keuze.

Effect van het toevoegen van een warmtepomp

Het concept zoals dat in het "Bouw en inrichtingsplan" is beschreven kende optimistische uitgangspunten voor wat betreft de prestatie van de warmtewisselaars en het kasdek. Achteraf gezien was met die installatie het nu gehanteerde kasklimaat niet te realiseren geweest. Het halen van een kasluchttemperatuur van 17 °C met water van 25 °C was al aan de grens van de mogelijkheden dus het handhaven van de kas op 20 °C zou niet zijn gelukt.
Zelfs los van dit feit is vanuit de doelstelling van een hoge netto energieproductie, de inzet van de warmtepomp alleen maar toe te juichen. Immers, het oorspronkelijke ontwerp in het "Bouw en inrichtingsplan" omvatte een koel-toren die maar liefst 955 MJ/(m^2 jaar) zou hebben vernietigd om te kunnen ontvochtigen en om over voldoende koelcapaciteit voor de zomer te kunnen beschikken. Het gebruik van de warmtepomp maakt het mogelijk om deze behoeften in te vullen zónder warmte te vernietigen en dat tegen een extra elektriciteitsverbruik van 41 kWh/(m^2 jaar).
Wanneer de elektriciteit met een eigen WKK wordt opgewekt, moet hiervoor 11 m^3 gas worden ingekocht, waarvan ruim 5 m^3 in de vorm van hoogwaardige warmte in de output van de Energieproducerende Kas terugkomt én er kan een vernietiging van 30 m^3 aardgas equivalenten (dat is 955 MJ) worden voorkomen.
Het toevoegen van de warmtepomp in plaats van de koeltoren leidt dus, afgaande op de getallen die in het "Bouw en inrichtingsplan" genoemd worden tot een toename van de netto energieproductie van 30+5-11 = 24 m^3.

Conclusie
Een warmtepomp is feitelijk een "conditio sine qua non" in de energieproducerende kas als een kasklimaat wordt gewenst zoals dat in de tropische potplantenteelt gebruikelijk is. Gebruik van een warmtepomp in plaats van een warmtevernietiging door een koeltoren geeft het perspectief op een verhoging van de netto energieproductie met 24 m^3 a.e. per m^2 per jaar.

Effect van het afzien van het gebruik van een koeltoren en de 'gemiddelde aquifers'

Het gebruik van de koeltoren en de gemiddelde buffers was gekoppeld aan het feit dat er in het oorspronkelijke concept geen warmtepomp gebruikt zou worden. Het schrappen van de koeltoren kan dus eigenlijk niet als los onderdeel worden gezien. Toch is het goed om op deze plaats nog even op te merken dat de koeltoren in het oorspronkelijke concept een enorme verliespost vanuit de 'kaasstolp' van Figuur 2.1 zou zijn geweest, namelijk 30 m^3 a.e. per m^2 per jaar. Ter vergelijking, de gemiddelde warmtevraag van de kasafdelingen bij Hydro Huisman liggen rond de 18 m^3 per m^2 per jaar en zijn dus ruim 1,5 keer kleiner dan wat er in het oorspronkelijke concept via de koeltoren vernietigd zou worden.

Effect van het afzien van de fysieke integratie van een microturbine

Een belangrijke reden van het afzien van de fysieke integratie van een microturbine (kleine WKK) was de ongunstige schaaleffecten bij een machine van de beoogde capaciteit en het feit dat het effect van een WK-unit op het perspectief gemakkelijk te berekenen is. In Figuur 2.1 is te zien dat elke kWh elektriciteit die niet vanuit het openbare net hoeft te worden ingekocht een verkleining van de verliespost y4 geeft (warmtevernietiging in de centrales van het openbare net) en een veel kleinere vergroting van de verliespost y3. Rekenvoorbeeld: de productie van 1 kWh elektriciteit met een rendement van 0.43 leidt in een centrale tot een verlies van 0.20 m^3 a.e. aan afvalwarmte (y4). Wanneer deze kWh "binnen de kaasstolp" wordt geproduceerd met een WKK is hiervoor 0.26 m^3 gas nodig en bij een schoorsteenverlies van 10% leidt dit tot een verlies van 0.026 m^3 aardgas equivalenten (y3) . De warmte en elektriciteit die eveneens uit deze m^3 worden gemaakt leiden niet tot een vergroting van de overige verliesposten y2 en y1 en leiden dus tot een vergroting van de warmte-output Y.

Conclusie
Elke kWh elektriciteit die door een lokale WKK wordt geproduceerd in plaats van uit het openbare net leidt tot een verbetering van de energieproductie met 0.174 m^3 aardgas equivalenten. Dit getal geldt bij het huidige rendement in het openbare net (43%) en onder de aanname van een goed rendement van de WK-unit (eveneens 43%).

Effect van de verandering van de FiWiHEx uitvoering

In Bijlage I is een uitgebreide verhandeling beschreven over de vergelijking van de thermische prestaties van de ronde FiWIHEx-en en de lineaire. De conclusie hieruit is dat de prestaties vrijwel gelijk zijn (bij koelen is lineair iets beter en bij verwarmen is rond iets beter, wat te maken heeft met de verschillende beschikbare oppervlakken tijdens koelen en verwarmen).
In het oorspronkelijke "Bouw en inrichtingsplan" werd voor de FiWiHEx ventilatoren een elektriciteitsverbruik van 25 kWh per m^2 per jaar aangenomen en de ervaringen in de Energieproducerende Kas wijzen op een verbruik van 18 kWh per m^2 per jaar.

Conclusie
Het thermisch gedrag van de FiWiHEx-warmtewisselaars heeft geen nadeel ondervonden van de vernieuwde uitvoeringsvorm en het elektriciteitsverbruik van de ventilatoren is met slechts 18 kWh per m^2 per jaar fors lager dan de verwachting. Die was namelijk 25 kWh per m^2 per jaar.
Vanuit tuinbouwkundig oogpunt is de gewijzigde uitvoeringsvorm overigens zeer positief omdat de lineaire warmte-wisselaars veel praktischer zijn qua inbouwmogelijkheid.

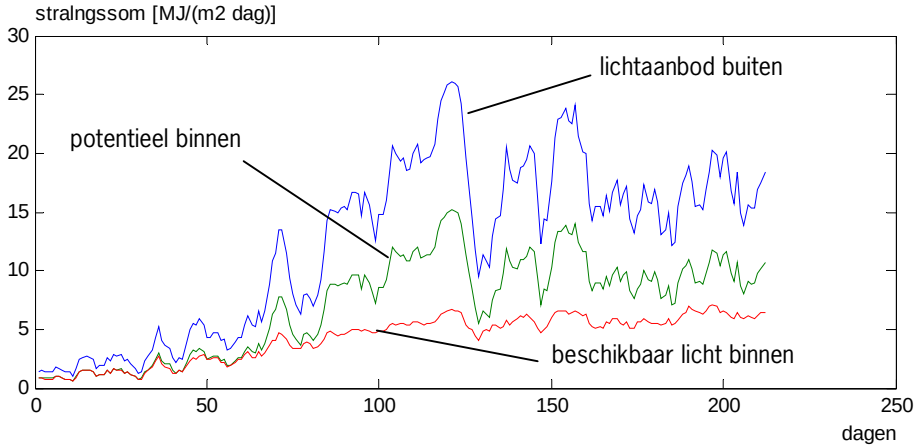
Effect van de verandering van de gebruikswijze van de kas

Ten aanzien van het gebruik van de kas zijn er twee zaken die grote consequenties hebben voor de netto energie-productie van de Energieproducerende kas:

- verandering van de stooktemperatuur van 17 naar 20 °C en
- gebruik van het schaduwscherm.

De verhoging van de teelttemperatuur heeft direct gevolg op de omvang van de verliespost y2 in Figuur 2.1 en het schermgebruik leidt tot een verhoogde reflectie, dus tot een vergroting van y1.
Berekeningen aan het effect van het verhogen van de stooktemperatuur van 17 naar 20 °C laten zien dat het warmteverlies van de kas hierdoor met 210 MJ/(^{2} jaar) toeneemt. Uit de berekeningen blijkt ook dat bij de huidige

uitvoering van de Energieproducerende Kas uitgevoerd de stooklijn zou worden verlaagd naar de oorspronkelijk aangenomen 17 °C, dat dan de netto energieproductie met bijna 7 m³/(m² jaar) aardgas equivalenten zou toenemen. Het effect van het schermgebruik is nog aanzienlijk groter. Onderstaande grafiek laat zien dat in de lichtrijke zomermaanden soms meer dan de helft van het licht, dat potentieel in warmte had kunnen worden omgezet, door het scherm wordt tegengehouden.



Figuur 4.2. *Lichtsom buiten de kas, het potentiële licht binnen de kas en binnen de kas en de feitelijke lichthoeveelheid onder het schaduwscherm in 2007.*
De buitendata zijn gemeten, de binnendata zijn berekend aan de hand van de bekende transmissiewaarden en schermstanden. De data zijn met een 5 daags lopend gemiddelde filter afgevlakt.

Het schermgebruik vindt vanuit teeltkundig oogpunt plaats, maar het zal duidelijk zijn dat hiermee ook veel licht, waarvan de energie verzameld had kunnen worden, uit de kas wordt gehouden. Het effect van het schermgebruik is berekend op een daling van de netto energieproductie van 420 MJ per m² per jaar, ofwel ruim 13 m³ aardgas equivalenten per jaar.
Het schermgebruik is daarmee de belangrijkste factor die verantwoordelijk is voor de zeer lage netto energieproductie.

Effect van het achterwege laten van actieve ontvochtiging

Doordat er niet langer actief ontvochtigd wordt zullen de ramen vooral 's nachts af en toe een beetje open gaan. Hiermee gaat op jaarbasis ongeveer 250 MJ per m² per jaar aan voelbare en latente warmte verloren, wat dus een drukkend effect heeft van bijna 8 m³ aardgas equivalenten op de netto energieproductie. Dit wordt echter voor lief genomen omdat in geval actief zou worden ontvochtigd het jaarlijkse elektriciteitsverbruik met ruim 25 kWh zou oplopen. Gegeven de waarde van de misgelopen laagwaardige warmte (€ 1,50) en de kosten van de benodigde elektriciteit (meer dan € 1,50) is dit vooralsnog een verstandige keuze.

Eindconclusie ten aanzien van energieproductie

Elk van de doorgevoerde veranderingen heeft in negatieve of positieve zin invloed op de behaalde energieprestatie van de EPK in Bergerden. De overall resultaten laten zien dat mits de installatie daadwerkelijk was uitgevoerd met een eigen WK er sprake zou zijn van een beperkte maar positieve energielevering. Het grote verschil tussen de potentiële energieproductie en de gemeten energieproductie is het gevolg van het aangepaste temperatuurniveau maar vooral door de verhoogde inzet van het schaduwscherm.
Ook de lagere lichttransmissie van het kasdek heeft de netto energieproductie verlaagd. Hierop gaat het volgende hoofdstuk nader in.

3 Het Zigzag-kasdekmateriaal

Vanuit het belang van een hoge lichttransmissie en een laag warmteverlies (dus de beperking van de verliesfactoren y1 en y2 in Figuur 2.1) is in het ontwerpstadium van de Energieproducerende kas gekozen voor de toepassing van het ZigZag® polycarbonaat kasdek van General Electric.
Op het moment dat de beslissing genomen moest worden waren er nog nauwelijks praktijkgegevens over dit nieuwe kasdek beschikbaar.
De belofte was dat de lichtdoorlatendheid vergelijkbaar zou zijn met die van enkel glas, terwijl het warmteverlies vergelijkbaar zou zijn met andere dubbelwandige polycarbonaat platen.
Er blijkt echter in de praktijk een verschil te bestaan tussen de lichtdoorlatendheid van kasdekmaterialen *sec*, de lichtdoorlatendheid van een kasdek als geïntegreerd geheel van een kasconstructie én de doorlatendheid van het kasdek tijdens het normale gebruik.
Dit hoofdstuk belicht eerst de materiaaleigenschappen zoals die volgens de specificaties zijn opgegeven en zoals deze bleken te zijn voor een willekeurige plaat uit de stapel reserveplaten die bij Hydro Huisman liggen opgeslagen. Vervolgens wordt ingegaan op de lichtdoorlatendheid van de kas met Zigzag-plaat. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van metingen in de kas bij Hydro Huisman, maar ook van metingen bij een min of meer vergelijkbare ZigZag-kas in Noord Holland (Bak). Ook is de Zigzag-kas vergeleken met andere breedkappers, waaronder die met enkel glas.
Het warmteverlies dat met het Zigzag-materiaal wordt gerealiseerd wordt in § 3.4 besproken.
Het blijkt dat de overall doorlatendheid van het kasdek beduidend lager uitkomt dan de 78% waarmee in eerdere studies (Zwart, 2005; Kempkes, 2007) is gerekend. Uiteraard heeft dit direct invloed op het energieproductie-potentieel van de kas. In § 3.5 wordt ingegaan op het gevolg van een andere lichtdoorlatendheid en een andere warmtedoorgangcoëfficiënt op dit potentieel.

