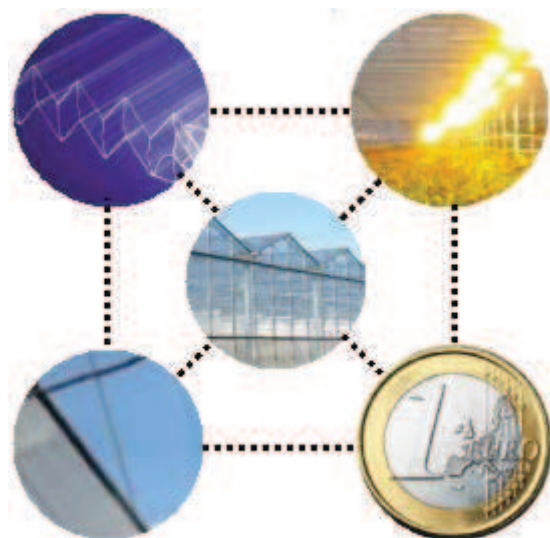


# Energiebesparing op Maat

Software voor het doorrekenen van energiebesparende maatregelen voor de tuinbouwgewassen tomaat, chrysant, fresia en kalanchoe



G.L.A.M. Swinkels  
F.L.K. Kempkes  
H.F. de Zwart

Rapportnr 205, ISBN 90-6754-800-6

## Onderzoek in het kader van het Convenant Glastuinbouw en Milieu

In opdracht van:



## Colofon

Energiebesparing op maat is ontwikkeld door Agrotechnology and Food Innovations B.V.



met bijdrage van  
Praktijkonderzoek Plant & Omgeving  
en Landbouw-Economisch Instituut



en is gefinancierd door  
het Productschap Tuinbouw  
en het ministerie van Landbouw,  
Natuur en Voedselkwaliteit



Title	Energiebesparing op maat
Author(s)	G.L.A.M. Swinkels, F.L.K. Kempkes, H.F. de Zwart
A&F number	630.54357.01
ISBN-number	90-6754-800-6
Date of publication	Augustus 2004
Confidentiality	none
Project code.	PT-projectnr. 11557

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

© Agrotechnology & Food Innovations B.V.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand of openbaar gemaakt in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, hetzij mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever. De uitgever aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele fouten of onvolkomenheden.

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

This report is authorised by: Insert name of authorizing official, usually the project leader



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

## Samenvatting voor de doelgroep

Hieronder volgt het de tekst van een artikel dat aan de vakbladen zal worden aangeboden. (Mocht het artikel geaccepteerd en geplaatst worden vóór de definitieve eindversie van dit rapport, dan zal de tekst hier integraal worden overgenomen.)

### *Nieuw rekenprogramma beoordeelt energiebesparende maatregelen bedrijfspecifiek*

Er zijn tal van energiebesparende maatregelen voorhanden waarmee tuinders hun primaire energieverbruik kunnen beperken. Te denken valt aan grote investeringen, zoals een warmtekracht-installatie, maar ook aan een andere schermstrategie of een verminderde inzet van minimumbuis. Het zal duidelijk zijn dat het effect van elk van deze maatregelen afhangt van de specifieke bedrijfsomstandigheden. Zo zal een warmtekracht-installatie op een bedrijf met weinig belichting veel energie besparen maar wanneer er hoge lichtintensiteiten worden gebruikt zullen de warmte-overschotten de besparingen gedeeltelijk tenietdoen. Een algemeen tabelletje of een eenvoudig besparingsgetal voor verschillende maatregelen voldoet dan ook meestal niet. Om op een degelijker manier de energiebesparingspotentie te berekenen heeft de afdeling Greenhouse Technology van A&F in Wageningen (voorheen het IMAG) het computerprogramma Energiebesparing op Maat (EoM) ontwikkeld dat nauwkeurig rekening houdt met bedrijfsspecifieke omstandigheden. Het programma is met name gericht op de teelten tomaat, chrysant, fresia en kalanchoe en de ontwikkeling is begeleid door een aantal telers van deze gewassen. De ontwikkeling van het programma is gefinancierd door het Productschap Tuinbouw en het Ministerie van LNV in het kader van het GLAMI energieonderzoek.

### *Bedrijfspecifiek*

Iedere energiebesparende maatregel die op een bedrijf genomen kan worden, heeft in meer of mindere mate rendement, afhankelijk van de specifieke omstandigheden op dat bedrijf. Immers de energiebesparing van een energiescherm zal bij een kas met dubbelglas of een kunststof dek heel anders uitpakken dan bij enkelglas. Bij gebruik van het programma moet dan ook veel worden ingevuld over het bedrijf (hoeveel belichting, welke klimaatinstellingen etc.). Om dit te vereenvoudigen hebben alle invulveldjes al een standaardwaarde die goed overeenkomt met wat in de sector gebruikelijk is. Al deze gegevens gaan in een uitgebreid simulatiemodel dat het kasklimaat, de gewasgroei en uiteindelijk het energieverbruik nauwkeurig berekent. Het programma houdt rekening met de interactie tussen verschillende besparingsmaatregelen en de wijze waarop ze worden gebruikt. Zo vraagt het programma om de materiaalsamenstelling en regelinstellingen van het scherm in plaats van het besparingsgetal van de leverancier. Dit besparingsgetal is vaak de isolatiewaarde van het doek. De werkelijke besparing die jaarrond gehaald wordt hangt vooral af van de manier waarop het scherm wordt gebruikt en wordt op basis daarvan door het model nauwkeurig uitgerekend.

Wanneer de gebruiker zijn bedrijfsgegevens heeft ingevuld en vervolgens wil weten wat voor zijn bedrijf het effect is van bijvoorbeeld een ander belichtingsniveau, een dubbel kasdek of de inzet van bio-olie, dan maakt het programma een tweede berekening waarin alles hetzelfde blijft als in de referentiesituatie, behalve datgene wat hij als energiebesparende maatregel wil uitproberen. Het programma produceert vervolgens een keurig overzicht met resultaten op zowel energetisch als bedrijfseconomisch gebied. Hierin zijn energietarieven en investeringskosten opgenomen die, indien gewenst, eenvoudig naar eigen inzichten zijn aan te passen.

#### *Uniek concept*

Op dit moment wordt op diverse internetpagina's al een grote hoeveelheid informatie aangeboden met betrekking tot energiebesparingsmaatregelen in de glastuinbouw. Het gaat hierbij om database georiënteerde rekenmodules, rekenbladen en fact-sheets die vaak algemeen van opzet zijn, waarbij vaak geen rekening gehouden wordt met interacties tussen de verschillende maatregelen of waarbij voor de essentiële informatie een deskundige ingeschakeld moet worden. Wat Energiebesparing Op Maat in dit opzicht uniek maakt is dat het kasklimaat en de hoeveelheid energie waarmee dit gerealiseerd wordt, de kern van de berekening vormt in plaats van allerlei aparte besparingsgetallen. De (gewenste) klimaatregeling is dan ook precies door tuinders in te stellen op dezelfde manier waarop dat in een echte klimaatcomputer gebeurt. Omdat vrijwel alle energiebesparende maatregelen van invloed zijn op het kasklimaat worden de effecten op het klimaat en daarmee de energiebesparing van een combinatie van maatregelen vanzelf meegenomen.

# Inhoudsopgave

<b>Samenvatting voor de doelgroep</b>	<b>3</b>
<b>1 Inleiding</b>	<b>6</b>
<b>2 Energiebesparende opties</b>	<b>7</b>
2.1 Energiescherm met kierregeling op vocht	7
2.2 Temperatuurintegratie	7
2.3 Warmtekracht-installatie met of zonder teruglevering aan het net	8
2.4 Hoog-isolerend kasdek	8
2.5 Warmtepomp in combinatie met lange termijn energieopslag	9
2.6 Energiezuinige vochtregeling	9
2.7 Combicondensor	10
2.8 Bio-olie	10
2.9 Gewijzigde belichting	10
<b>3 Aanpak</b>	<b>12</b>
3.1 Projectmatig	12
3.2 Technisch	13
<b>4 Begeleiding door de praktijk</b>	<b>14</b>
<b>5 Ontwikkeling van de software</b>	<b>16</b>
5.1 Aanpassing en uitbreiding simulatiemodel	16
5.1.1 Algemeen	16
5.1.2 Energiebesparende opties	17
5.2 Implementatie economische module	19
5.2.1 Energietarieven	19
5.2.1.1 Gas	19
5.2.1.2 Elektriciteit	20
5.2.2 Investerings- en jaarkosten van energiebesparende opties	20
5.2.3 Productie-effect	21
5.2.4 Rentabiliteit	21
5.3 Ontwerp en implementatie user-interface	22
<b>6 Beperkingen</b>	<b>23</b>
<b>7 Kennisoverdracht en oplevering</b>	<b>24</b>
<b>Literatuur</b>	<b>25</b>
<b>Bijlagen</b>	<b>26</b>

## 1 Inleiding

Er bestaat een groot aantal opties om energie te besparen bij de teelt van glastuinbouwgewassen. Informatie in algemene zin over afzonderlijke besparingsopties is wel te vinden in vakbladartikelen en onderzoeksrapporten. Ook zijn leveranciers van energiebesparende opties vaak bereid de voordelen van hun product toe te lichten. Objectieve kennis echter over welke combinatie van opties, zowel vanuit het oogpunt van energiebesparing als vanuit het oogpunt van bedrijfseconomie, tot het beste resultaat leidt voor specifieke gewassen ontbreekt, maar is voor individuele tuinders essentieel om de beslissingen te nemen over te gaan tot een investering in een bepaalde besparingsmaatregel.

Ervaring uit de praktijk heeft geleerd dat het vrijwel onmogelijk is per gewas een gemiddeld bedrijf samen te stellen. Elke individueel bedrijf heeft namelijk te maken met verschillende rassen, teeltstrategieën en randvoorwaarden. Ook besluiten veel bedrijven te gaan belichten waardoor het besparingspotentieel verandert. Vanuit de praktijk is dan ook de vraag ontstaan naar een gereedschap om hun beslissingen ten aanzien van (combinaties van) energiebesparende maatregelen, op een objectieve manier te ondersteunen.