3.1 De lichttransmissie van ZigZag-platen in vergelijking met enkel glas

Licht dat door transparante materialen heen dringt en bij de overgang van het ene naar het andere materiaal te maken krijgt met een verandering van brekingsindex zal in een zekere mate gereflecteerd worden. Licht dat niet wordt gereflecteerd kan door het materiaal worden geabsorbeerd en doorgelaten. De gangbare kasdekmaterialen zijn van dun materiaal zodat de absorptie klein is. Het grootste deel van het opvallende licht wordt dus doorgelaten. Net als glas heeft Zigzag-materiaal ook een duidelijke reflectie, maar de speciale vorm en de goed gekozen hoek zorgt ervoor dat een deel van die reflecties naar binnen gericht zijn zodat ze toch in de kas komen.
In het Lichtlaboratorium van Wageningen UR Glastuinbouw is meetapparatuur aanwezig waarmee de lichttransmissie van kasdekmaterialen kan worden gemeten. De voor ZigZag-plaat geschikte meetopstelling kan de loodrechte en de diffuse transmissie meten.

In mei 2007 is vanuit de voorraad met reserveplaten op de zolder van Hydro Huisman een stuk ZigZag-plaat meegenomen naar het laboratorium. Onderstaande tabel laat de resultaten van de meting aan de kale plaat zien, samen met vergelijkbare gegevens voor glas en de fabrieksspecificaties voor het ZigZag-materiaal.

Tabel 3.1. Lichtdoorlatendheid van enkel glas, gemeten en gespecificeerde lichttransmissie van het 2 laags GE Lexan Zigzag-kasdekmateriaal dat is toegepast in het kasdek van de Energieproducerende Kas in Huissen.

Materiaal	Diffuse transmissie	Loodrechte transmissie
Enkel glas	0.83	0.90
Ongereinigd ZigZag uit de voorraad van Huisman	0.752	0.894
Gereinigd ZigZag uit de voorraad van Huisman	0.772	0.905
ZigZag Volgens specificaties	0.79-0.80	0.89-0.90

Het ZigZag-materiaal scoort voor de loodrechte transmissie in alle opzichten goed. Zowel in vergelijking met glas, als bij de vergelijking van het materiaal uit de voorraad van Huisman met de oorspronkelijke fabrieksspecificaties is er niets op het materiaal aan te merken.
De doorlatendheid voor diffuus licht is voor de ZigZag-plaat lager dan voor glas. De fabrieksspecificaties geven dit al aan, maar de monsters uit de voorraad van Huisman laten een nog iets lagere lichtdoorlatendheid zien, zelfs na reiniging. Al met al is de transmissie van een praktische ZigZag-plaat 6 %-punten lager dan de diffuse transmissie van enkel glas.
In Nederlandse omstandigheden komt op jaar basis iets meer dan de helft van het zonlicht (50 tot 55%) in de vorm van diffuus licht. In licht-arme perioden (de winterperiode) is deze verhouding echter hoger (zo'n 60% diffuus). Voor de glastuinbouw is de diffuse doorlatendheid van een kasbedekkingsmatreriaal daarmee een belangrijker getal dan de loodrechte transmissie, temeer daar de loodrechte transmissie alleen geldt als het directe zonlicht ook echt (bijna) loodrecht op het kasdek valt.
In de oorspronkelijke jaarrond simulaties (De Zwart & Campen, 2005), is met de diffuse doorlatendheid volgens fabrieksspecificaties gerekend (0.80) zodat het verschil tussen praktische plaat eigenschappen en theoretische uitgangspunten indertijd een 3% overschatting van de lichttransmissie is gemaakt.

3.2 De lichttransmissie van de constructie

Eén van de mooie eigenschappen van de ZigZag-plaat is dat de plaat een grote inwendige stijfheid heeft en dat de platen zonder glasroeden in elkaar geklikt kunnen worden. De traditionele extra lichtonderscheppende delen die kenmerkend zijn voor breedkappers zijn daarom in de simulaties in het vooronderzoek achterwege gelaten. Er is toen met 10% lichtonderschepping door de constructie gerekend, aangevuld met 2 %punten voor de scherminstallatie. De overall diffuse transmissie op gewasniveau waarmee toen is gerekend kwam daarmee op (0.80*0.88) = 0.70.
Bij metingen in de kas zoals die nu bij Hydro Huisman staat blijkt deze doorlatendheid echter een stuk lager namelijk 58% (gemeten op 26 oktober 2006), 51% (gemeten op 24 april 2007) en 56% (gemeten op 25 mei 2007). De laagste waarde, 51%, is gemeten na een lange droge periode waarin, omdat er geen reiniging van het kasdek had plaatsgevonden, er zonder twijfel een aanzienlijke hoeveelheid stof op het kasdek lag. De meting in mei, nadat er in de voorafgaande week veel regen was gevallen, geeft dan ook weer een waarde aan die in de buurt ligt van de 58% die in oktober het jaar daarvoor bij betrekkelijk nieuw materiaal was gemeten.
Al deze waarden zijn echter aanzienlijk lager dan de 70% waarmee in alle voorstudies gerekend is.
Deze lage waarde zal deels met vervuiling van het dek te maken hebben, deels met de ruime aanwezigheid van condensdrupples[2] en deels met het aantal constructiedelen dat in het dek is verwerkt.
Dit aantal constructiedelen is groter dan indertijd verwacht omdat de platen niet op 8 meter lengte konden worden gemaakt (de lengte om in één keer van goot naar nok te komen). Zoals te zien de foto van Figuur 2.1 zijn er ten behoeve van de onderlinge koppeling van de platen op 1/3 en 2/3 van het kasdek vrij forse gordingen gemaakt.

[2] Condensatie geeft een verlaging van de lichttransmissie met een ordegrootte van 5%. In 2008 zal op dit punt door Wageningen UR Glastuinbouw een uitgebreid onderzoek worden uitgevoerd.

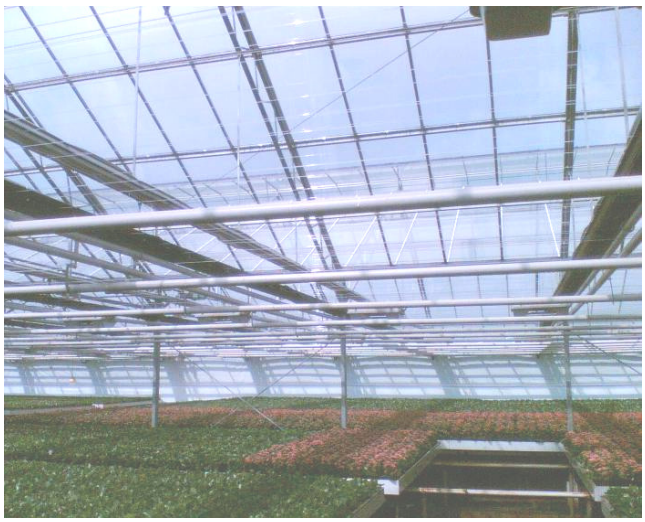


Figuur 3.1. Constructie van het Zigzag-kasdek waarbij forse gordingen noodzakelijk zijn voor de onderlinge koppeling van de ZigZag-platen.

Het overall effect van de zwaardere constructie en de wat lagere diffuse doorlatendheid van het plaatmateriaal in vergelijking met de fabrieksspecificaties is dat de lichtdoorlatendheid van de totale kasconstructie een factor 0.15 lager is dan in de berekeningen van april 2005 is aangenomen.

3.3 De lichttransmissie van de Energieproducerende kas in vergelijking met andere kassen

Gezien het belang van een hoge lichttransmissie voor de energieproductie dringt de vraag zich op hoe de geconstateerde lichttransmissie zich verhoudt tot de lichttransmissie van glazen kassen. Om hier een overzicht van te geven is dezelfde meetprocedure als die voor de EPK is toegepast gebruikt om de transmissie van een drietal andere kassen.
In de eerste plaats is gekeken naar de lichttransmissie van een glazen breedkapper van dhr Jansen te Huissen (JaBro plant B.V.). In figuur 3.2 staat een foto die een indruk geeft van diens kasconstructie.
Het betreft hier wel glas dat met een lage-emissie coating is behandeld (Hortiplus®) en het zijn smalle ruiten (83 cm). De diffuse lichttransmissie van deze kas op plantniveau bleek 42%.



Figuur 3.2. Kasconstructie bij Jabro Plant B.V.

In de tweede plaats is de lichttransmissie van de glazen breedkapper van de heer Corn Bak (Assendelft) in het kader van het project “Gewasgroei en energiegebruik in kassen onder een Lexan-Zigzag-kasdek in vergelijking met verschillende soorten kasdekken” gemeten (Kempkes & Van Os, 2006).
Onderstaande foto geeft een impressie van de constructie van die kas.



Figuur 3.3. De glazen breedkapper van Corn Bak te Assendelft.

In het bovengenoemde project is twee keer de lichtdoorlatendheid volgens de in Bijlage III beschreven methode uitgevoerd. Op 6 april 2005 werd een lichtdoorlatendheid van 60% van het glazen kasdek gemeten en op 10 maart 2006 werd 70% gemeten. Het grote verschil is toegeschreven aan mogelijke krijtresten die tijdens de eerste meting nog op het dek zaten. Het gebruik van krijt is in de potplantenteelt, en dus bij vrijwel alle breedkappers, wijdverbreid. Gecombineerd met het geringe belang dat in de potplantenteelt aan een hoge lichttransmissie wordt toegekend is dit de belangrijkste reden voor de moeizame verzameling van goede representatieve metingen voor glazen breedkappers die met de Energieproducerende Kas vergeleken kunnen worden.
Overigens heeft Corn Bak ook een Zigzag-afdeling met een constructie die vergelijkbaar is als die van de Energie-producerende Kas. Bij de Zigzag-kas van Corn Bak zijn lichttransmissies van 58 en 59% gemeten, dus vrijwel gelijk aan de eerste metingen aan de Energieproducerende Kas.

Conclusies
Uit de tot nu toe uitgevoerde metingen kan worden geconcludeerd dat de veronderstellingstelling dan het Zigzag-kasdek tot een vergelijkbare lichtdoorlatendheid komt als een glazen kas, niet ondersteund wordt door de resultaten.
Het plaatmateriaal laat diffuus licht minder goed door dan glas, maar vooral de forse constructie die nodig is doordat de platen korter zijn dan oorspronkelijk beoogd in de productie, geeft een belangrijke verlaging.

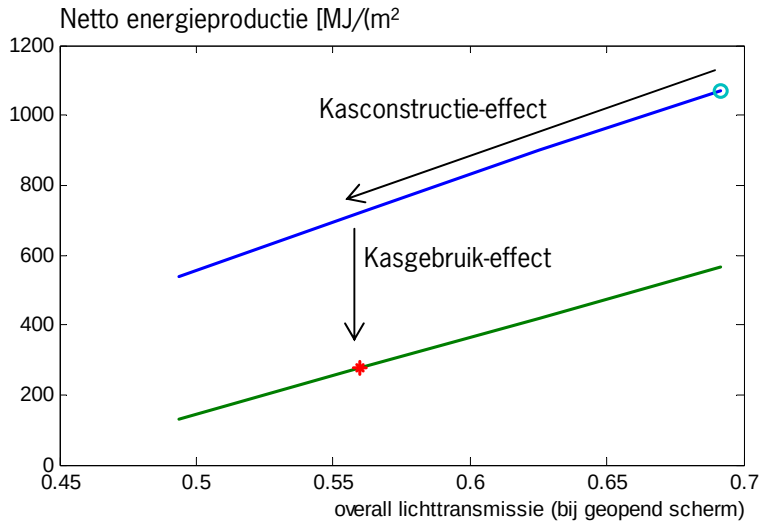
3.4 De warmte-doorgang van de kas met Zigzag-kasdek

Behalve de lichtdoorlatendheid beïnvloedt ook de isolatiegraad van het dek de potentiële energieproductie van de Kas Als Energiebron.
In de oorspronkelijke jaarrond-berekeningen uit 2005 is gerekend met een gemiddelde warmte-doorgang van 2.8 W/(m^2 K) voor het plaatmateriaal. Het totale warmteverlies van de kas is aanzienlijk groter. In de eerste plaats omdat een kas altijd een zekere hoeveelheid lek heeft, in de tweede plaats omdat het dek onder een hoek staat en in de derde plaats omdat condensatie van waterdamp tegen het koude dek het effectieve warmteverlies van de kas vergroot (het heat-pipe principe). Bovendien is het warmteverlies sterk wisselend met de windsnelheid en met de virtuele hemeltemperatuur.
In de meetopstelling in Huissen wordt de warmtestroom gemeten in de vorm van warm water naar de kas. Bovendien is bekend welk elektrisch vermogen de ventilatoren afgeven (ps. dit is een niet onaanzienlijke bijdrage, namelijk al gauw 10% van de hoeveelheid die via het water naar de kas wordt gevoerd). Uit deze totale energie-toevoer en het temperatuurverschil tussen de kas en de buitenlucht wordt een effectieve k-waarde van 3 W/(m^2 K) verkregen. Deze is bij de EPK gebaseerd op de combinatie van het kasdek en het gesloten energiescherm omdat tijdens verwarmen het energiescherm 's nachts altijd gesloten is.

Conclusie
De conclusie uit deze berekeningen is dat de Energieproducerende kas een k-waarde heeft rond de 3 W/(m^2 K) en dat indien het simulatiemodel KASPRO wordt gevoed met de oorspronkelijk aangenomen specificaties het berekende warmteverbruik goed overeenkomt met het gemeten warmteverbruik. Qua warmteverlieskarakteristiek voldoet de Energieproducerende kas dus goed aan de vooraf verwachte specificaties.

3.5 Effect van een hogere lichtdoorlatendheid en een andere warmtedoorgang

Zoals blijkt uit Figuur 2.1 in Hoofdstuk 2 zijn de verliescomponenten y1 (samenhangend met de lichttransmissie) en y2 (de warmtedoorgang) van grote invloed op de netto energieproductie. De in 3.2. gemeten 15% lagere licht-transmissie heeft dus een negatief effect op het uiteindelijke resultaat. Via simulatie is geanalyseerd wat het effect is van de terugval die deze lagere lichttransmissie heeft veroorzaakt.
Figuur 3.4 toont de toename van de netto energieproductie bij verhoging van de lichttransmissie en het effect van het gebruik van het schaduwscherm.
De huidige gemiddelde transmissie van 56% is als centraal punt genomen en alle overige parameters zijn gelijk gehouden.



Figuur 3.4. Effect van een verlaging en een verhoging van de overall lichttransmissie en het effect van het gebruik van een schaduwscherm op de netto energieproductie.

Uit de figuur blijkt dat het effect van de lichttransmissie lineair doorwerkt op de netto energieproductie (dus het verschil tussen X en Y in Figuur 1.1). Dit effect is aangeduid met het "Kasconstructie effect" en brengt de netto energieproductie van 1080 MJ/(m² jaar) naar 720 MJ/(m² jaar). Naast het statische effect van de verminderde lichttransmissie van de constructie die nou eenmaal is zoals die is, is er echter ook een effect van het gebruik van de kas in de vorm van de inzet van het schaduwscherm wat de netto energie productie met 420 MJ/(m² jaar) verlaagd (zie Hoofdstuk 2). Dit schermgebruik brengt de netto energieproductie dus terug naar 300 MJ/(m² jaar). Het intensieve schermgebruik (en de eigenschappen van het scherm) geven dus een nog grotere verlaging van de netto energieproductie dan de geringere lichtdoorlatendheid van het kasdek (inclusief constructie).

4 Gewasgroei en -ontwikkeling in de Energieproducerende kas

De inrichting van een kas met warmtewisselaars, het gebruik van een warmtepomp en de aanleg van aquifers vragen hoge investeringen die niet alleen door energiebesparing en levering van het warmte-overschot renderen. Bij de huidige energieprijzen moeten meer dan de helft van de investeringskosten in gesloten kassen worden goedgemaakt door verbetering van de productie. Deze verbetering kan zich uiten in een toename van de geproduceerde hoeveelheid per jaar maar ook in de kwaliteit.
Het gewaskundig onderzoek is gericht op het kwantitatief en kwalitatief vaststellen van de gewasreactie in de Energieproducerende kas ten opzichte van een referentie. Deze referentie bestaat uit een afdeling met een gelijk kasdek als in de Energieproducerende kas, maar zonder koelmogelijkheden. In 2006 had de referentie ook geen luchtbevochtigingssysteem, maar omdat de ervaring in deze eerste zomer liet zien dat de, voor potplanten relatief hoge lichtdoorlatendheid van het kasdek tot een té hoge warmtebelasting leidde is in het najaar van 2006 ook in de referentiekas een fogging-installatie geplaatst. Hierdoor zijn de enorm lage luchtvochtigheden die de referentiekas in 2006 onrealistisch zwaar benadeelden in 2007 niet meer voorgekomen.
Tot nu heeft de beproeving en analyse van twee tranches plaatsgevonden. Binnen een dergelijke tranche zijn steeds hieronder afgebeeld de 10 gewassen (maar 6 gewasgroepen) gedurende 12 tot 14 weken gevolgd.



Croton (twee cultivars)



Ficus (twee cultivars)



Schefflera



Potanthurium (twee cultivars)



Areca (palm)



Dracaena (twee cultivars)

Per cyclus worden de waarnemingen uitgevoerd bij aanvang, tijdens en aan het einde van de teelt. Er worden zowel destructieve als niet destructieve waarnemingen uitgevoerd. Ze betreffen vooral de groeisnelheid, uiterlijk van de

planten (lengte, vertakking, kleur), kwaliteit en eventuele afwijkingen in de groei. Waarnemingsplanten worden aan het begin van de proef aselect bepaald.
De eerste tranche was in de winterperiode van 2006 tot februari 2007. Zoals te verwachten (er is in de winter immers nauwelijks verschil tussen een gekoelde en een niet-gekoelde kas) presteerden beide afdelingen in die periode gelijk.
Verschillen ontstaan pas vanaf het voorjaar. Ten tijde van deze tussenrapportage is er één een dergelijke tranche uit een 'zomerse' meetperiode volledig afgesloten en geanalyseerd (maart t/m juni 2007). Er loopt op dit moment een tweede 'zomerse' tranche, die half oktober zal worden beëindigd.

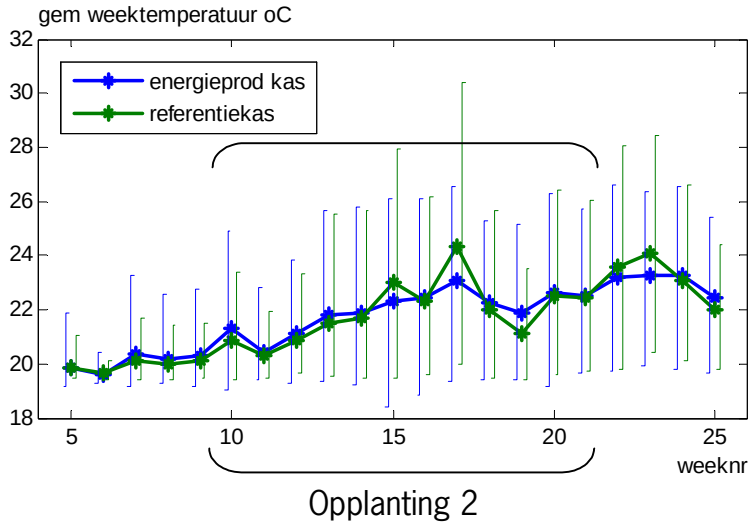
4.1 Resultaten

Opplanting 1; 20 oktober 2006 tot 1 februari 2007: (week 27 – week 4)

De gewasverschillen zijn klein geweest, maar de klimaatverschillen tussen de afdelingen waren ook klein omdat er in de winter nou eenmaal weinig verschillen kunnen zijn tussen de Energieproducerende kas en de referentie, omdat in deze tijd alle licht benut moet worden en er vrijwel niet geschermd wordt.

Opplanting 2; 1 maart tot 1 juni 2007: (week 9 – week 21)

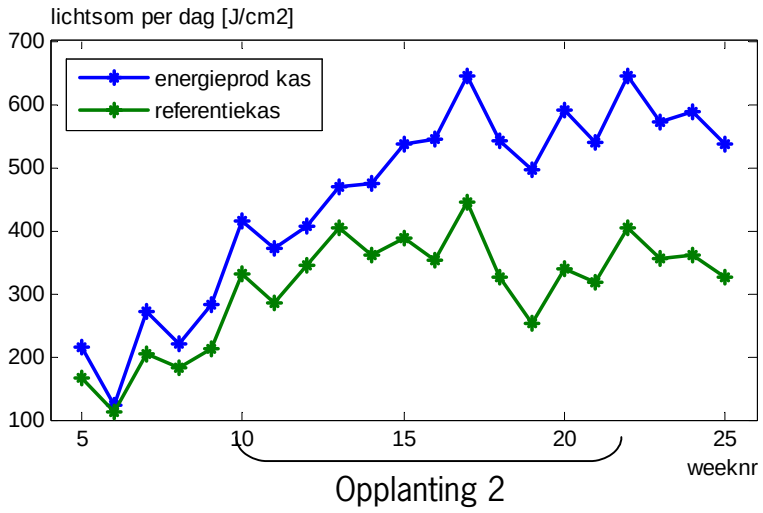
Deze periode kende maar liefst twee officiële hittegolven zodat er aanzienlijke temperatuur en lichtverschillen zijn geweest.
Onderstaande figuur geeft het weekgemiddelde temperatuurverloop in de energieproducerende kas en de referentiekas.



Figuur 4.1. Weekgemiddelde temperatuur en de spreiding rond deze temperatuur in de Energieproducerende kas (blauw) en in de referentiekas (groen) in het tijdvak 1 februari tot 1 juli 2007.

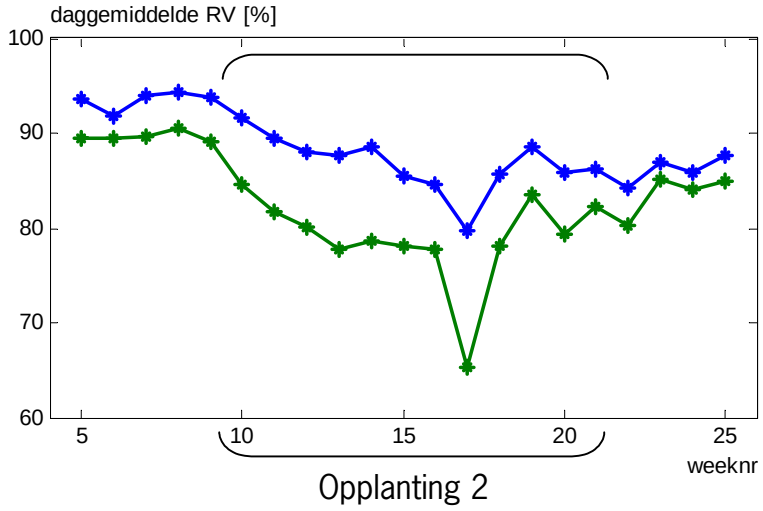
De twee hittegolven in week 15 en in week 17 zijn goed te zien aan de maximale temperatuur in de referentiekas. De Energieproducerende kas heeft nauwelijks last van de hoge buitentemperaturen. De koeling verloopt immers niet met buitenlucht, waardoor de temperatuur daarvan nauwelijks invloed heeft op de koellast. Het is vrijwel alleen de intensiteit van het zonlicht die de koellast bepaalt.

De mogelijkheid om de Energieproducerende kas te koelen én de wetenschap dat het voor een positieve energie-balans van belang is zo min mogelijk te schermen heeft de tuinder doen besluiten het stralingscriterium voor het openen van het scherm voor de Energieproducerende Kas flink hoger te zetten en ook de Energieproducerende kas niet te krijten. Dit heeft tot gevolg dat er in de EPK aanzienlijk meer licht binnenkomt dan in de referentiekas. Dit blijkt uit Figuur 4.2.