Dit rapport beschrijft de ontwikkeling van dit gereedschap in de vorm van het softwarepakket 'Energiebesparing op Maat' (EoM). Met deze software kan een tuinder bepalen welke energiebesparende maatregelen, zowel vanuit het oogpunt van energiebesparing als vanuit bedrijfseconomie, voor zijn bedrijf tot het beste resultaat leidt. Ook kan hij hiermee vaststellen op welke wijze hij kan voldoen aan de normen in de AMvB.

In hoofdstuk 2 wordt beschreven welke stappen genomen zijn om tot het projectresultaat te komen. In de daarop volgende hoofdstukken wordt elke stap verder uitgewerkt.

## 2 Energiebesparende opties

In EoM kan de gebruiker een variant van zijn huidige bedrijf samenstellen waarbij hij de keuze heeft uit (een combinatie van) acht energiebesparende opties. Deze opties zijn zorgvuldig geselecteerd als zijnde de meest perspectiefvolle maatregelen die direct toegepast kunnen worden. Hieraan is de optie "gewijzigde belichting" toegevoegd omdat belichten in de glasgroenteteelt momenteel sterk in de belangstelling staat.

In dit volgende paragrafen wordt elke energiebesparende optie verder toegelicht.

### 2.1 Energiescherm met kierregeling op vocht

Afhankelijk van het type energiedoek kan volgens opgave van de fabrikanten tussen 45% en ruim 70% worden bespaard op energiegebruik bij gesloten scherm. In de praktijk zal de energiebesparing over een jaar genomen een stuk lager uitvallen dan genoemde waarden, maar is toch aanzienlijk wanneer het scherm optimaal wordt gebruikt. Het energiebesparingseffect wordt namelijk beperkt door de mate waarin het scherm gesloten wordt. Omdat iedere tuinder deze schermregeling op zijn eigen manier instelt is het besparingspercentage moeilijk te voorspellen. Dit maakt dat tuinders weinig inzicht hebben in de energiebesparing die op hun bedrijf door middel van een energiescherm gerealiseerd wordt en kan worden. Met name het aantal uren waarin het scherm (deels) gesloten is, zou hoger kunnen liggen dan nu in de praktijk het geval is. EoM biedt tuinders de mogelijkheid de effecten te berekenen van enerzijds een andere samenstelling van het doek (meer/minder bandjes, wel of geen aluminium etc.) en anderzijds andere instellingen van de schermregeling. Hierbij kan ook een kierregeling op vocht geselecteerd worden, waarbij het scherm nog vaker en verder gesloten kan blijven. Bij overschrijding van het setpoint luchtvochtigheid wordt dan een kier van maximaal 4% getrokken.

### 2.2 Temperatuurintegratie

Dat met temperatuurintegratie (TI) energie bespaard kan worden zonder het gewas schade toe te brengen, is in diverse praktijkexperimenten reeds aangetoond. Tuinders staan echter vaak sceptisch tegenover het gebruik van temperatuurintegratie. Dit in verband met de vrees voor onder andere te hoge luchtvochtigheid met als consequentie een hoger risico voor ziekten en daarmee productieverlies. Afgezien van TI in combinatie met schermen (Van de Braak, 2002) ontbreekt het bovendien aan informatie over de effecten van gecombineerde inzet van temperatuurintegratie met andere energiebesparende maatregelen.

Uit interviews met tuinders blijkt dat zij in de toekomst temperatuurintegratie meer willen gaan inzetten, maar dat men voorlopig de kat uit de boom kijkt. Dit wordt het beste geïllustreerd door de gekozen instellingen. De meeste telers passen geregeld handmatig de ingestelde temperatuursom aan, terwijl deze juist de vrijheid aan de regeling moet geven. Ook de bandbreedten, worden vaak klein gekozen, waarbij er een neiging is om ten opzichte van de standaardinstellingen wel naar de bovenkant (warmer) maar juist niet naar beneden (kouder) bij te



stellen. Hierdoor wordt het moeilijker om een hogere temperatuursom dan gebruikelijk, te compenseren en wordt de temperatuurintegratie in feite beperkt en niet optimaal gebruikt. Dit komt overeen met de algemene mening van tuinders dat het effect van TI op de energiebesparing als marginaal tot nihil beschouwd wordt.

Met EoM kan TI op zich of in combinatie met andere besparingsopties worden gesimuleerd. Hierbij zijn de bandbreedte, integratieperiode en temperatuursom in te stellen. Voor tuinders die al TI gebruiken is dit ook in de referentiesituatie te selecteren. Als variant kan dan met bijvoorbeeld de bandbreedte geëxperimenteerd worden.

### **2.3 Warmtekracht-installatie met of zonder teruglevering aan het net**

Warmtekrachtkoppeling (WKK) is een zeer geschikte techniek om de energieconversie van aardgas in elektriciteit, warmte en CO<sub>2</sub> te verbeteren. De inzet ervan in de glastuinbouw vormt een belangrijk onderdeel van de realisatie van doelstellingen van het Glami-convenant. Door de liberalisering van de elektriciteitsmarkt is het bedrijfseconomisch perspectief voor WKK in de glastuinbouw verslechterd, waardoor de groei tot stilstand is gekomen.

Voor teelten waarvoor veel elektriciteit gebruikt wordt (belichting, grondkoeling) biedt WKK echter energetische en bedrijfseconomische perspectieven. Door de met WK-installaties in eigen gebruik geproduceerde elektriciteit te verhandelen op de energiemarkt (APX) zijn in het verleden zelfs grote winsten behaald. Door het grillige karakter en de complexiteit van de APX is het echter niet mogelijk deze manier van WKK-gebruik in EoM te simuleren. Wat EoM wel biedt is de mogelijkheid om zowel in de referentie als bij de energie-opties een gasmotor-WKK te kiezen die wordt geregeld op de elektriciteitsbehoefte en optioneel elektriciteit teruglevert aan het openbare net met vast teruglevertarief.

Ook kan voor een WKK-condensor en rookgasreiniger gekozen worden. De extra CO<sub>2</sub> die dan beschikbaar is voor CO<sub>2</sub>-dosering alsmede de extra kosten hiervoor worden dan meegenomen in respectievelijk de gewasproductie en investeringskosten.

### **2.4 Hoog-isolerend kasdek**

Het is algemeen bekend dat met een hoog-isolerend kasdek materiaal een grote energiebesparing gehaald kan worden. In combinatie met energieschermen is maximaal 31% reductie mogelijk op de warmte-energie verbruik (Sonneveld, 2001). Er kleven echter een aantal nadelen aan een hoog-isolerend kasdek. Hoog-isolerend komt in de praktijk neer op een dubbelwandig materiaal dat normaal gesproken gepaard gaat met lichtverlies en daarmee productieverlies (uitgezonderd Lexan®ZigZag™). Ook treedt bij een dubbelwandig materiaal minder condensatie op waardoor meer gelucht moet worden, zodat het besparingspotentieel afneemt en de CO<sub>2</sub>-concentratie gemiddeld gezien lager ligt. Een ander nadeel is de hoge investering die hiervoor gedaan moet worden, zeker ten opzicht van enkel glas.

Bovenstaande maakt dat een dubbel dek voor de ene teelt wel en voor de andere niet rendabel is. EoM biedt tuinders de mogelijkheid tussen een tweetal hoog-isolerende kasdekmaterialen te



kiezen, namelijk een dubbelwandige PMMA kanaalplaat en Lexan®ZigZag™. Zoals voor alle energie-opties geldt, kunnen ook deze materialen gecombineerd worden met andere energie-opties. Voor beide materialen wordt op basis van de isolatie en lichttransmissie het effect op het energieverbruik en productie berekend en worden de investeringskosten meegenomen in het economische plaatje.

## **2.5 Warmtepomp in combinatie met lange termijn energieopslag**

De warmtepomp biedt in principe een goede mogelijkheid om het primaire energieverbruik van de glastuinbouw terug te brengen en daarmee aan de doelstellingen voor duurzame energie te voldoen. Met de warmtepomp kan namelijk zonne-energie, die in de zomer is verzameld, in de winter worden gebruikt voor verwarming van de kas. Daartoe wordt gebruik gemaakt van warmteopslag in ondergrondse watervoerende lagen die in de zomer opgewarmd worden en in de winter met behulp van de warmtepomp weer worden uitgeoeld (aquifer).

Bij de verschillende onderzoeksprojecten die rond de ontwikkeling van deze techniek in de afgelopen tijd zijn uitgevoerd blijkt dat het moeilijk is om op een kosteneffectieve wijze de zomerse overschotten te verzamelen. Recent uitgevoerd onderzoek (De Zwart, 2004) heeft echter aangetoond dat het gebruik van het kasdek als oppervlak waaraan warmte kan worden onttrokken veel potentie biedt. Om deze reden wordt in EoM dekbevoeiing gebruikt als regeneratiebron van de aquifer in de zomer.

Het feit blijft dat de rentabiliteit van een dergelijk systeem sterk afhankelijk is van de teelt, de bedrijfsvoering en de investeringskosten voor warmtepomp en aquifer. Ter begeleiding van de introductie van deze innovatieve techniek kan EoM behulpzaam zijn.

## **2.6 Energiezuinige vochtregeling**

De vochtregeling (het begrenzen van de luchtvochtigheid) draagt voor 10 tot 25 % bij aan het energieverbruik van kassen (Stanghellini, 2002). De ervaring is dat het potentieel van energiebesparende maatregelen wordt beperkt door minimumbuis- en minimumraaminstellingen. De belangrijkste motivatie hiervoor is dat tuinders steeds beducht zijn voor onacceptabele luchtvochtigheidsniveaus.

De energiezuinige vochtregeling gaat uit van een besparing op het energieverbruik dat met de vochtregeling gepaard gaat. Door deze optie te selecteren worden vaste minimumbuistemperaturen of vaste minimumraamstanden (als die ingesteld staan) uitgeschakeld. Daarvoor in de plaats wordt een vochtregeling gebruikt die de luchtvochtigheid vlak bij het gewas berekent en vervolgens op deze luchtvochtigheid regelt (in plaats van de luchtvochtigheid bij de meetbox). Op dit moment wordt door PPO in Naaldwijk volop met deze regelingen geëxperimenteerd. In hun rapporten wordt deze regeling omschreven als "Vochtregeling op gewasRV".