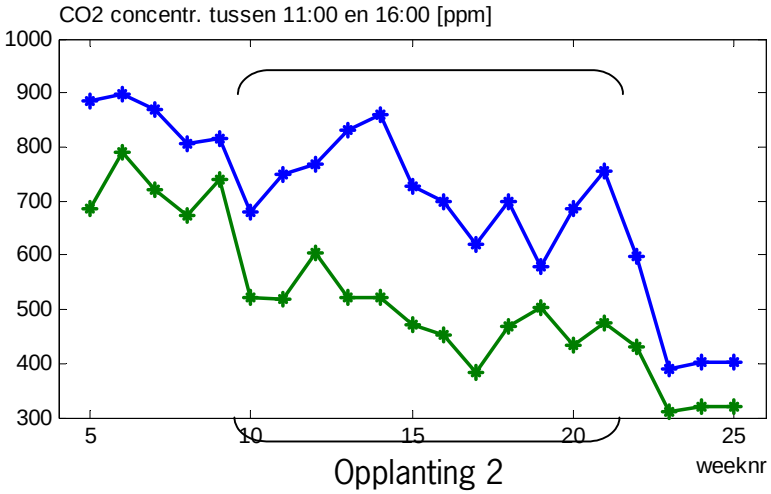
Figuur 4.2. Lichtsom per etmaal op gewasniveau in de Energieproducerende kas (blauw) en in de referentiekas (groen) in het tijdvak 1 februari tot 1 juli 2007.

Qua luchtvochtigheid (Figuur 4.3) kan worden geconstateerd dat deze in de Energieproducerende kas stelselmatig hoger is dan in de referentiekas. Vooral in week 17, de zeer warme periode, hebben de ramen in de referentiekas veel open gestaan, waardoor de luchtvochtigheid diep wegzakte. Dit heeft ook te maken met de beperkte fogging-capaciteit van de installatie in de referentieafdeling en de hogere kasluchttemperatuur op lichtrijke dagen.



Figuur 4.3. Etmaalgemiddelde luchtvochtigheid in de Energieproducerende kas (blauw) en in de referentiekas (groen) in het tijdvak 1 februari tot 1 juli 2007.

Tenslotte toont Figuur 4.4 het niveau van de CO_2-concentratie in de beide afdelingen. Er is steeds een gemiddelde bepaald voor het tijdvak tussen 11:00 en 16:00 (zomertijd). Dit is het tijdvak waarop de meeste zon schijnt en het mogelijke effect van een verhoogde CO_2-concentratie dus het grootst is.



Figuur 4.4. Gemiddelde CO_2 concentratie tussen 11:00 en 16:00 (zomertijd) per dag in de Energieproducerende kas (blauw) en in de referentiekas (groen) in het tijdvak 1 februari tot 1 juli 2007.

Aan het eind van deze monitoringperiode is de balans opgemaakt en kan worden geconcludeerd dat de gewas-verschillen bij zeven van de tien gewassen in het voordeel van de Energieproducerende Kas waren (zie Tabel 1). De gewassen in deze kas hebben meestal een wat lichtere bladkleur, maar er is geen schade geconstateerd. Bij Croton ontstaat er meer geel en/of rood in het blad en minder groen.

Tabel 4.1. Resultaten van de tweede opplanting in de Energieproducerende Kas in vergelijking met de referentiekas.

	lengte (cm)	verschil met ref. (%)	bladopp. (cm²)	verschil met ref. (%)	Versgewicht (gram)	verschil met ref. (%)
Areca	77	33	2487	34	89	56
Anthurium *Sierra*	36	0	519	39	28	46
Anthurium *Silence*	38	-25	1122	4	49	14
Croton *Red batik*	57	100	2581	59	97	95
Croton *Sunny star*	64	50	4649	149	140	168
Dracaena *Song of India*	48	27	1929	5	105	81
Dracaena *Surprise* *	33	0	990	-38	59	600
Ficus *Longifolia*	73	24	2050	-2	56	29
Ficus *Benjamina*	60	18	2347	40	36	35
Schefflera	57	31	2181	6	106	6

* *Dracena 'Surprise' is een erg trage groeier, relatief kleine groeiverschillen leveren grote percentage verschillen.*

Aan het einde van opplanting 2 is door een gewasbeoordelingscommissie (zie Bijlage II) een gewasbeoordeling uitgevoerd op plantvorm, lengte/breedteverhouding, bladkleur en totaalindruk. De resultaten zijn als volgt:

- Areca – EPK slechter op plantvorm en bladkleur
- Anthurium – EPK beter vooral op meer of groter blad
- Croton – EPK qua groei duidelijk beter, maar voor plantvorm en kleur hangt het af van de cultivar
- Dracaena – weinig verschillen
- Ficus – geen grote verschillen
- Schefflera – geen grote verschillen

4.2 Conclusies uit het gewaskundig onderzoek

- Hoge temperatuur (29°C) met een hoge RV (80%) geeft goede groei bij groene planten (zomer 2006, geen cijfers)
- Qua gewasgroei laten de waarnemingen in het voorjaar en de zomer bij een aantal gewassen een duidelijke teeltversnelling zien. Dit wordt toegeschreven aan de gunstige combinatie van veel licht door minder te schermen, 'lagere' temperatuur door de koeling, relatief hoge RV door luchtbevochtiging en hoog CO_2 door de dichte luchtramen.
- Qua gewasontwikkeling is de beoordeling van de gewascommissie gemiddeld genomen neutraal. De meeste gewassen laten geen betere kwaliteit zien. Areca uit de Energieproducerende kas werd slechter gekwalificeerd, en sommige Croton-cultivars uit de Energieproducerende kas werden als beter gekwalificeerd. De pot-Anthurium uit de Energieproducerende kas werd ook beter gekwalificeerd.

4.3 Aanbevelingen/ideeën bij voortzetting

- Geen onderzoek uitvoeren in de winterperiode, maar pas vanaf het moment dat er verschillen in schermgebruik ontstaan. Meestal beginnen deze verschillen vanaf week 8 belangrijk te worden.
- Soortselectie op hoeveelheid licht – meer licht kan voor- en nadelen hebben voor bladkleur, groei. De teeltverantwoordelijke van het bedrijf is hier vanaf de zomer van 2007 mee aan de slag gegaan.
- Verschil aanbrengen in opkweek en afkweek in verband met groeisnelheid en bladkleurverschillen (bijvoorbeeld snel opkweken en een lichte bladkleur voor lief nemen en deze later in andere teeltafdelingen weer recht te trekken door in donkerder omstandigheden af te kweken).
- Letten op hoeveelheid planten per m^2 in verband met de extra groei van bijvoorbeeld Croton 'sunny star'; Er zou eerder wijder gezet kunnen worden en/of minder planten per m^2 om de kwaliteit te verbeteren.
- Overwegen om de snellere groei in de EPK door te laten werken in de toepassing van een kortere teeltcyclus.
- Uitvoeren van houdbaarheidsonderzoek om te beoordelen of er verschillen in houdbaarheid ontstaan door het telen in de energieproducerende kas.

5 Ervaringen en leerpunten naar aanleiding 1½ jaar Energieproducerende kas

De Energieproducerende Kas in Huissen is een innovatieproject waarin veel nieuwe technieken door de betrokken installateurs en kasklimaatcomputer leveranciers voor de eerste keer zijn samengebracht. Het project is dan ook niet vrijgebleven van kinderziektes, maar ook de wijze waarop er vanuit tuinbouwtechnologisch en teeltkundig opzicht gebruik gemaakt kan worden van de installatie heeft zich gedurende de looptijd van het project ontwikkeld. In dit hoofdstuk zijn, min of meer chronologisch, ervaringen beschreven die kunnen helpen om problemen in de toekomst voor te zijn of adequater te verhelpen.

Verkeerd om aangesloten warmtewisselaar

Het aquiferwater is door middel van een warmtewisselaar gescheiden van het water dat door de FiWiHEx-en en de rest van het circuit stroomt. De specificaties van de warmtewisselaar geven aan dat er bij een schone installatie een temperatuurverlies van ongeveer 1 °C veracht mag worden.
Toen de installatie in bedrijf werd genomen en de eerste meetdata beschikbaar kwamen bleek er een veel groter temperatuurverlies op te treden (5 tot 6 °C).
Omdat er in deze beginfase nog op veel punten onduidelijkheden lagen, werd de oorzaak in allerlei zaken gezocht, zoals fout aangesloten sensoren, onregelmatige regeling en verkeerd aangestuurde kleppen. Uiteindelijk bleek de abusievelijk verwisseling van twee aansluitflenzen op de warmtewisselaar de oorzaak waardoor deze als meestroom-warmtewisselaar was aangesloten in plaats van als tegenstroom warmtewisselaar.
Nadat de aansluiting van de warmtewisselaar was gecorrigeerd (wat overigens nog heel wat voeten in de aarde had wegens de compacte bouw van de installatie) presteerde de warmtewisselaar volgens verwachting.

Opwarming van het water tijdens het koelen

De oorspronkelijke gedachte van de Kas Als Energiebron was dat het gebruik van de FiWlHEx warmtewisselaar het retour water uit de kas, de luchttemperatuur tot op 1 °C zou kunnen naderen. Hoewel een groot aantal metingen aan FiWiHEx-warmtewisselaars laten zien dat dit weliswaar kan, maar alleen bij hoge lucht debieten en bij een lage koellast is deze maximale opwarming van het koelwater een eigen leven gaan leiden zonder verder rekening te houden met de daarbij geldende randvoorwaarden. In de besturingssoftware voor de Energieproducerende kas was dan ook de regeling zodanig gemaakt dat geregeld werd naar een uitgaande watertemperatuur die 1 °C onder de luchttemperatuur lag.
Het gevolg van deze regeling was dat de ventilatoren tijdens het koelen bijna altijd volop stonden te draaien met het bijbehorende stroomverbruik van 60 kW. Desondanks dit bleef de watertemperatuur nog altijd ongeveer 3 °C van de kasluchttemperatuur liggen. Gezien het hoge elektriciteitsverbruik is toen intuïtief besloten dat de ventilatoren zachter moesten draaien en dat een veel geringere opwarming van het water moest worden geaccepteerd.
Inmiddels is de kennis over het gedrag van de kas en de FiWiHEx-en zodanig toegenomen dat er kwantitatieve optimalisering software is worden ontwikkeld die aangeeft dat dit inderdaad een verstandige beslissing is geweest. In 2007 was het temperatuurverschil tussen kaslucht en uitgaande FiWiHEx watertemperatuur gemiddeld 6.5 °C. Ook het ontwerppakket Synergie-Kompas, een tool waarmee tuinders kunnen rekenen aan alle varianten m.b.t. (semi) gesloten kassen, gaat nu expliciet in op het effect van de ventilatorregeling op het elektriciteitsverbruik dat met de koeling samenhangt.

Schoon werken

Al in het “Uitvoeringsplan Energieproducerende Kas “ (LekHabo) is melding gemaakt van de noodzaak om schoon te werken. In dit Uitvoeringsplan lag de nadruk op het voorkomen van verstoppingen in de dunne buisjes van de FiWiHEx warmtewisselaars.

In de praktijk lopen er echter bij een intensief bouwproject vele onderaannemers en werklieden voor kleine klussen rond zodat de schone werkstijl van de hoofd-aannemer gemakkelijk kan worden ondergraven door minder allerte werkwijzen van anderen. Zo kon het gebeuren dat er ondanks het gebruik van afdekkappen en andere voorzorgmaatregelen op enig moment een brok beton in het aquifercircuit terecht is gekomen dat uiteindelijk in de voetklep van de koude bron is beland.
De consequentie van dit brok beton was echter geen verstopping, maar juist een klep die niet langer goed sloot. Hierdoor werd de druk in aquifercircuit op maaiveld niveau tijdens rust (dus als er niet gekoeld en niet verwarmd wordt) 0. Het regelsysteem was evenwel ingericht op het in stand houden van een minimale druk van 1 bar zodat de aquiferpomp dag en nacht water vanuit de ene naar de andere put pompte. Het heeft een paar dagen geduurd eer deze onverwachte complicatie en bijwerkingen werden ontdekt en het probleem werd gelokaliseerd. Vervolgens leek het probleem door het impuls-gewijs heen en weer pompen van water te zijn verholpen, maar na een aantal dagen bleek het probleem te zijn teruggekeerd.





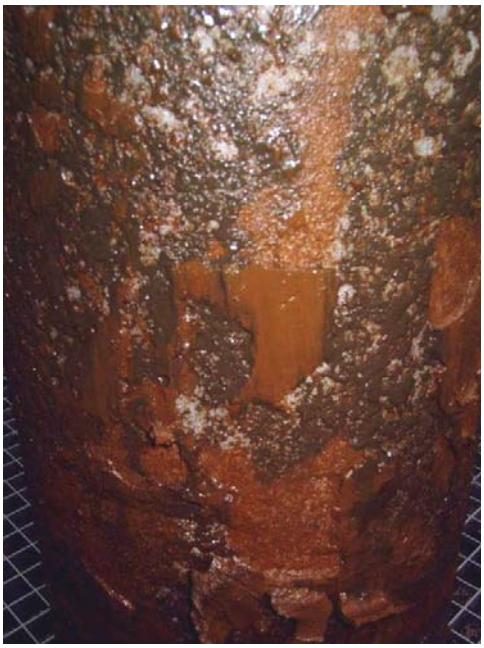


Uiteindelijk, 3 weken na de analyse van het probleem en 4 weken na het ontstaan van het probleem, is de put waarvan het probleem verwacht werd gelicht en bleek het in de foto getoonde brok beton de oorzaak van het probleem. Een vervelende consequentie van het feit dat de bronpomp bleef lopen, ook als er geen warmte uit de kas werd geoogst, is dat de temperatuur-opbouw in de warme bron voor een groot deel weer teniet is gedaan door de onbedoelde bijmenging met koud water gedurende de nacht.
Het water dat hierdoor in de eerste koude periode van de Energieproducerende kas (de periode oktober 2006 t/m maart 2007) vanuit de warme bron kon worden opgepompt was niet veel warmer dan 14 °C.

Vervuiling van filters

Na een periode goed te hebben gewerkt begon de verwarmingscapaciteit van de verwarmingsinstallatie in oktober 2006 plotseling sterk terug te lopen. Toen er simultaan een paar koude nachten optraden zakte de kaslucht zelfs tot onder de 15 °C, waarop de kasklimaatcomputer allerlei alarmen ging afgeven.
Na een uitgebreide inspectie van alle relevante punten bleek er een veel te kleine flow door het FiWiHEx circuit te stromen, wat een gevolg was van verstopte filters.
Bij het reinigen van de filters bleek de verstopping niet het gevolg van zand of ander grof materiaal maar een vettige substantie die, gecollageerd met zeer fijne ijzerhydroxidedeeltjes de fijne filters die in het circuit zijn opgenomen vrijwel volledig afsloten.





Het vet is hoogstwaarschijnlijk soldeervet dat indertijd tijdens de assemblage van de FiWIHEx-en in Polen gebruikt is. Deze verdenking komt voort uit de constatering dat wanneer nieuwe warmtewisselaars de eerste keer met water doorstroomd werden de eerste liters water melkachtig wit waren. Pas na een liter of 20 kwam er dan helder water uit de warmtewisselaars.
Nadat de filters gereinigd waren en het systeem was gevuld en ontlucht werkte alles weer naar behoren en naar wens. Sinds bovenbeschreven ervaring wordt het filter regelmatig gecontroleerd, maar is de extreme verstopping zoals in oktober 2006 niet meer geconstateerd. Ook is er niet langer sprake van een vettige substantie.

Twee kasklimaatbesturingssystemen

Nadat in de beginperiode het regelsysteem voor de Energieproducerende kas geheel autonoom draaide is vanaf oktober 2006 een koppeling aangebracht tussen de Hoogendoorn kasklimaatcomputer en de computer voor de Energieproducerende kas (het TCS systeem). Dit werkte niet direct vlekkeloos. Ook hier heeft het een hele tijd geduurd eer alle mogelijke oorzaken waren afgevinkt en het uiteindelijk probleem werd gevonden. Het probleem bleek te liggen in het feit dat de Hoogendoorn computer twee signalen stuurde, namelijk een gevraagd vermogen en een setpoint temperatuur. De TCS gebruikte het temperatuursignaal in plaats van het vermogenssignaal waardoor beide systemen niet goed op elkaar reageerden. Het probleem is uiteindelijk opgelost door de temperatuurregeling uit de TCS te halen en deze geheel op het Hoogendoorn vermogenssignaal te laten werken.

Hydraulische kortsluiting

In november van 2006 was het gemeten warmte- en elektriciteitsverbruik van de Energieproducerende kas zeer hoog. Op koude dagen leek er zelfs sprake van onvoldoende verwarmingscapaciteit. Omdat het onwaarschijnlijk was dat het kasdek zo'n groot warmteverlies had ging de verdenking in de richting van lek. Immers in die tijd was de CO_2-concentratie ook niet veel hoger dan de buitenconcentratie.
Half december is er daarom zorgvuldige in-situ observaties gedaan waarbij de CO_2-dosering als tracer-gas werd gebruikt. Dit leidde tot de conclusie dat er met de lek van de kas niets aan de hand was.
Uiteindelijk werd in januari door nauwgezet analysewerk van LekHabo ontdekt dat het hoge warmteverbruik voor een groot deel schijn was en werd veroorzaakt door hydraulische interactie tussen koud- en een warmwaterstroom. Deze mogelijke interactie valt in het principeschema op papier niet op, maar in de praktijk wel omdat de twee circuits fysiek maar 20 cm uit elkaar lagen zonder dat er een klep tussen zat. Op papier lijkt deze klep niet nodig omdat er geen netto water van het ene naar het andere circuit kan stromen, maar in de praktijk was er blijkbaar wel een grote warmte-overdracht (door turbulente wervelingen). Door deze warmte-overdracht ging een groot deel van de door de warmtepomp geproduceerde warmte direct weer naar zijn eigen verdamper. De grote warmteproductie ging dus lang niet volledig naar de kas, maar werd voor een belangrijk deel in het warmtepomp circuit rond gepompt. Dit verklaarde het schijnbaar hoge verbruik, gecombineerd met het reële hoge elektriciteitsverbruik.
Het probleem is opgelost door een extra klep te monteren, waarna het warmteverbruik van de kas zich volgens verwachting ging gedragen en de warmtepomp aanzienlijk minder elektriciteit ging gebruiken.

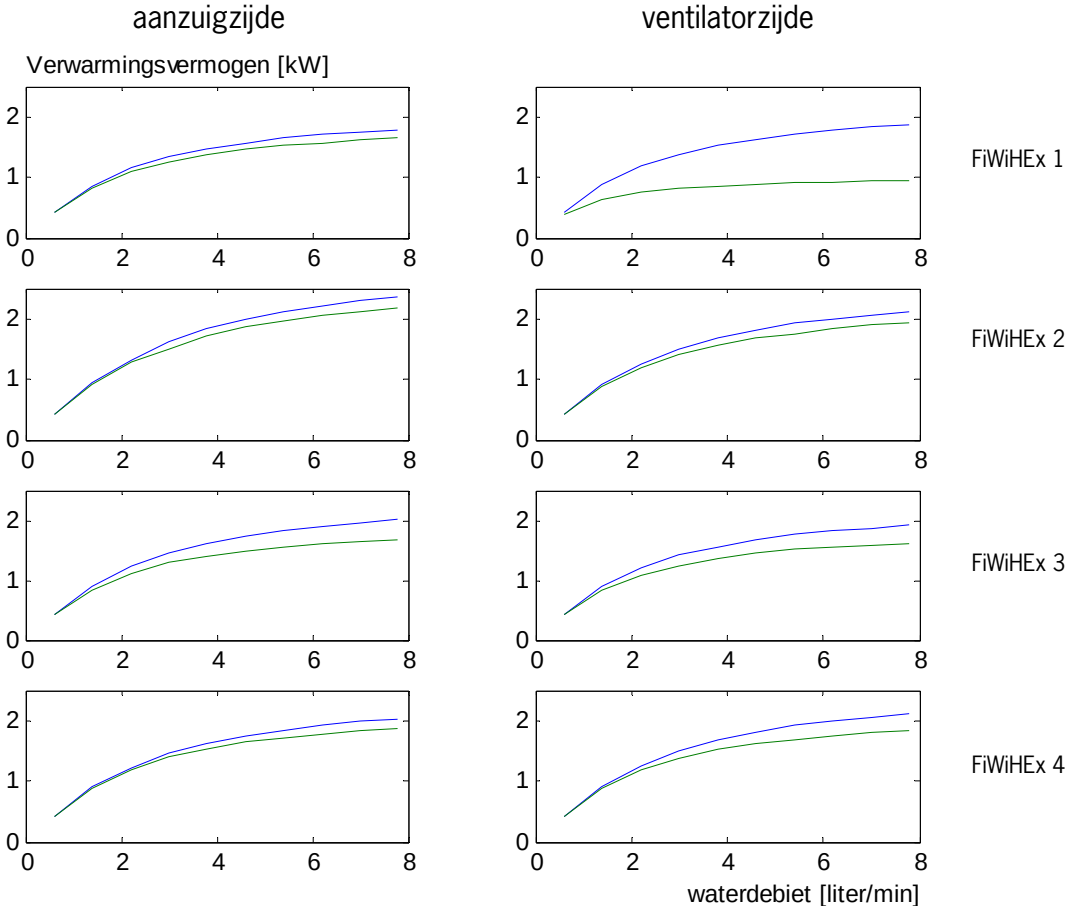
Verstopping en verkeerd aangesloten blokken

Nadat in januari 2007 alle grote problemen waren verholpen kwam er ruimte voor aandacht aan details. Zo zijn er in april en juni 2007 herhalingsmetingen uitgevoerd met betrekking tot de eventuele terugloop in de warmteoverdracht capaciteit van de warmtewisselaars (zie ook volgende kopje).
Hieruit kwam naar voren dat de warmtewisselaars gemiddeld 10% zijn teruggelopen ten opzichte van hun overdrachtskarakteristiek een jaar tevoren, maar dat er één blok was die grotendeels verstopt bleek.
Naar aanleiding van dit voorval is een eenvoudige meetmethode ontwikkeld die het mogelijk maakt om snel en gemakkelijk verdachte warmtewisselaars te kunnen identificeren. Deze methode maakt gebruik van een hand-held infrarood-thermometer waarmee de 'ventilatorblad-en-rooster-temperatuur' kan worden gemeten. Door met deze temperatuurmeter de temperatuur van de ijzeren onderdelen over de breedte van de uitblaasopening te meten kan de gemiddelde temperatuur en de gradiënt over de uitgeblazen luchttemperatuur worden bepaald. Wanneer de ingaande water- en luchttemperatuur en het luchtdebiet zoveel mogelijk constant worden gehouden duidt een gemiddeld klein verschil tussen ingaande en uitgaande luchttemperatuur op een slecht doorlatend blok. Ook de gradiënt over de breedte van de uitblaasopening geeft interessante informatie. Is deze gradiënt groot (meer dan 1 graad verschil tussen warmste en koudste punt) dan duidt dit op een gedeeltelijk verstopte warmtewisselaar.
Het bleek dat ongeveer 5% van de warmtewisselaarblokken een (deels) verminderde doorlaat heeft. Het gericht doorspuiten van deze blokken met water met hogere druk en in omgekeerde richting zal de performance van deze blokken in veel gevallen kunnen verbeteren, maar het mag duidelijk zijn dat dit de performance van de totale installatie nauwelijks beïnvloed.
Bij het uitvoeren van de bovenbeschreven metingen bleek overigens dat ongeveer 3 procent van de FiWiHEx-blokken (er zitten twee van deze blokken per warmtewisselaar) niet goed was aangesloten (dus niet in tegenstroom maar in meestroom-richting).

Terugloop warmteoverdracht FiWiHEx

Alle warmtewisselaars hebben last van vervuiling maar de ernst hiervan en de invloed op de warmteoverdracht hangt helemaal af van de snelheid waarmee dit gebeurt.
De FiWiHEx warmtewisselaars kunnen aan de binnenkant (in de buisjes) vervuilen, wat gemeten zou kunnen worden aan de hand van de hydraulische weerstand, en aan het luchtzijdige oppervlak. Vervuiling aan de luchtzijdige kan het beste bestudeerd worden door te kijken of de warmteoverdracht karakteristiek in de tijd verloopt.
Om deze overdracht karakteristiek in de tijd te kunnen volgen zijn 4 warmtewisselaars (met elk 2 blokken) geselecteerd welke met een mobile meetopstelling zijn doorgemeten. Er wordt gebruik gemaakt van de gemeten warmteoverdracht bij verwarmen. Bij deze meting wordt water over het FiWIHEx-blok gecirculeerd waarbij er een constant

elektrisch verwarmingsvermogen aan dat water wordt toegevoerd. De ventilator zuigt gedurende de meting een bepaalde constante luchthoeveelheid door het blok. Na verloop van tijd (ongeveer een kwartier) ontstaat er een evenwichtssituatie waarin de gemiddelde watertemperatuur een paar graden boven de ingaande luchttemperatuur stabiliseert. Hoe beter de warmteoverdracht in de warmtewisselaar, hoe dichter deze evenwichtstemperaratuur bij de ingaande luchttemperatuur komt te liggen.
Per FiWiHEx blok zijn op deze manier in augustus en september 2006 een aantal meetpunten verzameld en in de zomer van 2007 is dit opnieuw gedaan.
Aan de hand van de 16 setjes meetpunten (4x2 in 2006 en 4x2 in 2007) zijn 16 karakteristieken bepaald voor de warmteafgifte van de FiWiHEx warmtewisselaar blokken als functie van het waterdebiet, het luchtdebiet en de aanvoerwatertemperatuur.
In onderstaande figuur worden de resultaten van deze karakteristieken getoond waarbij omwille van de overzichtelijkheid alleen het waterdebiet is gevarieerd.