De resultaten laten een duidelijk lager gasverbruik zien zonder gewaskundige problemen. Deze regelingen zijn echter nog niet uitontwikkeld (met name voor siergewassen) zodat de resultaten die EoM hierbij berekent vooral indicatief zijn.

De energiezuinige vochtregeling is alleen verantwoord, als hiermee geen grote temperatuurverschillen optreden in het gewas waardoor dit in gevaar komt. EoM geeft niet aan hoe deze temperatuurverschillen voorkomen kunnen worden, maar berekent alleen het energetisch effect.

## **2.7 Combicondensator**

Er zijn twee typen rookgascondensators: de enkelvoudige condensator en de combicondensator. De enkelvoudige condensator is aangesloten op de retourleiding van het centrale verwarmingsnet of op een apart verwarmingsnet voor laagwaardige temperatuur, de combicondensator heeft 2 secties en is aangesloten op zowel de retourleiding van het centrale net als op een laagwaardig net. Met de combicondensator is een hoger rendement mogelijk dan met de enkele condensator, omdat hiermee hoog- en laagwaardige warmte uit de rookgassen gehaald wordt. Wanneer de gebruiker van EoM een combicondensator als energiebesparende optie kiest, zal de berekende energiebesparing afhankelijk zijn van of er in de referentie-situatie al een condensator is, welke type (enkel of combi) en op welk net deze aangesloten is. Standaard wordt een enkele condensator op het secundaire net aangesloten, waarbij de energiebesparing ten gevolge van een combicondensator enkele procenten zal bedragen.

## **2.8 Bio-olie**

Het voordeel van de inzet van bio-olie is tweeledig. Enerzijds kan het piekverbruik verlaagd worden, waardoor een lagere contractcapaciteit afgesloten kan worden en bespaard wordt op de gaskosten. Anderzijds telt het als zijnde een bron van groene energie niet mee in de AMvB-normering. Nadelen van bio-olie zijn de relatief hoge investeringen die gedaan moeten worden voor de aanleg van een voorraadtank, eventueel een extra ketel en een brander voor bio-olie. Dit kan een “single-fuel” brander zijn, wanneer een extra ketel voor bio-olie geplaatst wordt, maar ook een “dual-fuel” wanneer de bestaande gasketel gebruikt wordt. In het laatste geval kan tijdens inzet van bio-olie geen CO<sub>2</sub>-gedoseerd worden. Andere nadelen zijn mogelijke vervuiling van de condensator en aantasting van de installatie door de rookgassen.

Dit alles maakt dat tuinders de rentabiliteit moeilijk kunnen inschatten waardoor de potenties van bio-olie op sectorniveau onderbenut blijven.

## **2.9 Gewijzigde belichting**

De laatste jaren wordt steeds vaker assimilatiebelichting toegepast bij siergewassen. Ook het belichten van glasgroenten wordt steeds populairder onder tuinders. Voordelen hiervan zijn een toename van de productie en de kwaliteit en een jaarrond productie. Of belichten van glasgroenten rendabel is en wat daarbij het effect is van de belichtingsintensiteit is niet altijd even

duidelijk. De kosten zijn relatief eenvoudig te bepalen maar de extra productie en de effecten van het belichtingsregime zijn moeilijker boven water te krijgen.

Omdat door een toenemende belichting het elektriciteitsverbruik van de glastuinbouwsector sterk toeneemt (en zonder WKK het primaire gebruik) is het belangrijk dat tuinders de voordelen van (extra) belichting niet te hoog inschatten. EoM biedt hen de mogelijkheid om de extra productie te bepalen bij verschillende belichtingsintensiteiten. Hierbij wordt deze productie wel beperkt tot de extra kilogrammen product en worden kwaliteitseffecten niet door het model berekend. Om dit te ondervangen heeft de tuinder in EoM wel de gelegenheid om hiervoor een procentuele verhoging van de veilingprijs in te vullen.

## 3 Aanpak

### 3.1 Projectmatig

Het uitgangspunt van EoM is het toegankelijk maken van het wetenschappelijk simulatiemodel KASPRO<sup>1</sup> voor individuele tuinders, zodat zij dit model kunnen gebruiken om bedrijfseconomisch verantwoorde energiebesparende maatregelen toe te passen. Op deze manier komt het resultaat van vele jaren wetenschappelijk onderzoek op kasklimaat- en gewaskundig gebied op een interactieve manier voor een grote groep tuinders ter beschikking.

EoM is ontwikkeld voor de gewassen tomaat, chrysanthe, kalanchoe en fresia. Om EoM optimaal op de praktijk te laten aansluiten is voor elk van deze gewassen geïnventariseerd met welke set van parameters en keuzemenu's tuinders hun teeltregime zo eenvoudig mogelijk kunnen karakteriseren. Door de vele onderzoeksprojecten die met behulp van KASPRO zijn uitgevoerd waren de meeste parameters met betrekking tot de technische installaties, de bedrijfsuitrusting en de klimaatregeling die op een modern glastuinbouwbedrijf kunnen voorkomen, reeds in het model aanwezig. Een groot aantal zaken echter moest worden toegevoegd of aangepast, met name een aantal energiebesparende opties. Dit komt neer op het aanpassen van de klimaatregeling en/of het modelleren van een installatie zoals bijvoorbeeld een combicondensator. Al deze aanpassingen zijn uitvoerig getest.

Na bovenstaande werkzaamheden te hebben uitgevoerd is er een kasklimaatmodel ter beschikking gekomen dat gewasproductie en energiegebruik uitrekent, als gevolg van energiebesparende opties, voor praktijkbedrijven van de gewassen tomaat, chrysanthe, kalanchoe, en fresia. Hieraan ontbreken nog twee zaken, namelijk een module die de economische effecten van de energiebesparende maatregelen berekent en gebruiksvriendelijke software (user-interface) waarmee tuinders hun bedrijfsvoering kunnen invullen en de uitgerekende resultaten kunnen bekijken.

Samenvattend is het project in chronologische volgorde als volgt uitgevoerd:

- Inventarisatie bedrijfsuitrusting, regelmethoden en besparingsmogelijkheden bij praktijkbedrijven
- Aanpassing van het simulatiemodel KASPRO
- Implementatie economische module
- Ontwerp en implementatie user-interface, inclusief uitgebreide help functie
- Testen, terugkoppeling van het resultaat naar een aantal tuinders per gewasgroep en afronding van het project door de software middels een internet site te beschikking te stellen.

---

<sup>1</sup> Het kasklimaatmodel KASPRO berekent het kasklimaat, de fotosynthese en het energieverbruik van tuinbouwkassen en vormt daarmee in feite een virtuele kas

### 3.2 Technisch

Om de effecten van verschillende energiebesparende maatregelen voor een bedrijf te kunnen bepalen moet eerst een referentie bepaald worden. Dit gebeurt door een modelberekening te maken op basis van bedrijfsuitrusting en klimaatsetpoints in de huidige situatie. Vervolgens rekt het simulatiemodel een tweede keer waarbij één of meerdere energiebesparende opties worden ingezet. Hierna kunnen de verschillen met de referentie bepaald worden. Deze zijn uitgesplitst naar gasverbruik, elektriciteitsverbruik en productie-effecten. Als deze getallen gekoppeld worden aan energietarieven en investeringskosten kunnen ook de bedrijfseconomische effecten worden berekend.

Een belangrijke factor voor het energieverbruik is het weer. Omdat energiebesparende investeringen een afschrijvingstermijn hebben van meerdere jaren moeten deze voor een gemiddeld jaar renderen. Voor het weer wordt daarom een standaard Nederlands klimaat gebruikt, het zogenaamde SEL-jaar (Appendix 1). Dit bevat het gemiddelde weer van de jaren 1994 t/m 2003. Hierbij worden wel echte maanden gebruikt zodat extremen niet zijn afgevlakt.

## 4 Begeleiding door de praktijk

Eerste fase van het project omvatte een inventarisatie van de benodigde bedrijfsuitrusting en (klimaat)regelingen ten behoeve van het model KASPRO. Door PPO zijn 9 bedrijven met de gewassen tomaat, chrysant, fresia en kalanchoe bezocht. Secundair doel van deze inventarisatie was het verzamelen van de verschillende percepties over energiebesparingsmaatregelen.

Samen met de telers is een vragenlijst doorgenomen, die gericht was op het invoeren van hun bedrijf, bedrijfsuitrusting en klimaatsetpoints in KASPRO. De voor deze telers ontbrekende punten kwamen op deze manier vanzelf naar voren.

Tussen de mate van detaillering en de beheersbaarheid van EoM heerst een spanningsveld. De vraag of EoM door tuinders geaccepteerd wordt, hangt mede af van hoe moeilijk het is en hoeveel tijd het kost om de bedrijfssituatie in EoM in te vullen. Om in alle klimaatinstellingen, zoals die ook in een klimaatcomputer voorkomen, te voorzien, zou de lijst met parameters onacceptabel lang worden. Daarom is besloten om de voor het energieverbruik minder belangrijke klimaatinstellingen buiten beschouwing te laten of te vereenvoudigen. Een voorbeeld hiervan zijn de versterkingsfactoren in de regelaar van de raamopeningen.

De inventarisatie heeft zich uiteindelijk op een viertal hoofdpunten gericht. In Appendix 2 zijn deze hoofdpunten benoemd, met daarbij de specificaties waaraan het model volgens de geïnterviewde tuinders zou moeten voldoen en de daarbij behorende acties die ondernomen zijn om hiertoe te komen. In Appendix 3 wordt een opsomming gegeven van de perceptie van tuinders van de verschillende energiebesparende maatregelen.