Figuur 5.1. Verband tussen waterdebiet en afgegeven vermogen bij een ingaande luchttemperatuur van 20 °C, een warmwatertemperatuur van 30 °C en een luchtdebiet van 1800 m³/uur (0.5 liter per seconde) voor de 8 doorgemeten blokken in 2006 (blauw) en 2007 (groen).

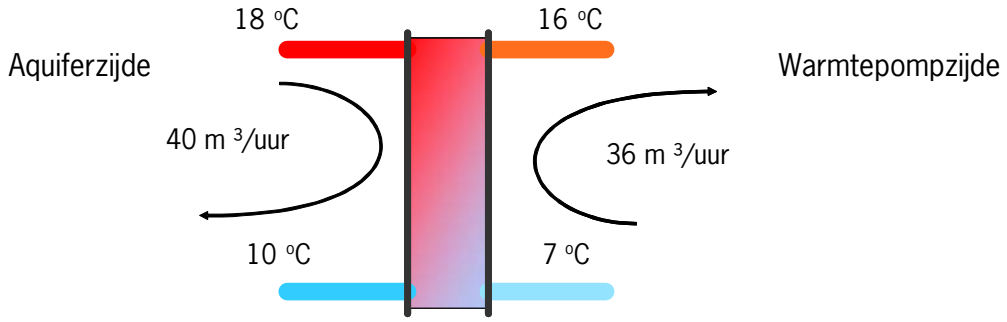
De grafieken laten zien dat één blok zeer sterk is teruggelopen (het blok dat het dichtst bij de ventilator zit van FiWiHEx 1). Van alle andere blokken is de warmteoverdracht gemiddeld genomen ongeveer 10% teruggelopen, maar het is goed zichtbaar dat zo'n terugloop pas goed te merken is bij wat hogere vermogens.

Behalve de thermische overdracht kan de meetopstelling ook worden gebruikt om het waterzijdig drukverlies over de blokken te meten. Het blijkt dat, met uitzondering van dat ene blok dat al genoemd is, het drukverlies niet is opgelopen en in sommige situaties zelfs gedaald is.

Hieruit is geconcludeerd dat de teruglopende warmteoverdacht te geweten moet worden aan uitwendige vervuiling door stof etc.
In de projectgroepvergadering is afgesproken dat deze hypothese getoetst zal worden door één van de blokken met perslucht of een hoge druk reiniger schoon te spuiten en de warmte-overdracht voor en na te vergelijken.

Terugloop warmteoverdracht scheidingswisselaar

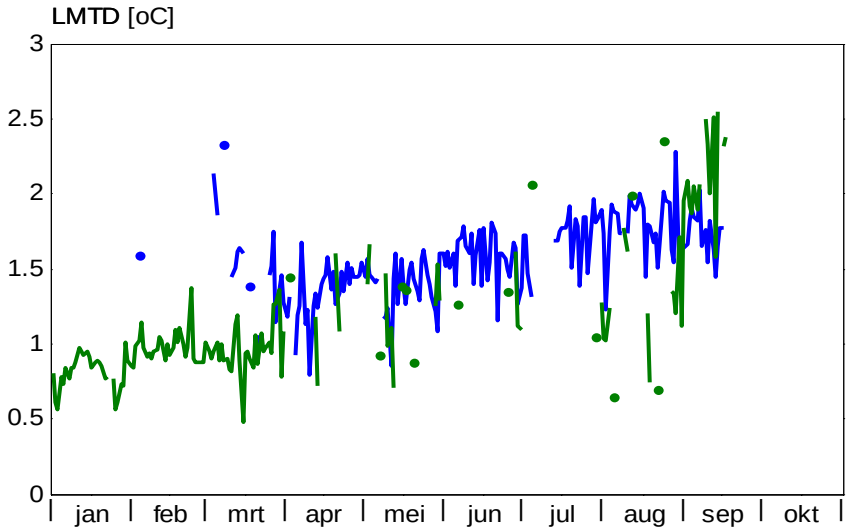
De scheidingswisselaar is voorzien van temperatuur sensoren op alle vier de aansluitleidingen zodat het temperatuurverlies over dit apparaat continu gemeten kan worden. Het temperatuurverlies wordt uitgedrukt als Logarithmic Mean Temperature Difference (LMTD). De betekenis wordt getoond in de onderstaande tekening.



In dit voorbeeld volgt de LMTD uit

$$LMTD = ((18-16) - (10-7)) / \log((18-16) /(10-7)) = 2.47\ K$$

Wanneer de ontwikkeling van de LNMTD in de tijd wordt geplot ontstaat de volgende grafiek voor 2007 tot nu toe.

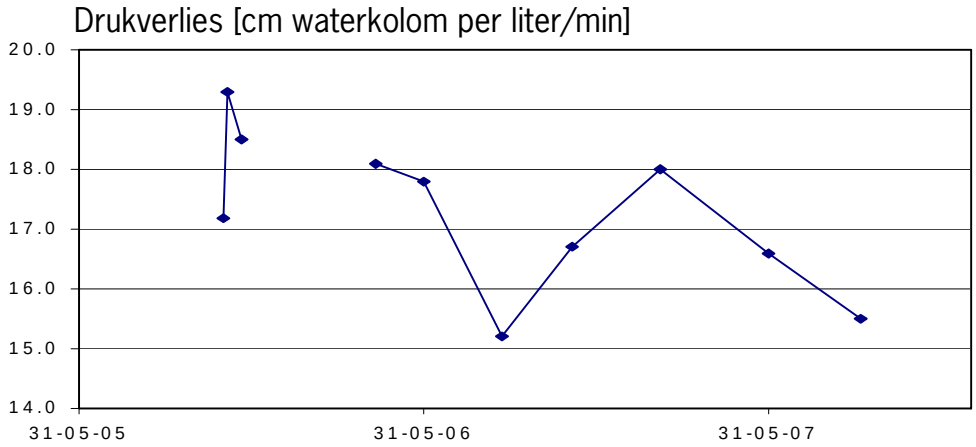


Figuur 5.2. Ontwikkeling van het logaritmisch gemiddeld temperatuurverlies over de scheidingswisselaar van de Energieproducerende kas in 2007. De groene lijn is de LMTD tijdens ontladen, de blauwe lijn geldt voor de laad-periode.

De grafiek toont een duidelijke opgaande trend zodat overwogen zou moeten worden om de scheidingswisselaar een keer uit elkaar te halen om hem schoon te maken.

Ervaringen met de duurproef aan de FiWiHEx warmtewisselaar die op direct aquiferwater is aangesloten

In de kelder van het Technotron gebouw van WUR Agrotechnology & Food Innovations staat een FiWiHEx warmtewisselaar uit de allereerste serie (zomer 2005) die nu al bijna 2 jaar in een aan/uit schema wordt doorstroomd met water dat direct uit een aquifer wordt gepompt.
Van tijd tot tijd wordt hier het drukverschil bij het toegepaste waterdebiet (3 liter per minuut) opgenomen. Tot nu toe blijkt dat het drukverlies niet oploopt, maar eerder langzaam afneemt.



Figuur 5.3. Ontwikkeling van het drukverlies over een FiWiHEx die met direct aquiferwater wordt doorstroomd.

De directe doorstroming van een FiWiHEx met aquiferwater leidt dus niet tot verstopping, althans niet met de waterkwaliteit die onderaan het Veluwemassief wordt aangetroffen.
Dit is gunstig omdat dit zou kunnen betekenen dat systemen zonder scheidingswisselaar in principe voor wat betreft de FiWiHEx ook mogelijk zouden zijn. Er is echter nog geen informatie over de eventuele inwendige aantasting van het materiaal als gevolg van de doorstroming.

IJkfactoren van de stralingsmeter

Bij vergelijking van de metingen van de stralingsmeter die door de Hoogendoorn computer wordt gebruikt met stralingsgegevens van het meteostation van Wageningen UR (een speciaal AgroMeteo-Station) blijken de metingen van Hydro Huisman een stelselmatig 20% hogere waarde aan te geven.
Dit probleem is opgelost door op alle punten waar van deze stralingsgegevens gebruik wordt gemaakt een correctie uit te voeren.

Drup vanaf de Zigzag-platen

Doordat de kaslucht warm en vochtig is en het dekmateriaal kouder zal er vocht tegen het dek condenseren. Bij een vlakke plaat zal dit condenswater voor het overgrote deel langs de plaat naar benede stromen waar het in de condensgoot wordt opgevangen. Door de vorm van het Zigzag-kasdek stroomt het condenswater echter niet als een soort film naar beneden, maar verzamelt het water zich bij de neerwaarts gerichte nokken van het zigzag-materiaal. Door de grote ophoping die daar dan plaats vindt drupt het condenswater naar beneden in plaats van dat het afstroomt naar de condensgoot. De kasafdeling met een Zigzag kasdek heeft dan ook veel meer last van hinderlijke condensdruppels dan de andere kasafdelingen.

6 Beantwoording hoofdonderzoeksvragen

In de projectbeschrijving van het WUR onderzoeksproject beschreven in "Projectvoorstel Kas Als Energiebron" worden een aantal vragen benoemd die in een meetperiode van bijna 2 jaar antwoord moeten krijgen. Vrij vertaald zijn deze vragen:

1. Realiseert de energieproducerende kas inderdaad een warmte-overschot?
2. Is het primair energieverbruik van de kas kleiner dan 11 m³ a.e.?
3. Is er een productieverhoging?
4. Is het klimaat goed regelbaar?
5. Is de energieproducerende kas financieel haalbaar?

In dit hoofdstuk worden al deze hoofdvragen langsgelopen.

Ad 1.

In hoofdstuk 2 van dit rapport wordt ingegaan op de resultaten die aan de metingen in de Energieproducerende kas over 2007 ontleend zijn. Hier wordt geconcludeerd dat over 2007 verwacht mag worden dat de kas met een positieve energiebalans van 2 m³ a.e. per m² jaar nét energieproducerend zal zijn. Dit getal is duidelijk lager dan de 5.1 m³ a.e. per jaar die als positieve energiebalans uit de berekeningen in het rapport "Bouw en inrichting Energie-producerende Kas" van LekHabo volgt, maar er zijn dan ook vele punten in de actuele situatie anders dan oorspronkelijk gedacht. Veranderingen die positief uitwerken, maar ook veranderingen die negatief uitwerken.
Een aantal veranderingen (de scheidingswisselaar, het gebruik van de warmtepomp, de gewijzigde uitvoering van de FiWiHEx) blijken slechts een kleine invloed op de netto energieproductie te hebben.
Het afzien van het gebruik van de koeltoeren, met een potentiële groei van het netto overschot tot 30 m³ a.e. per m² per jaar (mogelijk gemaakt door de introductie van de warmtepomp) gaf het potentieel een enorme opwaartse beweging. De aanzienlijk lagere doorlatendheid van het kasdek (een verslechtering van de netto productie van 11 m³), de hogere stooktemperatuur (goed voor een vermindering van 7 m³) en het intensieve gebruik van schaduw-schermen (een vermindering van het potentieel van 13 m³) deden dit potentieel weer teniet.
De energiebalans is in de huidige situatie, net als in het "Bouw en inrichtingsplan" alleen positief als er van het gebruik van WKK wordt uitgegaan. Het effect van het gebruik van WKK wordt in hoofdstuk 2 nader uitgelegd aan de hand van de bespreking van het feit dat er, anders dan in het "Bouw en inrichtingsplan" geen Micro Gasturbine wordt gebruikt.

Ad 2.