Ook tijdens de ontwikkeling van de user-interface is met tuinders overlegd over de opzet van EoM. Op het moment dat het grafische gedeelte, de user-interface, in grote lijnen gereed was, is de voorlopige versie hiervan op 10 praktijkbedrijven gedemonstreerd. Hiervoor zijn door A&F 3 tomatentelers, 3 kalanchoekwekers, 3 chrysantenkwekers en 1 fresiateler bereid gevonden. Hoofdrede hiervoor was nagaan of de tuinders zich konden vinden in de aanpak van vooral het menugestuurde gedeelte.

Het aanvankelijke idee om een bijeenkomst van meerdere tuinders per gewasgroep te organiseren, bijvoorbeeld tijdens reguliere bijeenkomsten van studiegroepen, bleek niet te realiseren. Enkele tuinders met ingangen in deze groepen gaven namelijk aan eerst EoM te willen zien, voordat zij deze eventueel op de agenda wilden zetten. Als gevolg hiervan is besloten de bedrijven individueel te bezoeken. Dit is gebeurd in de periode februari - maart 2004.

De uitkomsten van de demobezoeken waren positief. Alle bezochte tuinders hebben enthousiast gereageerd, waarbij een aantal hiervan (wegens bouwplannen) aangaven EoM goed te kunnen gebruiken. Alle opmerkingen en aanbevelingen die uit deze demobezoeken naar voren zijn gekomen zijn gedocumenteerd, geanalyseerd en zonodig in de software verwerkt. De meeste opmerkingen betroffen het invullen van setpoints en onduidelijkheden over hoe bepaalde parameters geïnterpreteerd moesten worden. Deze zaken zijn voor het grootste deel verwerkt.

Van de meer fundamentele zaken met de uitvoering die daaraan gegeven is, wordt een overzicht gegeven in Appendix 4.



## 5 Ontwikkeling van de software

EoM bestaat uit drie aan elkaar gekoppelde onderdelen: het simulatiemodel KASPRO (paragraaf 5.1), de economische module (paragraaf 5.2) en de user-interface waarin de gebruiker zijn bedrijfsuitrusting en klimaatsetpoints moet invullen en de resultaten kan bekijken (paragraaf 5.3). In de volgende paragrafen zullen de werkzaamheden beschreven worden die voor elk onderdeel uitgevoerd zijn.

### 5.1 Aanpassing en uitbreiding simulatiemodel

Het hart van de software wordt gevormd door het simulatiemodel KASPRO. Dit model is door A&F in de loop der jaren ontwikkeld gebaseerd op de resultaten van vele jaren wetenschappelijk onderzoek op kasklimaat- en gewaskundig gebied. Tijdens de vele onderzoeksprojecten waarvoor KASPRO is gebruikt zijn nieuwe inzichten en technische innovaties aan het simulatiemodel toegevoegd, waardoor het een hoog 'praktijkgehalte' heeft gekregen.

KASPRO maakt gebruik van een groot aantal parameters die betrekking hebben op de kasconstructie, de bedrijfsuitrusting en de klimaatregeling. Een groot aantal daarvan zijn voor vrijwel alle Venlo-kassen en teelten hetzelfde zodat hiervoor een vaste standaardwaarde geldt. Een kleinere groep kan door A&F aangepast worden, wanneer KASPRO voor onderzoek ingezet wordt. Wanneer de parameters van deze laatste groep voor één bepaald gewas ingevuld worden, blijft er een nog kleinere groep over die van de specifieke bedrijfssituatie afhangen én belangrijk zijn voor het energieverbruik. Deze parameters zijn opgenomen in de user-interface van EoM en kunnen door de gebruiker aangepast worden. Al deze parameters zijn voorzien van een representatieve standaardwaarde, maar enkele parameters, zoals bedrijfsoppervlak en kasdek materiaal, zijn zo belangrijk voor het energieverbruik dat deze altijd correct ingevuld moeten worden.

#### 5.1.1 Algemeen

Naast de punten die de tuinders tijdens de inventarisatiefase genoemd hebben, zijn een aantal detailleringen aangebracht om het simulatiemodel nog beter bij de praktijk te laten aansluiten.

#### *Klimaatsetpoints*

Om het verloop van een setpoint (bijv. stooktemperatuur) over de dag te parametriseren wordt gebruik gemaakt van twee variabelen, te weten:

- setpointwaarden (de streefwaarde die klimaatcomputer tracht te realiseren)
- tijdstippen (de tijdstippen waarop deze streefwaarden moeten worden bereikt)

Alle setpoints kunnen voor maximaal 6 tijdstippen (perioden) worden opgegeven.

Temperatuurovergangen worden standaard gemaakt met een helling van 1 graad per uur.

Voorbeeld: moeten voor de setpointwaarden de temperaturen 21, 20 en 19 worden ingevoerd en

de bijbehorende tijdstippen zijn 8, 19 en 22 uur waarop deze setpoints zijn bereikt, dan zijn de door het simulatiemodel berekende tijdstippen 6:00, 18:00 en 21:00, uitgaand van een helling waarmee temperaturen mogen veranderen (1 graad per uur). De begin- en eindpunten (00:00 en 24:00) worden automatisch toegevoegd (niet zichtbaar in de user-interface).

Behalve vaste tijdstippen kunnen de tijdstippen ook worden ingevoerd in afhankelijkheid van zonsopkomst en -ondergang. Is bijvoorbeeld een temperatuurverloop gewenst, waarbij de dagtemperatuur (20 °C in het voorbeeld) een half uur na zonsopkomst wordt bereikt en de nachttemperatuur (18 °C) anderhalf uur na zonsondergang wordt bereikt dan worden de setpointwaarden 20 en 18 en de tijdstippen 'op+0.5' en 'on+1.5'. Het simulatiemodel checkt automatisch de consistentie van de ingevoerde waarden. Wanneer temperaturen niet met de geldende helling kunnen worden gerealiseerd worden tijdstippen automatisch verplaatst.

### *Scherf*

Er is een groot aantal verschillende merken en typen schermen verkrijgbaar. De meest gebruikte zijn in de loop der jaren door A&F geparametriseerd zodat KASPRO de energiestromen door het scherm kan uitrekenen. Het is echter onmogelijk om dit voor alle verkrijgbare schermtypen in EoM in te voeren. Hiervoor is als oplossing gebruikt een schermtype te karakteriseren op basis van een 4-tal eigenschappen. Dit zijn het percentage van het schermoppervlak dat luchtdoorlatend is, dat transparant is, van aluminium is en het percentage niet-transparant overig materiaal. Dit laatste wordt automatisch uitgerekend. Standaard zijn de eigenschappen ingevuld voor het meest gebruikte scherm voor het betreffende gewas.

Bij kortedag/langedag teelten is er een verduisteringsscherm aanwezig dat tevens een energiescherm is. De eigenschappen van dit verduisteringsscherm liggen bij deze teelten vast en kunnen door de gebruiker niet gewijzigd worden.

#### *5.1.2 Energiebesparende opties*

Ten behoeve van dit project moet KASPRO kunnen rekenen met een aantal (innovatieve) energiebesparende opties. Hieronder wordt per optie beschreven hoe deze in KASPRO geïmplementeerd zijn.

#### *Energiescherm met kierregeling op vocht*

Wanneer deze optie geselecteerd wordt, wordt een kier van maximaal 4% getrokken bij overschrijding van het setpoint RV. Voor tuinders die al een scherm hebben is een energiescherm met kierregeling op vocht ook in de referentiesituatie te selecteren. Als er geen kierregeling op vocht is blijft het scherm dicht, ook al wordt het setpoint luchtvochtigheid overschreden.

#### *Temperatuurintegratie*

Het temperatuurintegratie algoritme is terugkijkend met een instelbare bandbreedte, integratieperiode en maximaal aantal graaduren. Er wordt dus alleen rekening gehouden met de in het verleden gewonnen graaduren. Voor tuinders die al temperatuurintegratie gebruiken is dit

ook in de referentiesituatie te selecteren. Als variant kan dan met bijvoorbeeld de bandbreedte geëxperimenteerd worden.

#### *Een warmtekracht-installatie met of zonder teruglevering aan het net*

Deze WK-installatie is een gasmotor en moet gespecificeerd worden op basis van het elektrisch vermogen en het elektrisch en thermisch rendement. Verder kan gekozen worden voor wel of geen rookgasreiniger, een condensor (enkel) en wel of geen teruglevering aan het openbare net. Voor tuinders die al een WK-installatie hebben kan dit ook in de referentie geselecteerd worden. Als variant kan dan bijvoorbeeld met het elektrisch vermogen (en de investeringskosten) geëxperimenteerd worden.

#### *Een hoog-isolerend kasdek*

Hier kan gekozen worden tussen een PMMA kanaalplaat en Lexlan®ZigZag™. Voor beide materialen wordt op basis van de isolatiewaarde en lichttransmissie (uit tabellen) het effect op het energieverbruik en productie berekend.

#### *Een warmtepomp in combinatie met lange termijn energieopslag*

EoM gaat uit van een gasmotor aangedreven warmtepomp. Deze verbruikt dus gas, maar daarnaast moet de warmtepomp ook de beschikking hebben over een (laagwaardige) warmtebron. In EoM wordt hiervoor een aquiferdoublet gebruikt (een bronput en een infiltratieput in een ondergrondse watervoerende laag).

Bij het selecteren van de optie warmtepomp & aquifer moet de tuinder er rekening mee houden dat de aquifer in de zomer weer gevuld wordt. In EoM wordt dit gesimuleerd door kasdekbevloeiing.

#### *Een energiezuinige vochtregeling*

De energiezuinige vochtregeling gaat uit van een besparing op het energieverbruik dat met de vochtregeling gepaard gaat. Door deze optie te selecteren worden vaste minimumbuistemperaturen of vaste minimumraamstanden (als die ingesteld staan) uitgeschakeld. Daarvoor in de plaats wordt een vochtregeling gebruikt die de luchtvochtigheid vlak bij het gewas berekent en vervolgens op deze luchtvochtigheid regelt (in plaats van de luchtvochtigheid bij de meetbox).

#### *Een combicondensor*

Een combicondensor bestaat feitelijk uit 2 losse in de rookgasstroom achter elkaar geplaatste condensoren (ook wel secties genoemd), waarbij iedere condensor een eigen water aansluiting heeft. Hierbij wordt de koude sectie op de retour van het secundaire en de warme sectie op de retour van het primaire verwarmingsnet geplaatst.

#### *Bio-olie*

Bij toepassing van bio-olie wordt de contractcapaciteit verlaagd, waardoor de ketel tijdens piekvraag de kas niet meer met alleen gas warm kan stoken. Tijdens deze momenten wordt bio-olie ingezet. Als de verlaagde contractcapaciteit lager is dan de CO<sub>2</sub>-branderstand, kan het dus voorkomen dat het gewenste CO<sub>2</sub>-niveau in de kas niet gehaald wordt en simuleert KASPRO een lagere productie.

#### *Gewijzigde belichting*

Hier kunnen de belichtingsinstellingen zoals die ook in de referentiesituatie te selecteren zijn worden aangepast. Er kan gekozen worden voor aanpassing van de belichtingsintensiteit, het gebruik over het jaar, en regelcriteria zoals maximale lichtsom waarboven de belichting uit blijft. Tevens is de mogelijkheid opgenomen voor een procentuele prijsstijging van het product om daarmee de gevolgen van een hogere kwaliteit te simuleren.

## **5.2 Implementatie economische module**

De economische effecten worden berekend op basis van de kosten voor energie en investeringskosten. In paragrafen 5.2.1 en 5.2.2 worden deze beschreven.

### *5.2.1 Energietarieven*

#### *5.2.1.1 Gas*

De markt voor gas is geliberaliseerd, waardoor een ondernemer zelf kan onderhandelen met het energiebedrijf over de gasprijs. Zodoende verschilt de gasprijs per energiebedrijf en is deze veelal opgesplitst in een commodity-deel en allerlei tarieven voor diensten, waardoor het vrijwel onmogelijk is om algemene rekenregels op te stellen voor de kosten voor gas. Het is echter wel zo dat de belangrijkste energiebedrijven (Westland Energie, Nuon, Essent en Agro Energy) een variatie op het CDS systeem van Gasunie hanteren. Hierbij is de gasprijs opgebouwd uit een bedrag per m<sup>3</sup> afgenomen gas (commodity) en een vast bedrag per jaar (diensten voor capaciteit en transport) dat opgesplitst kan worden naar kosten voor de contractcapaciteit, voor de basislastcapaciteit en voor de additionele capaciteit.

Voor EoM houdt dit in dat de totale gaskosten opgesplitst worden naar een capaciteitscomponent en een commoditycomponent, waarbij de capaciteitscomponent opgesplitst is in kosten gerelateerd aan contractcapaciteit, basislastcapaciteit en additionele capaciteit. De commodityprijs is inclusief heffingen. De uiteindelijke gaskosten per jaar worden berekend volgens:

Totaal tarief contractcapaciteit (euro/m<sup>3</sup>/u) × contractcapaciteit

Totaal tarief basislastcapaciteit (euro/m<sup>3</sup>/u) × basislastcapaciteit

$$\frac{\text{Totaal tarief additionele capaciteit (euro/m}^3\text{/u)} \times \text{additionele capaciteit} \\ \text{Commodityprijs gas (euro/m}^3\text{)} \times \text{jaarlijks gasverbruik (m}^3\text{)}}{\text{totale gaskosten per jaar (euro)}} +$$

waarbij:

Basislast capaciteit (m<sup>3</sup>/u) = jaarlijks gasverbruik (m<sup>3</sup>) / 8760

Additionele capaciteit (m<sup>3</sup>/u) = contractcapaciteit (m<sup>3</sup>/u) – basislast capaciteit

### 5.2.1.2 Elektriciteit

De elektriciteitsprijs is opgebouwd uit een deel voor de levering en een deel voor het transport van de elektriciteit. De prijs voor de elektriciteitslevering is vrij onderhandelbaar. De prijzen voor het transport van de elektriciteit worden gecontroleerd door de Dienst uitvoering en toezicht Energie (DTe).

Wat betreft WK-installaties met teruglevering geldt dat Nuts machines (met vast teruglevertarief) niet meer geplaatst en zelfs weggehaald worden. Voor WK-installaties in eigen gebruik gelden normaal gesproken de teruglevertarieven van de vrije markt (APX) waardoor deze installaties in sommige gevallen puur om de elektriciteitsverkoop worden ingezet.

In sommige gevallen wordt met het energiebedrijf een deal gesloten over een vast teruglevertarief maar dit is zeker niet de regel.

Bovenstaande maakt dat voor de in- en verkoop van elektriciteit geen standaard rekenregels voorhanden zijn waarmee de elektriciteitskosten in alle gevallen berekend kunnen worden.

Omdat de kosten voor elektriciteit noodzakelijk zijn om een economische analyse te maken zijn rekenregels opgesteld die de werkelijkheid voldoende benaderen.

De elektriciteitskosten worden in EoM berekend op basis van netkosten en energiebelasting, de levering (inkoop) en de terugleververgoeding voor elektriciteit i.g.v. een eigen WKK. Het inkoop- en teruglevertarief zijn beide voor plateau- en dal-uren door de gebruiker in te vullen. Een rekenregel voor netkosten en energiebelasting wordt bepaald op basis van historische gegevens en ziet er als volgt uit:

$$\text{Vaste elektriciteitskosten (euro)} = 2,325 \times (\text{jaarverbruik (kWh)})^{0.6625}$$

Bron: LEI

### 5.2.2 *Investerings- en jaarkosten van energiebesparende opties*

Een belangrijk uitgangspunt voor EoM is geweest alle parameters die door de tuinder ingevuld moeten worden van een reële standaardwaarde te voorzien. Op deze manier hoeft hij niet alle gegevens paraat te hebben om toch een goede indicatie te krijgen van de effecten van een

bepaalde besparende maatregel. Dit geldt voor sommige parameters van de bedrijfsuitrusting maar ook voor de investeringskosten van energiebesparende maatregelen. Natuurlijk doet de gebruiker er het beste aan om bij een belangrijke beslissing over een energiebesparende investering, die hij mede op basis van EoM maakt, eerst navraag te doen bij zijn installateur over de precieze kosten van betreffende investering.

In de onderstaande paragrafen worden de kosten gepresenteerd die standaard in EoM zijn ingebouwd. Uiteraard kunnen deze standaardkosten door de tuinder worden aangepast. Een overzicht van alle investeringskosten per energiebesparende optie is opgenomen in Appendix 5.

### 5.2.3 Productie-effect

Het simulatiemodel berekent de gewasproductie in termen van droge stof (fotosynthese). Om dit te kunnen omrekenen naar een productie-effect in Euro's is de geschatte jaarlijkse productomzet van belang. Meer- en minderproductie ten gevolge van energiebesparende opties worden op deze manier vertaald naar meer of minder inkomsten. Hierbij wordt door extra fust, veilingkosten en arbeid nog 10% op de eventuele extra inkomsten in mindering gebracht.

Het simulatiemodel hanteert per gewastype een standaard groeicurve die begint met de door de gebruiker op te geven plantweek. Als teeltwisslingsperiode (bij tomaat) wordt een periode van 2 weken aangehouden

### 5.2.4 Rentabiliteit

Op basis van de afschrijvingen, onderhoudskosten en rentekosten bepaalt EoM de jaarlijkse kosten van een energiebesparende optie. Als een variant gekozen wordt met meerdere opties worden deze kosten gesommeerd. Vervolgens worden de totale jaarlijkse energiekosten zowel voor de referentie als per variant bepaald. Als er een productieverandering is ten opzichte van de referentie dan wordt in combinatie met de jaarlijkse omzet per m<sup>2</sup>, 10% meerkosten voor veiling, fust en arbeid het effect op de productomzet berekend.

Op basis van de jaarlijkse kosten voor investeringen, productomzet en energie wordt per variant het financieel voordeel bepaald volgens:

$$\text{Jaarlijks voordeel} = \text{totale jaarkosten investeringen} - \text{besparing op de energiekosten} + \text{productieverlies}$$

Is jaarlijks voordeel positief dan is de variant rendabel en wordt de terugverdiendtijd berekend. Dit gebeurt door de het initiële investeringsbedrag te delen door het jaarlijks voordeel. Dit jaarlijks voordeel wordt berekend door de financiële voordelen van een investering te verminderen met de jaarlijkse lasten van deze investering. Onder de jaarlijkse lasten vallen rente- en onderhoudskosten maar geen afschrijvingskosten.

### 5.3 Ontwerp en implementatie user-interface

Gezien het feit dat het simulatiemodel voor onderzoeksdoeleinden is ontwikkeld en daarvoor ook wordt gebruikt, vereist het gebruik een zodanige specialistische kennis dat het in de huidige vorm ongeschikt is voor gebruik door derden, in dit geval tuinders. Om dit toch mogelijk te maken is een gebruiksvriendelijke schil inclusief een uitgebreide helpfunctie ontwikkeld die zodanig van opzet is, dat deze zelfstandig door tuinders kan worden ingevuld en die achter de schermen het simulatiemodel aanstuurt en de resultaten interpreteert.

De in te vullen parameters bestaan zo veel mogelijk uit voor tuinders bekende zaken op het gebied van bedrijfsuitrusting, klimaatinstellingen, teeltwijze, energie- en productprijzen. Alle door de gebruiker in te vullen parameters zijn voorzien van een reële standaardwaarde zodat bij onvoldoende inzicht van de gebruiker toch een voldoende betrouwbare uitkomst verkregen wordt.

Een aantal parameters hebben altijd een vaste waarde (bijv. kasoppervlak). Klimaatinstellingen zijn echter vaak afhankelijk van de tijd van het jaar en het tijdstip van de dag. De user-interface en klimaatmodel zijn zo van opzet dat een aantal parameters per periode van het jaar ingevuld kunnen worden en een aantal klimaatsetpoints per periode van het jaar en per periode van de dag.

Wanneer EoM na installatie voor de eerste keer opgestart wordt verschijnt een dialoog waarin om het type gewas gevraagd wordt. Dit wordt onthouden voor alle volgende keren.