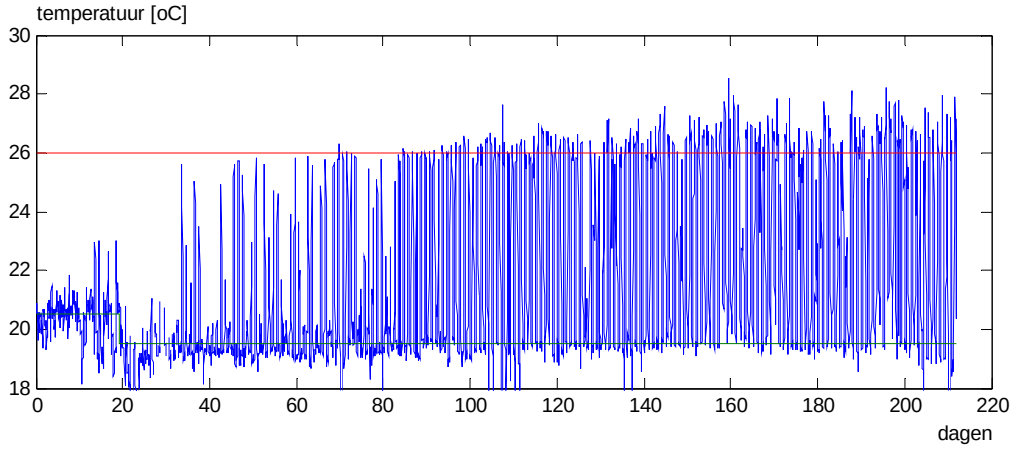
Het hoogwaardige energieverbruik van de energieproducerende kas ligt op 72 kWh/m² per jaar.
1 kWh is 3.6 MJ en de verbrandingswaarde van aardgas 31.65 MJ/m³ zodat er zou kunnen worden gesteld dat er 8.1 m³ aardgas equivalenten aan hoogwaardige energie worden toegevoerd.
In dat geval gaat men echter voorbij aan het feit dat elektriciteit in Nederland met een gemiddeld opwekkings-rendement van 43% wordt opgewekt, zodat er voor de noodzakelijke 72 kWh in de centrale feitelijk 19 m³ aardgas is verbruikt.
De kas voldoet daarmee dus niet aan de doelstelling dat er minder dan 11 m³ a.e. aan primaire energie benodigd is. De oorzaak hiervan is de warmtepomp, die ongeveer de helft van het verbruik opsoupeert, maar onontbeerlijk is voor het realiseren van het gewenste klimaat.
Dit absolute verbruik aan primaire energie kan alleen omlaag als de kas beter geïsoleerd wordt en/of als er lagere teelttemperaturen zouden worden gebruikt.

Ad 3.

Hoofdstuk 4 laat zien dat er in de zomermaanden een duidelijke teeltversnelling zou kunnen worden gerealiseerd. Op dit moment is er echter de stellige overtuiging dat op dit punt nog lang niet het maximale is bereikt en wordt in nauw overleg met de tuinder gezocht naar mogelijkheden om volgend jaar op dit punt nog wat meer te bereiken.
De kwaliteit van het gewas is voor bijna alle gewassen goed, maar niet significant beter.

Ad 4.

Bij aanvang van het experiment waren er regelmatig zorgen over de regelbaarheid van het klimaat, vooral met betrekking tot de vraag of het in de kas niet te warm of te koud zou worden. Onderstaande figuur met alle temperatuurmetingen van de afgelopen periode laat zien dat deze zorgen niet terecht zijn gebleken.



De temperatuur is de hele zomer slechts incidenteel een keer boven de 28 °C geweest en, behoudens de storingen eind januari, slechts sporadisch een keer onder de 19 °C.
De luchtvochtigheid en CO_2-concentratie zijn eveneens goed regelbaar. Het systeem is dus uitstekend in staat gebleken de gewenste condities te handhaven.

Ad 5.

Berekeningen aan de financiële haalbaarheid van het concept zullen pas aan het eind van het project worden uitgevoerd.

7 Conclusies

- Het uiteindelijke systeem wijkt op een groot aantal punten af van het oorspronkelijke ontwerp maar desondanks mag over 2007 verwacht worden dat de kas met een positieve energiebalans van 2 m^3 a.e. per m^2 jaar nét energieproducerend zal zijn.
- Het Zigzag-kasdek heeft een lagere lichtdoorlatendheid dan een glazen kas, vooral door de forse extra kasconstructie die nodig is doordat de platen korter zijn dan oorspronkelijk beoogd. Er is nog een duidelijke doorontwikkeling nodig (bijvoorbeeld langere platen en uitgekiende roeden, nok en goot-profielen) om de lichttransmissie van het dek verder te verbeteren, voordat brede toepassing in de tuinbouw interessant wordt.
- Het Zigzag kasdek geeft in een warme en vochtige potplantekas in de winter veel drup. Dit komt omdat het condenswater zich op de scherpe neerwaarts gerichte nokken verzamelt en dan afvalt in plaats van afstroomt.
- De energiebalans is in de huidige situatie, net als in het "Bouw en inrichtingsplan" alleen positief als er van het gebruik van WKK wordt uitgegaan.
- Het hoogwaardige energieverbruik van de energieproducerende kas ligt op 72 kWh/m^2 per jaar, bij opwekking in een centrale wordt daarvoor 19 m^3 aardgas verbruikt. Dit komt neer op een besparing van globaal 50% ten opzichte van het gemiddelde verbruik van 40 m^3/m^2 in Nederland. Deze besparing komt evenwel voor een belangrijk deel voort uit de hoge isolatiewaarde van de kas en minder uit het Energieproducerende kas principe. De overige kasafdelingen van Hydro Huisman, met een vergelijkbaar stookregime, gebruiken immers ongeveer 22 m^3/m^2 per jaar.
- Als er rekening wordt gehouden met het verschil tussen de waarde van het warmteoverschot en de kostprijs van elektriciteit, blijkt het economisch aantrekkelijker om bij gelijktijdige verwarmings- en ontvochtigingsbehoefte te stoken met de ramen op een kiertje dan te ontvochtigen met behulp van mechanische ontvochtiging. De beslissing van HSH om niet langer dubbel uitgevoerde blokken te maken is dan ook zeker te billijken.
- De regelbaarheid van het klimaat in het systeem is goed. Temperatuur, luchtvochtigheid en CO_2-concentratie zijn goed regelbaar en het systeem is dus uitstekend in staat gebleken de gewenste condities te handhaven.
- De warmteoverdracht van de warmtewisselaars is gemiddeld genomen ongeveer 10% teruggelopen, maar de consequenties hiervan zijn pas goed te merken is bij wat hogere vermogens. Deze terugloop heeft geen nadelen voor het klimaat.
- De directe doorstroming van een FiWiHEx met aquiferwater (met waterkwaliteit zoals die onderaan het Veluwemassief wordt aangetroffen) heeft tot nu toe niet tot verstopping geleid.
- De gewasgroei laat in het voorjaar en de zomer bij een aantal gewassen een duidelijke teeltversnelling zien. Dit biedt perspectief voor een verkorting van de teeltcyclus van de gebruikte potplanten en daarmee van de totale jaarrond productie.
- Het oordeel van de gewascommissie met betrekking tot de kwaliteit van de producten was positief voor de Anthurium en voor sommige Croton cultivars. Deze gewassen geven dus niet alleen een snellere groei, maar ook een mooiere plant. Voor de andere gewassen, met uitzondering van de Areca, oordeelde de gewascommissie neutraal ten aanzien van de kwaliteit. Deze gewassen ondervinden dus geen extra kwaliteitsvoordeel naast de versnelde groei. De kwaliteit van de Areca uit de Energieproducerende kas bleef naar het oordeel van de gewascommissie achter bij de Areca uit de referentiekas. Bij deze soort heeft de kwaliteit dus te lijden onder de verhoogde teeltsnelheid.

- Doordat de gebruikte tropische potplanten relatief hoge temperaturen en lage lichtintensiteiten vragen kan, met de nu opgedane kennis , worden gesteld dat met deze teelt niet de maximale potentie van een Energieproducerende Kas (een hoge netto energieproductie), bereikt kan worden. Gewassen met een hogere lichtbehoefte en een lagere minimumtemperatuur (bv vruchtgroenten) zijn voor het bereiken van deze doelstelling meer geschikt.

Bijstellingen in het onderzoek

- De belangrijkste bijstelling die voor het onderzoek wordt voorgesteld is om niet langer in de winterperiode de teeltkundige gewaswaarnemingen te doen. Het klimaat is in de Energieproducerende kas dan immers vrijwel identiek aan het klimaat in de referentiekas.
- Een tweede wijziging in de aanpak van het gewaskundige onderzoek is dat in de proefopzet zal worden toegestaan dat de eindmeting in de Energieproducerende kas eerder plaatsvindt dan in de referentiekas. Alleen zo kan immers de mogelijke teeltversnelling in beeld worden gebracht.

Bijlage I.

Kwantitatieve vergelijking van de ronde FWX met de lineaire

In de oorspronkelijke opstelling zouden er 15 ronde FiWiHEx warmtewisselaar per repeterende eenheid van 57.6 m^2. Elke ronde FiWiHEx zou zijn opgebouwd uit 60 matjes van 0,15 x 0,13 cm. Dit betekent dat het matjes oppervlak 1.188 m^2 per ronde FiWiHEx zou zijn geweest.

9 Van zulke FiWiHEX-en zouden al naar gelang de behoefte met warm of met koud water kunnen worden gevoed (bij respectievelijk verwarmen of koelen) en 6 zouden uitsluitend voor het koelen kunnen worden gebruikt. Het totale warmtewisselend oppervlak dat bij het verwarmen zou kunnen worden ingezet was in de oorspronkelijke opzet 0.1856 m^2 per m^2 kasoppervlak.

Bij het koelen zou 0.3094 m^2 koelend oppervlak per m^2 gebruikt zijn.

In de nieuwe situatie worden 3 lineaire FiWiHEx warmtewisselaars per repeterende eenheid van 57.6 m^2 geplaatst. Deze bestaan ieder uit 2 FiWiHEx-blokken, die opgebouwd zijn uit 113 matjes van 0,15 x 0,15 cm. Het totale matjesoppervlak in zo'n lineaire FWX is dus 0.15 * 0.15 * 113 * 2 = 5.085 m^2.

Wanneer er moet worden verwarmd én ontvochtigd wordt het bovenste blok voor de verwarming en het onderste blok voor de ontvochtiging gebruikt. Het beschikbare VO voor het verwarmen is dan 5.085 * 3/2 / 57.6 = 0.1324 m^2 per m^2 kas. Dit zal een veel voorkomende situatie zijn. In een zeer koude periode zal er echter niet gauw behoefte zijn aan simultane ontvochtiging en verwarming en kunnen de beide blokken in serie ten behoeve van de verwarming worden ingezet. Het totale VO is dan 0.2648 m^2 per m^2 kas.

Bij het koelen zullen altijd de beide blokken gebruikt kunnen worden en zal een VO van 0.2648 m^2 beschikbaar zijn.

De conclusies van de geometrische vergelijking van de twee typen warmtewisselaars luidt dus dat er met de Lineaire FWX 10% minder VO geplaatst gaat worden dan dat er oorspronkelijk bij toepassing van de ronde FWX zou worden toegepast.

Bij het simultaan verwarmen en ontvochtigen is het beschikbare VO voor verwarmen met de lineaire FiWiHEx ruim 28% kleiner (maar het VO voor ontvochtigen 28% groter).

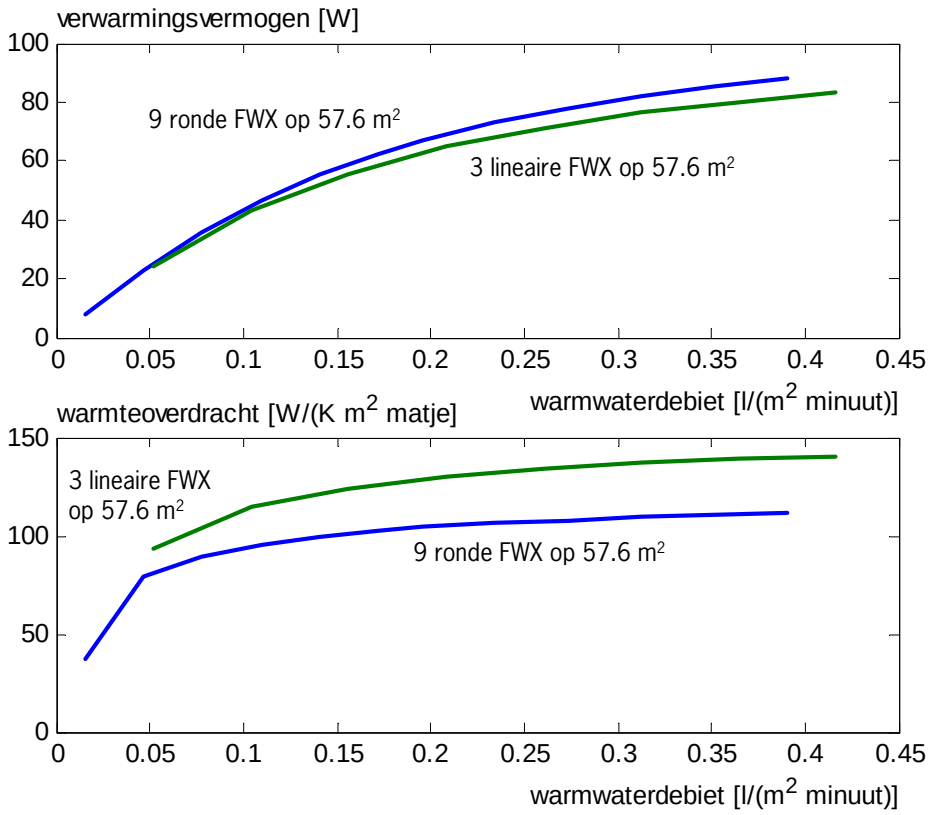
Eén en ander blijkt ook uit onderstaande tabel.

	Oorspronkelijke ronde FWX	Lineaire FWX
Totaal matjesoppervlak	0.3094 m^2 per m^2 kas	0.2648 m^2 per m^2 kas
bij uitsluitend verwarmen	0.1856 m^2 per m^2 kas	0.2648 m^2 per m^2 kas
verwarmen + ontvochtigen	0.1856 m^2 per m^2 kas	0.1324 m^2 per m^2 kas
Koelen / ontvochtigen	0.3094 m^2 per m^2 kas	0.2648 m^2 per m^2 kas

Het door de bank genomen kleinere beschikbare VO hoeft geen probleem te zijn in geval de warmte-overdracht van de Lineaire FiWiHEx beter is dan die van de oorspronkelijke ronde warmtewisselaar.

Aangezien van allebei de FiWiHEx uitvoeringsvormen een simulatiemodel is ontwikkeld en gevalideerd is kan deze vergelijking gemakkelijk worden gemaakt.

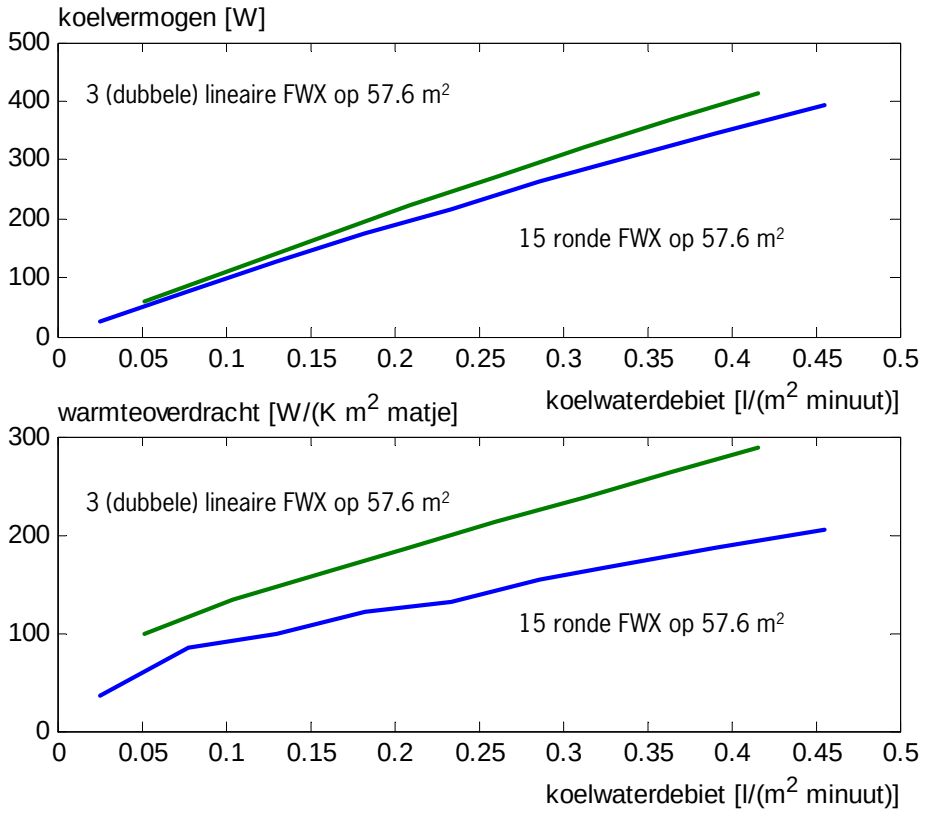
In onderstaande grafiek is het verwarmingsvermogen dat van de oorspronkelijke FiWiHEx opstelling en van de opstelling met de Lineaire FiWiHEx verwacht mag worden getekend als functie van het waterdebiet bij een kaslucht-temperatuur van 18 °C en een aanvoerwatertemperatuur van 25 °C getekend. Het ventilatiedebiet is 0.03 m^3/s per m^2 kas (108 m^3/uur per m^2 kas, een ventilatievoud van 20).



Figuur 1. *Vergelijking van de verwarmingskarakteristieken van het oorspronkelijke concept met 9 ronde FiWIHEx-en en het uiteindelijke concept met 3 lineaire FiWiHEx-en, alles omgerekend naar een m^2 kas. De ingaande luchttemperatuur is 18 °C, de ingaande watertemperatuur 25 °C en het luchtdebiet is 0.03 $m^3/(s\ m^2_{kas})$*

De conclusie uit deze grafiek is dat de warmteoverdracht van de lineaire FiWiHex duidelijk beter is dan die van de ronde, maar dat het 28% geringere VO tot een net iets kleiner verwarmingsvermogen leidt. Uiteraard kan dit in koude perioden gemakkelijk worden gecompenseerd door een hogere aanvoerwatertemperatuur.

In onderstaande grafiek is een soortgelijke vergelijking gemaakt voor de koelsituatie



Figuur 2. *Vergelijking van de koelkarakteristieken van het oorspronkelijke concept met 15 ronde FiWlHEx-en en het uiteindelijke concept met 3 lineaire FiWiHEx-en, alles omgerekend naar een m^2 kas.*
De ingaande luchtcondities zijn 28 °C en 90% RV, de ingaande watertemperatuur is 12 °C en het luchtdebiet is 0.03 $m^3/(s\ m^2_{kas})$.
Er wordt gesproken over dubbele lineaire FWX-en omdat, anders dan bij het verwarmen, bij het koelen beide blokken in de lineaire FWX in serie kunnen worden gezet.

De conclusie uit deze grafiek is dat de warmteoverdracht van de lineaire FiWiHex tijdens het koelen veel gunstiger is dan die van de ronde. Ondanks het kleinere oppervlak van de matjes is de koelprestatie van de lineaire FiWiHEx dan ook beter dan die van de oorspronkelijk bedachte configuratie met ronde FiWiHEx-en.

Over de vergelijking van het elektriciteitsverbruik valt niets te zeggen omdat de ronde FiWiHEx nooit met de uiteindelijke ventilator uitgerust is geweest en er nog geen elektriciteit verbruiksmetingen met de nu gebouwd wordende lineaire FiWiHEx zijn gedaan. Qua ordegrootte zal het verbruik niet veel verschillen, maar bij het gelijktijdig verwarmen en ontvochtigen (zo'n 2000 uur per jaar) zal het verbruik van de ventilatoren in de lineaire FWX beduidend lager zijn.

Bijlage II.
Gewaskundige beoordelingscommissie

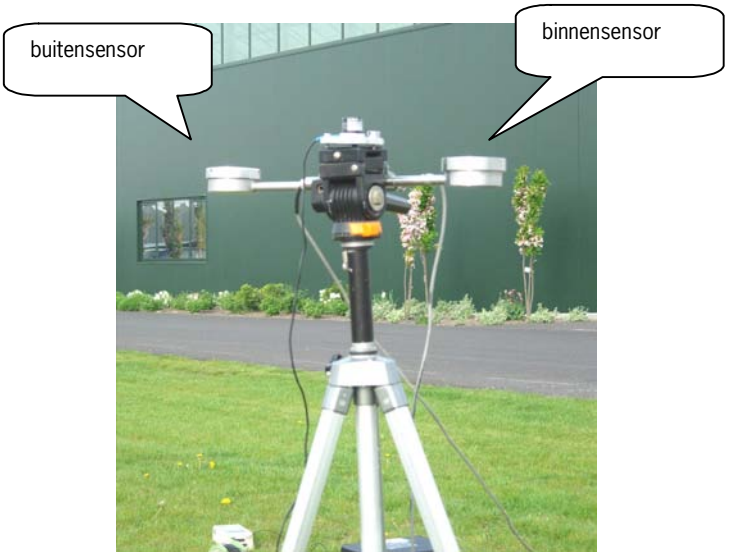
Ten behoeve van een zo goed mogelijke beoordeling van de handelswaarde van de gewassen die in de Energie-producerende kas kunnen worden voortgebracht is telkens na afloop van een oppotronde een bijeenkomst met een aantal vooraanstaande potplantentuinders georganiseerd.

In deze commissie hadden zitting:

- B. Evers, gewasbeoordelaar VKC, werkzaam in uitgangsmateriaal.
- J. Eeuwens, ingehuurde gewasspecialist, voorheen rozenkweker.
- R. Janssen, teler van Begonia en Euphorbia.
- P. Rikken, teler van Hedera.
- G. Tolkamp, teeltverantwoordelijke van Stef Huisman.
- F. van Noort, gewasspecialist Wageningen UR Glastuinbouw

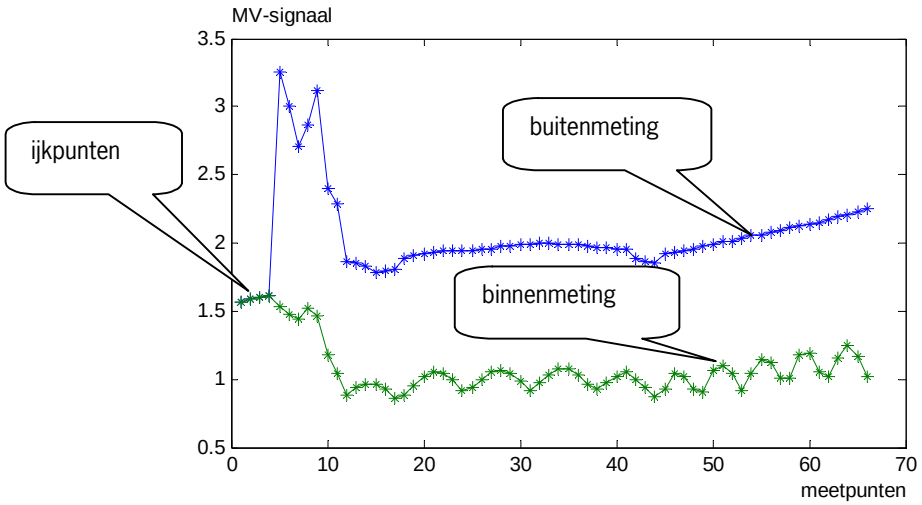
Bijlage III.
Meting van de transmissie van het kasdek

Om de diffuse lichttransmissie van een kas inclusief constructie te kunnen bepalen wordt gebruik gemaakt van een set van twee sensoren die op simultane momenten de lichtindtensiteit buiten de kas en de lichtintensiteit in de kas meten. Deze metingen worden uitgevoerd op een bewolkte dag zodat er een mooie diffuse instraling is.
Een meetserie begint steeds met een bepaling van het meetsignaal van de mobiele binnensensor en de vast op te stellen buitensensor wanneer deze naast elkaar worden gehouden.
Omdat beide sensoren in deze opstelling precies hetzelfde licht ontvangen is de transmissie per definite 1.
Vervolgens wordt de mobiele sensor mee naar binnen genomen en worden er op een groot aantal plaatsen in de kas metingen uitgevoerd.



Figuur III.1. Ijking van de mobiele binnensensor met de vast op te stellen buitensensor.

De meetwaarden die met de mobiele sensor worden gedaan, plus de bijbehorende tijstippen worden opgeslagen en door deze te vergelijken met de meetwaarde die de buitensensor op diezelfde tijstippen gemeten heeft kan de transmissie worden bepaald.
Figuur III.2 toont een typisch resultaat van zo'n meetsessie. Een typisch patroon is de lage doorlatendheid onder de goot en de hogere doorlatendheid onder de nok.



Figuur III.2. Voorbeeld reslutaat van een meetsessie voor de bepaling van de diffuse lichttransmissie van een kas.

De deling van goed gekozen punten op de binnenlijn door de punten van de buitenlijn geeft de diffuse transmissie.