De user-interface bestaat uit verticaal dat stapsgewijs doorlopen moet worden. Na enkele uitleg-schermen moet de gebruiker in het menu "huidig bedrijf" eerst als referentie zijn bedrijfssituatie invullen. Vervolgens kan hij het menu "varianten samenstellen & simuleren" één of meerdere energiebesparende maatregelen selecteren en hiermee een variant samenstellen en doorrekenen. In het menu "varianten vergelijken" kan hij deze dan met de referentie (en onderling) vergelijken. Het programma onthoudt alle instellingen automatisch waardoor de gebruiker geen bestanden hoeft te laden of op te slaan.



## 6 Beperkingen

De belangrijkste beperking van KASPRO en hiermee ook de gehele EoM software is dat het maar één kasklimaat tegelijk kan simuleren. In de praktijk echter zijn tuinbouwbedrijven (vooral siergewassen) vaak opgedeeld in verschillende afdelingen met verschillende klimaatregeling, scherming en belichting waardoor het energieverbruik van het totale bedrijf een gewogen gemiddelde is van de verschillende afdelingen. Wanneer KASPRO voor onderzoek gebruikt wordt is dit normaal gesproken geen probleem omdat A&F deskundigen, door meerdere simulaties te combineren, toch één bedrijf met verschillende afdelingen kunnen simuleren. Om dit in EoM te realiseren moet KASPRO echter volledig herzien worden wat te ver gaat voor dit project. De nu al uitgebreide lijst met parameters en setpoints zou dan per afdeling moeten worden ingevoerd wat tot een veelvoud van de invoer zou leiden.

Als compromis moet de gebruiker nu de gegevens invullen voor de meest representatieve afdeling. Iedere afdeling kan wel apart in het model worden opgenomen, maar dan moet de gebruiker iedere afdeling als een afzonderlijk bedrijf zien. De grootste bezwaar bij het beschouwen van het bedrijf als één afdeling is de belichtings- en verduisteringsregeling die bij korte en lange dag gewassen per afdeling verschillen. EoM lost dit probleem echter op door bij de belichtings- en verduisteringsregeling wel rekening met het groeistadium van het gewas.

Een andere beperking is het feit dat productieveranderingen als gevolg van veranderde CO<sub>2</sub>-dosering, belichting of lichtonderscheppende apparatuur zoals schermen alleen rekening gehouden wordt met de toename of -afname van drogestof productie die gewasspecifiek omgerekend wordt naar kilogrammen versgewicht. Eventuele kwaliteitsveranderingen, ziekten en platen en verschuivingen in het groeistadium (afgezien van de Leaf Area Index) worden niet meegenomen door het model.

Wat betreft de systeemeisen moet de gebruiker beschikken over Microsoft Windows 98 of hoger in combinatie met Microsoft Excel.

## **7 Kennisoverdracht en oplevering**

EoM is in mei 2004 gedemonstreerd voor de gewascommissie chrysant bij de GeslotenKas van Themato.

In oktober 2004 wordt een presentatie gegeven op de 'Train de trainer' bijeenkomst te Wateringen. Dit is een bijeenkomst georganiseerd door de Begeleidingscommissie voorlichting energie glastuinbouw waarbij voorlichters en adviseurs in de glastuinbouwsector geïnformeerd worden over actuele ontwikkelingen.

Daarnaast zal na het afronden van de eindversie een artikel aangeboden worden aan de vakbladen met daarin een internetlink waarmee de software gratis te downloaden is.

Mochten tijdens de eerste maanden na oplevering nog onvolkomenheden ontdekt worden dan zal de software worden ge-update.

## Literatuur

Braak, N.J. van de, e.a., 2002, Effecten combinatie temperatuurintegratie en energieschermen. IMAG rapport P2002-59.

Campen, J.B., 2004, Energiebesparende opties voor Anthurium. A&F rapport (in press).

DE scan Novem

Kwantitatieve Informatie voor de Glastuinbouw (KWIN) 2003-2004

Landbouw-Economisch Instituut (LEI)

Sonneveld, P.J. e.a., 2001, Ontwikkeling van een Hoog Isolerend Zigzag-vormig Kasdek met een Geoptimaliseerde Lichttransmissie. IMAG Nota P 2001-88.

Stanghellini, C., 2002, Energiebesparing door vochtintegrerende regeling. IMAG Rapport P2002-73.

Zwart, H.F. de, e.a., 2002, Detail engineering van een waterbak gekoelde kas. IMAG Nota P2002-29.

Zwart, H.F. de en P. Knies, 2002, Kostenberekeningsschema voor warmte- en koudeopslagssystemen ten behoeve van de inzet van warmtepompen in de Nederlandse glastuinbouw. Wageningen, IMAG rapport P2002-65

Zwart, H.F. de, E.G.O.N. Janssen en H. Loeffen, 2004, Kaskoeling en aquiferlading door middel van een dakbevoeiingssysteem, Wageningen, A&F Rapport nummer 082

Zwart, H.F. de, 2004, Praktijkexperiment Duurzame energieverzameling door middel van daksproeiers. A&F rapport (in press).

## Bijlagen

### Appendix 1 Gemiddeld klimaat

Bij het samenstellen van het gemiddeld klimaat (SEL-jaar) is de volgende procedure gevolgd: Eerst is het gasverbruik van een tomatenbedrijf over de 1994 t/m 2003 (10 jaar) brekende met behulp van het kasklimaatssimulatiemodel KASPRO en weerbestanden van het KNMI. Hiermee zijn er 10 verbruikscijfers voor elk uur van het jaar brekend en kan er ook voor elk uur van het jaar een gemiddeld verbruik worden berekend.

Elk actueel uur wijkt natuurlijk af van het gemiddelde voor dat uur. De mate van afwijking van een actuele maand in een jaar ten opzichte van het gemiddelde patroon in die maand kan worden uitgedrukt door de som van de kwadraten van afwijkingen per uur voor die maand te bepalen.

Door het kwadraat te nemen dragen grote afwijkingen sterker bij dan kleine afwijkingen.

Na deze operatie en sommering van de kwadratische verschillen per maand kan een maand worden geselecteerd waarvan het uurlijkse afnamepatroon het dichtst bij het gemiddelde afnamepatroon ligt. Hieruit is de volgende selectie naar voren gekomen.

KNMI 2000 levert representatieve data voor de maand januari

KNMI 1997 levert representatieve data voor de maand februari

KNMI 2002 levert representatieve data voor de maand maart

KNMI 1998 levert representatieve data voor de maand april

KNMI 1999 levert representatieve data voor de maand mei

KNMI 1999 levert representatieve data voor de maand juni

KNMI 1995 levert representatieve data voor de maand juli

KNMI 2000 levert representatieve data voor de maand augustus

KNMI 2002 levert representatieve data voor de maand september

KNMI 2000 levert representatieve data voor de maand oktober

KNMI 2002 levert representatieve data voor de maand november

KNMI 1999 levert representatieve data voor de maand december

## Appendix 2 Inventarisatie bij praktijkbedrijven

De inventarisatie heeft zich uiteindelijk op een viertal hoofdpunten gericht. Hieronder zijn deze hoofdpunten benoemd, met daarbij de specificaties waaraan het model volgens de geïnterviewde tuinders zou moeten voldoen en de daarbij behorende acties die ondernomen zijn om hiertoe te komen.

### Schermen

*Gewenste aanpassing:* dubbelscherm

*Actie:* Ten tijde van de ontwikkeling van EoM is ten behoeve van het project 'Energiebesparende opties voor Anthurium' (Campen, 2004) een simulatiemodule ontwikkeld die een dubbel simuleert. Deze module is uitsluitend voor genoemd project gebruikt en is in de huidige staat niet geschikt voor toepassing in EoM. Bij gebruik van de dubbelscherm module moet namelijk zeer kritisch naar andere (scherm)instellingen gekeken worden wat voor EoM zou betekenen dat de user-interface onnodig ingewikkeld zou worden. Daar komt bij dat het 2<sup>e</sup> scherm meestal als schaduw scherm gebruikt wordt en een scherm dat alleen als schaduw schermen gebruikt wordt heeft een verwaarloosbare invloed op het energieverbruik. Desalniettemin zullen in een eventuele volgende versie de mogelijkheden voor een dubbel scherm opnieuw worden bekeken.

*Gewenste aanpassing:* krijten

*Actie:* Omdat krijten een geringe invloed heeft op enerzijds het energieverbruik en anderzijds het effect van een energiebesparende maatregel, is hierin niet voorzien.

*Gewenste aanpassing:* gevelscherm onafhankelijk van bovenscherm sturen

*Actie:* EoM kiest voor alle gewassen standaard een beweegbaar gevelscherm. Om het aantal in te vullen parameters beperkt te houden loopt dit met het bovenscherm mee. Als er geen bovenscherm is dan is er ook geen gevelscherm.

*Gewenste aanpassing:* schaduw scherm als energiescherm

*Actie:* door het typeren van het scherm op basis van de percentages open, transparant en aluminium kan elk schermtype onafhankelijk van een merk of typenaam zelf samengesteld worden. Met de instellingen voor de schermregelingen kan dit scherm vervolgens als energiescherm geregeld worden.

### Klimaatregeling

*Gewenste aanpassing:* keuze vochtregeling op relatieve luchtvochtigheid of vochtdeficit

*Actie:* deze mogelijkheid is toegevoegd.

*Gewenste aanpassing:* minimumraamstand afhankelijk van de buitentemperatuur

*Actie:* omwille van de beheersbaarheid van het aantal in te vullen parameters hanteert KASPRO vooralsnog indien gewenst een vaste minimum raamstand. Deze is wel per periode van het jaar instelbaar en staat standaard op nul.

*Gewenste aanpassing:* buffer geforceerd legen strategie

*Actie:* in deze vorm van warmtevernietiging wordt door het model niet voorzien

*Gewenste aanpassing:* lichtverhoging loopt met stralingsom mee

*Actie:* omwille van de beheersbaarheid loopt de lichtverhoging alleen met de stralingsintensiteit mee.

*Gewenste aanpassing:* buistemperatuurverhoging op een traject van de RV of VD

*Actie:* hoewel KASPRO voorzien is van een regeling voor actief droogstoken wordt in EoM op vocht geregeld door te luchten.

### Verwarming

*Gewenste aanpassing:* betonvloerverwarming

*Actie:* Bij kalanchoe wordt op een gedeelte van het bedrijf betonvloerverwarming toegepast dat op de condensor aangesloten is. In de kalanchoe-versie van EoM wordt automatisch voor een betonvloerverwarming gekozen.

*Gewenste aanpassing:* minimumbuis op twee netten: door de minimumbuis op het secundaire net (deel van het jaar) toe te passen, kan er door de kleinere buisinhoud en verwarmend oppervlak een hogere buistemperatuur aangehouden worden bij een gelijke vermogens toevoer.

*Actie:* de minimum buistemperatuur kan zowel op boven- als ondernet ingesteld worden. Ook kan de keuze van het primaire net indien gewenst per periode veranderd worden.

*Gewenste aanpassing:* WK-installatie naast belichting ook voor koelinstallatie grondkoeling

*Actie:* de WK-installatie wordt (eventueel op deellast) ingeschakeld wanneer er elektriciteitsvraag is door belichting of door grondkoeling. Dit leidt echter wel tot een groot warmteoverschot.

### Belichting

*Gewenste aanpassing:* keuze belichting afschakelen op stralingsom  $J/cm^2$ , globale straling of beide.

*Actie:* deze mogelijkheid is toegevoegd.

## Appendix 3 Perceptie op energiebesparende maatregelen

### *Energiescherm met kierregeling op vocht*

In de chrysantenteelt zal er niet meer geschermd worden door de toepassing van een kierregeling, immers het doek is dicht in verband met het licht. Daarnaast wordt er zoveel mogelijk geschermd. In de Fresiateelt wordt er nooit gekierd omdat het gebruikte schermmateriaal al een zeer open structuur heeft (zonweringdoek). De geïnterviewde telers kijken met enige scepsis naar het toepassen van kieren. Enkelen zijn ronduit negatief, “je krijgt er klimaatproblemen door”.

### *Dubbel kasdek*

Over het algemeen wordt het Zigzagdek als een interessante ontwikkeling gezien, alleen hoe gaat het in de praktijk. Voor de Chrysantenteelt is de RV is niet zo'n probleem. Voor de Fresia teelt wordt een Zigzagdek minder interessant omdat in de huidige kas al zo'n 50 weken met een minimum raamstand wordt gewerkt, het is een koude teelt.

Kalanchoe voorziet eerder problemen met vocht, en verwacht eerder voordeel met een dubbel scherm te halen omdat je dan meer in de hand hebt.

### *Temperatuurintegratie door de klimaatregelaar*

In de kalanchoeteelt wordt meestal wel enige TI toegepast, hoewel voorzichtig. Bij chrysant daarentegen wordt aangegeven dat door alle verschillende stadia die in één verwarmingsafdeling staan, het moeilijk is na te gaan wat ieder vak precies heeft gehad. Algemeen kan wel worden opgemerkt dat de geïnterviewden zich er van bewust zijn dat er mogelijkheden zijn, eventueel dus ook automatisch, maar dat er vaak op het gevoel vaak wordt ingegrepen.

### *Voorkómen van horizontale temperatuurverschillen waardoor scherper op RV geregeld kan worden*

Slechts één van de geïnterviewden geeft hier een positief antwoord op. Er wordt soms zelfs geen relatie gelegd tussen temperatuur en RV en de meeste geven aan geen temperatuurverschillen te hebben. Daarnaast wordt er veelvuldig met ventilatoren gewerkt. Een teler geeft aan dat een verschil in temperatuur bij fresia verschil in bloeitijd is en dat is arbeidstechnisch juist handig.

### *Lange termijn energieopslag en warmtepompen*

Alle telers zien problemen rondom de investeringskosten die dit met zich mee zal brengen. Chrysanten en kalanchoe-telers vinden de koel mogelijkheden minder interessant omdat de productie in de zomer niet hoger hoeft. Een combinatie met een gesloten kas zou goed zijn tegen de infectiedruk. Fresiatelers hebben allen in verband met de teelt al geïnvesteerd in koeling. Extra koelmogelijkheden worden verwelkomd echter de teelt vraagt niet veel warmte dus hoe staan deze in verhouding met elkaar?

### *Clustering bedrijven (bij belichte teelten)*



De geïnterviewden zien voornamelijk problemen rondom de opzet van zo'n project, zij zien eigenlijk alleen mogelijkheden in nieuw op te zetten gebieden. Zaken als vertrouwen en afspraken zijn hierbij veel genoemde items. De meeste zien in het algemeen wel de mogelijke voordelen die vanuit een clustering te behalen zijn, maar schatten de mogelijkheden voor hun eigen bedrijf vaak beperkt in. Met name de CO<sub>2</sub> voorziening en verdeling wordt als een potentiële bottleneck gezien.

*Warmtekrachtinstallatie met net optie (Nuts-optie)*

In de Fresiateelt ziet men eigenlijk geen mogelijkheden voor een WK-installatie, de warmtevraag in de teelt is te klein. De andere teelten noemen het een interessante optie, maar dan wel met een rookgasreiniger daar aan gekoppeld.

*Verbetering vochtregeling (minder minimumbuis)*

De telers geven vrijwel unaniem aan dat de bedrijfseconomische gevolgen erg groot kunnen zijn als je 'over het randje' gaat, dus als een regeling of setpointkeuze gewasproblemen oplevert. Veel setpointkeuzes zijn erg rasafhankelijk. Ook nauwkeurige meting wordt als belangrijk ervaren. Er worden wel mogelijkheden voor verbetering gezien.

*Bio-olie (gedeeltelijk substitutie van aardgas): plantaardige olie*

Hier wordt van uiterst positief tot zeer negatief op gereageerd. Zo zou de condensor vervuild raken en zouden de rookgassen agressief voor de installatie zijn. Tevens worden de hoge kosten (aanpassingen aan installatie) als negatief ervaren. Met name de mogelijkheid om pieken af te kunnen vlakken wordt als een positief punt genoemd.

#### Appendix 4 Tussentijdse praktijkevaluatie

Hieronder worden de belangrijkste opmerkingen van tuinders tijdens de tussentijdse praktijkevaluatie genoemd met daarbij de uitvoering die eraan gegeven is.

*"Mijn bedrijf is opgesplitst in verschillende afdelingen met verschillende klimaat-, belichtings- en schermregeling."*  
Zie hoofdstuk 6: Beperkingen

*"Er is geen mogelijkheid tot het invullen van de CO<sub>2</sub>-dosering met zuivere CO<sub>2</sub>"*

De beschikbaarheid van zuivere CO<sub>2</sub> is onafhankelijk van het energieverbruik. Door zuivere CO<sub>2</sub> buiten beschouwing te laten is uit de resultaten duidelijker op te maken wat het effect van een energiebesparende maatregel op de gewasproductie is.

*"Ik mis de gesloten kas bij de energiebesparende opties"*

De GeslotenKas wordt op dit moment in de praktijk getest waardoor het nog onduidelijk is wat de consequenties zijn op het klimaat, energieverbruik en productie. In een eventuele update van EoM kan eventueel het gesloten klas concept toegevoegd worden aan de energiebesparende opties.

*"Ik heb een variant op een LS10 scherm"*

Karakterisering van het schermmateriaal gebeurt niet meer op basis van het merk of type maar op basis van percentages luchtdoorlatend of open bandjes, transparant, aluminium en overig materiaal. Hiermee zijn alle typen scherm te karakteriseren.

*"99% van chrysantentelers heeft twee schermen op elkaar (energiedoek + verduister)"*

EoM gebruikt in geval van chrysant automatisch dit type scherm. Chrysantentuinders kunnen wel de schermregeling aanpassen maar niet het type doek.

*"Kun je i.p.v. de samenstelling van het scherm niet gewoon het besparingsgetal gebruiken"*

Dit besparingsgetal dat meestal door de schermfabrikant gegeven wordt is de zuivere isolatiewaarde van het schermmateriaal. Hoeveel een scherm werkelijk bespaart hangt echter af van het gebruik van het schermregeling. Deze besparing wordt door KASPRO uitgerekend en geeft een veel nauwkeuriger besparingsgetal.

*"veroudering van schermen is een belangrijke factor met betrekking tot energiebesparing"*

Door bij de energie-opties het energiescherm te selecteren en de samenstelling van het schermmateriaal te veranderen (bijv. meer gaten of grotere kieren tussen de bandjes bij veroudering) kan de tuinder zelf uitrekenen wat de invloed van veroudering op het energieverbruik is.

*"Ik heb een WKK met teruglevering op het openbare net die altijd draait tijdens piekuren en heb slechte ervaringen met de APX. Ik heb bij mijn energiebedrijf een vast teruglevertarief bedongen."*

Door de complexiteit van de APX handel (zie paragraaf 5.2.1.2) wordt EoM alleen uitgevoerd met een terugleveroptie naar het openbare net. Door het ontstaan van eventuele warmteoverschotten wordt alleen teruggeleverd bij warmtevraag.

*"Slechts een deel van de kas wordt belicht t.g.v. verschillende teeltstadia"*

Vaak is op een bedrijf met korte en lange dagplanten het vermogen van de WK-installatie veel kleiner dan het geïnstalleerde belichtingsvermogen. De lampen gaan namelijk niet allemaal tegelijk aan. Als dit het geval is kan in de software met de optie "cyclisch belichten" dit effect op een goede manier gesimuleerd worden. De mate van gelijktijdigheid waarmee de lampen worden ingeschakeld, wordt in dat geval berekend uit de verhouding van het belichtings- en het WK-vermogen. Is er geen WK, maar wordt wel cyclische belicht dan wordt overdag slechts de helft van de lampen gelijktijdig ingeschakeld.

*"Houdt EoM rekening met een schaduw scherm"*

EoM houdt rekening met elk willekeurig scherm, dat in combinatie met de schermregeling door de gebruiker opgegeven opgegeven. Dit kan dus ook een schaduw scherm zijn. Een schaduw scherm als 2e scherm is echter niet mogelijk.

*"Uurflexibiliteit is onderdeel van mijn elektriciteitscontract"*

EoM hanteert vaste elektriciteitsstarieven voor plateau- en daluren en houdt geen rekening met uurflexibiliteit.

## Appendix 5 Investeringskosten

### *Energiescherm*

De kosten voor het installeren/vervangen van een energiescherm hangen af van het feit of er sprake is van nieuwbouw of een bestaand bedrijf en of er in het geval van een bestaand bedrijf al een scherm aanwezig is. EoM rekent bij een reeds aanwezig scherm alleen kosten voor het doek. Was er geen scherm dan komen hier nog kosten voor het mechaniek bij. Bij een bestaand bedrijf wordt een toeslag van 15% berekend ten opzichte van nieuwbouw.

De onderstaande rekenregels gelden tussen 2000 en 50000 m<sup>2</sup> kasoppervlak.

basiskosten scherm	7.50	euro/m <sup>2</sup>
toeslag bij 100% aluminium bandjes	1.32	euro/m <sup>2</sup>
toeslag bij 100% transparante bandjes	0.62	euro/m <sup>2</sup>
toeslag bij 100% open stroken	0.10	euro/m <sup>2</sup>
perc. kosten mechaniek t.o.v. totaalkosten	60	%
perc. kosten doek t.o.v. totaalkosten	40	%
toeslag voor aanleg in een bestaande kas	15	%

Bij minder dan 100% van de genoemde toeslagen wordt een evenredig deel van het bedrag gerekend. Het afschrijvings- en onderhoudspercentage zijn voor alle schermtypen resp. 14 en 5%.

Bron: KWIN / LEI

### *Temperatuurintegratie*

Soms moet voor het toepassen van temperatuurintegratie (TI) een extra module worden aangeschaft. Vaak komt deze extra module vanzelf mee met de jaarlijkse update van de software indien de gebruiker een servicecontract met de leverancier heeft. Van de drie belangrijkste aanbieders (Hortimax, Priva en Hoogendoorn) wordt bij Hoogendoorn een bedrag van ongeveer 7250 Euro gerekend voor de basis TI module. Dit is dan een terugkijkende TI tot maximaal 7 dagen. Voor een voorwaartse regeling, inclusief een link met meteo, worden extra kosten gerekend. De klimaatcomputers van Hortimax en Priva hebben standaard de terugkijkende TI in de nieuwere versies. Omdat het precieze bedrag dat een tuinder hiervoor moet betalen volledig bepaald wordt door welk type klimaatcomputer hij heeft en hoe oud deze is geeft EoM een standaard bedrag van 5000 Euro.

Bron: LEI

### *Warmtekracht-koppeling (WKK)*

De investeringskosten voor een WKK worden opgesplitst naar een installatie met en zonder rookgasreiniger en zijn exclusief kosten voor aansluiting op het openbare net i.g.v. teruglevering.

Van 500 tot 3000 kWe geldt:

Met rookgasreiniger:

$$\text{Investering} = (2124 \times \text{kWe}^{-0,2394}) \times \text{kWe} \quad (\text{euro})$$

Afschrijving is 10%, onderhoud is 0,6 ct/kWh.

Zonder rookgasreiniger

$$\text{Investering} = (439,5 \times \text{kWe}^{-0,2944}) \times \text{kWe} \quad (\text{euro})$$

Afschrijving is 10%, onderhoud is 0,6 ct/kWh.

Bron: KWIN/LEI

#### *Dubbel kasdek*

In EoM kan gekozen worden uit een tweetal hoog isolerende kasdekmaterialen, namelijk PMMA en Lexan®ZigZag™. De onderstaande waarden gelden alleen voor nieuwbouw en tussen 0,2 en 10 ha kasoppervlak. Bij een bestaand bedrijf zal de tuinder zelf navraag moeten doen bij de kassenbouwer.

PMMA

$$\text{Investering} = 26,276 \times \text{kasoppervlak (m}^2\text{)}^{-0,0237} \quad (\text{euro/m}^2 \text{ kas})$$

Lexan®ZigZag™

$$\text{Investering} = 40,066 \times \text{kasoppervlak (m}^2\text{)}^{-0,0143} \quad (\text{euro/m}^2 \text{ kas})$$

Het afschrijvings- en onderhoudspercentage zij voor beiden 7% en 0,5% resp.

Bron: LEI

#### *Warmtepomp in combinatie met langetermijn warmteopslag*

De kosten voor een ondergronds energieopslagsysteem kunnen worden gevonden in “Kostenberekeningsschema voor warmte- en koudeopslagssystemen ten behoeve van de inzet van warmtepompen in de Nederlandse glastuinbouw” (Zwart, de en Knies, 2002).

$$\text{Kosten aquifer} = 78000 + 1930 \times \text{maximum debiet (m}^3\text{/u)} \quad [\text{euro}]$$

In genoemd rapport wordt tevens aangegeven dat voor zo'n opslagsysteem een technische levensduur van 30 jaar kan worden gekozen en eveneens een onderhoudspercentage van 2% moet worden aangehouden.

Gezien de hoge kosten per eenheid debiet zal het vrijwel altijd lonend zijn om gebruik te maken van etmaalbuffers. Watertanks van metalen golfplaat kosten ongeveer  $1500 + 11 \times \text{inhoud (m}^3\text{)}$  (KWIN, 2003-2004). Om zo'n systeem te kunnen laten werken moet zo'n vat in tweeën gedeeld kunnen worden waardoor enige extra kosten in rekening gebracht moeten worden. Daarom wordt verder gerekend met bufferkosten van  $2000 + 16 \times \text{inhoud (m}^3\text{)}$ .

Ervan uitgaande dat zo'n etmaalbuffer het maximale debiet halveert en een opslagcapaciteit moet hebben van het halve maximale debiet  $\times 12$  uur kan de investering in een aquifer met etmaalbuffer worden beschreven met

$$\text{Kosten aquifer incl. etmaalbuffer} = 78000 + 2000 + (1930 + 16 \cdot 12) / 2 \times \text{max.debiet (m}^3/\text{u)}$$

Voor de berekening van de jaarkosten wordt ook voor de etmaalbuffer 2% van de investering in rekening gebracht en de afschrijvingskosten voor deze buffer worden op 10% gesteld.

De investeringen voor deksproeiers zijn in het rapport "Kaskoeling en aquiferlading door middel van een dakbevoeiingssysteem" (de Zwart et.al., 2004) gesteld op

$$\text{Kosten deksproeiers} = 500 \times \text{maximaal sproeidebiet (m}^3/\text{uur)} \quad [\text{euro}]$$

Ook voor deze investering geldt een levensduur van 10 jaar en een onderhoudspercentage van 2%.

Het rendement van een warmtepomp loopt sterk terug als het primaire verwarmingsnet een klein verwarmend oppervlak (VO) heeft. De meer-investeringen voor het vergrote VO worden niet in de economische beschouwing meegenomen.

#### *Combicondensor*

Voor een combicondensor geldt tussen 1 en 8 milj kcal/u aan ketelcapaciteit:

$$\text{Investering (euro)} = -162,06 \times \text{ketelcapaciteit}^2 + 3008 \times \text{ketelcapaciteit} + 6798,3$$

Het afschrijvings- en onderhoudspercentage is 14% en 1% resp.

Bron: KWIN

#### *Energiezuinige vochtregeling*

Voor een energiezuinige vochtregelingen moet is een klimaatcomputer vereist die een regeling op gewas-RV heeft. Net als bij temperatuurintegratie zullen de kosten hiervan erg afhangen van het type klimaatcomputer dat al gebruikt wordt. EoM rekent voor aanschaf of update van de klimaatcomputer 5000 Euro. Als er vrees is voor grote temperatuurverschillen in het gewas

komen hier nog kosten bij voor het laten uitvoeren van een meting door bijvoorbeeld DLV en het eventueel verhelpen van deze verschillen. Door de onvoorspelbaarheid hiervan rekent EoM hiervoor geen kosten.

#### *Toepassing van Bio-olie*

Bij de kosten voor een bio-olie installatie wordt uitgegaan van een reeds aanwezige ketel. De kosten betreffen de aanleg van een 40000 liter voorraad tank, de aanpassingen in het ketelhuis en de kosten voor een bio-olie brander. De kosten zijn op basis van een tank van 40000 liter omdat dan per keer een volle tankwagen besteld kan worden.

Voor een single fuel brander geldt van 1,5 tot 5 milj kcal/u:

Investering (euro) =  $2314 \times \text{ketelcapaciteit (kcal/u)} + 39000$

Het afschrijvings- en onderhoudspercentage zijn resp. 10 en 2%.

Bron: DE scan Novem, GTI

#### *Gewijzigde belichting*

De kosten voor de optie 'gewijzigde belichting' hangen af of er in de referentiesituatie belicht wordt en de belichtingsintensiteit voor de referentie (indien relevant) en voor de variant. Wordt er al belicht dan wordt het verschil berekend tussen de investeringskosten voor de referentie en de variant.

De investeringskosten zijn als volgt:

Armatuur (euro/m<sup>2</sup>) =  $0.0037 \times \text{belichtingsintensiteit (lux)}$

Lampen (euro/m<sup>2</sup>) =  $0.0004 \times \text{belichtingsintensiteit (lux)}$

Met een afschrijvings- en onderhoudspercentage van 10% en 1% resp.

Een van de redenen om te gaan belichten is dat er vaak een hogere prijs per eenheid product wordt uitbetaald (door een hogere kwaliteit of bijvoorbeeld door een constantere afzet). Als er in de referentiesituatie niet belicht wordt kan bij de energie-optie 'gewijzigde belichting' aangeven worden welke prijsstijging per eenheid product verwacht wordt als gevolg van de toepassing van belichting. Als een chrysantenteler bijvoorbeeld verwacht dat een belichte chrysant 10% per tak meer opbrengt dan een onbelichte chrysant dan vult hij 10% in. Wanneer door te gaan belichten een hoger plantdichtheid kan worden aangehouden moet ook deze toename hierin opgenomen worden. Dit voordeel komt bovenop de productie-effecten die door het model worden berekend op grond van de toename van het licht dat op gewasniveau beschikbaar is.

Bron: KWIN